فصلنامهٔ ویژهٔ نقد کتاب، کتاب‌شناسی و اطلاع‌رسانی در حوزهٔ متون

دورهٔ جدید سال اول، شمارهٔ اول، بهار ۱۳۸۲ (پیاپی ۲۰)

۲۰

آینهٔ میراث

ویژه نامهٔ تاریخ علم

بطلمیوس و کاشانی
جعفر آقایانی چاوشی

نقش مسلمانان در حسابان
حیدر زاهد زاهدانی

منشاهای درمان دوایی و غذایی در دورهٔ اسلامی
سامی حمارنه

دستور ساخت ماشین فلوت زن از آپولونیوس
لورچ ـ شهاده و ...

بها: ۲۰۰۰ تومان

بسم الله الرحمن الرحیم

شماره استاندارد بین‌المللی
۱۵۶۱_۹۴۰۰

آینهٔ میراث

فصلنامهٔ ویژه نقد کتاب، کتاب‌شناسی و اطلاع رسانی در حوزه متون

دورهٔ جدید سال اول، شماره اول، بهار ۱۳۸۲ (پیاپی ۲۰)

ضمیمهٔ شماره ۲۰
(ویژه نامهٔ تاریخ علم)

صاحب امتیاز: مرکز نشر میراث مکتوب

مدیر مسئول: اکبر ایرانی

سردبیر: جمشید کیان‌فر

دبیر ویژه‌نامه: دکتر جعفر آقایانی چاوشی

اعضای هیأت تحریریه:

دکتر پرویز اذکایی ـ ایرج افشار ـ دکتر غلامرضا جمشیدنژاد اول ـ دکتر هاشم رجب‌زاده ـ دکتر علی رواقی ـ دکتر محمد روشن ـ فرانسیس ریشار ـ دکتر علی اشرف صادقی ـ دکتر محمود عابدی

ویراستار: دکتر جعفر آقایانی چاوشی

رسم اشکال هندسی: علی قنواتی

مدیر تولید: سید مهدی جهرمی

حروفچین: رضا سلگی ـ فرزانه قادری ـ صدیقه مسعودی

صفحه‌آرا: محمود خانی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: نقره آبی

تهران ـ خیابان انقلاب اسلامی، بین دانشگاه و ابوریحان، شمارهٔ ۱۳۰۴
نشانه پستی: ۱۳۱۵۶۹۳۵۱۹
تلفن: ۳ـ۶۴۹۰۶۱۲ دورنگار: ۶۴۰۶۲۵۸
AyeneMiras@MirasMaktoob.com
http://www.islamicdatabank.com
http://www.Magiran.com

- نقل مطالب این نشریه با ذکر مأخذ آزاد است.
- آراء مندرج در نوشته‌ها الزاماً مورد تأیید آینه میراث نیست.
- هیأت تحریره در ویرایش مطالب آزاد است.
- مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نشود پس فرستاده نخواهد شد.

از نویسندگان و مترجمان درخواست می‌شود به نکات زیر توجه فرمایند:

- چون فصلنامه نشریه‌ای علمی تخصصی است، مقالات باید حاصل پژوهش‌ها پیمایشی، تجربی، تاریخی، کتابخانه‌ای و ... باشد.
- مطلب ارسالی نباید در نشریهٔ دیگری چاپ شده باشد.
- لازم است مقاله دارای پنج تا ده کلید واژه و چکیدهٔ فارسی حاوی ۱۰۰ تا ۱۲۰ کلمه باشد.
- چون شیوهٔ نگارش فرهنگستان زبان و ادب فارسی ملاک و راهنمای ویراستاری مطالب است، بهتر است نویسندگان محترم به منظور تسریع در کار این شیوه را اعمال فرمایند.
- بهتر است هر مقاله روی کاغذ A4 تایپ شود و یا با خط خوش و خوانا بر یک روی کاغذ نوشته شود.
- حتی‌الامکان نمودارها، جدول‌ها و تصاویر به صورت آماده برای چاپ ارائه شوند.
- توضیحات، معادل‌های خارجی واژه‌ها، اصطلاحات علمی و ارجاعات مقاله به منابع با شماره‌گذاری پیاپی در پایان مقاله درج خواهد شد. لازم است در ارجاع به منابع اطلاعات کامل کتابشناختی با رعایت قواعد کتابنامه‌نویسی ارائه شود.
- ارسال متن اصلی به همراه متن ترجمه شده ضروری است.
- همراه هر مطلب ارسال ضروری است نام و نام خانوادگی نگارنده یا مترجم، درجهٔ علمی، سمت، تاریخ تولد (برای مستندسازی) و آدرس کامل پستی و شماره تلفن ارسال شود.
- لطفاً مقالات و مطالب را به نشانی دفتر مجله آینهٔ میراث و یا به نشانی پست الکترونیک آینهٔ میراث AyeneMiras@MirasMaktoob.com ارسال فرمایید.

فهرست مطالب

آشنایی با مورخین علوم

آینهٔ میراث درنظر دارد که در هر شماره ویژه‌نامهٔ «تاریخ علم» یکی از مورخان علوم را به خوانندگان معرفی نماید، در این شماره شرح حال علمی آقای دکتر جعفر آقایانی چاوشی به‌نظر خوانندگان می‌رسد

آقای دکتر جعفر آقایانی چاوشی، لیسانس خود را در علوم ریاضی از دانشگاه پاریس ۸، فرانسه دریافت کرد. پس از آن برای مقطع فوق لیسانس در رشتهٔ فلسفه و تاریخ ریاضیات در دانشگاه پاریس ۷، (ژوسیو) مشغول به تحصیل شد و با نوشتن پایان‌نامهٔ خود دربارهٔ «هندسه دکارت» زیر نظر آقای دومینیک لوکور دکارت‌شناس برجستهٔ فرانسوی فارغ‌التحصیل گردید. سپس برای مقطع دکتری در رشتهٔ شناخت‌شناسی و تاریخ علم در همین دانشگاه ثبت نام نمود و در سال ۱۹۹۷ م زیر نظر آقای رشدی راشد استاد مصری، مقیم فرانسه رسالهٔ دکتری خود را پایان بُرد و با رتبهٔ خیلی خوب از این دانشگاه فارغ‌التحصیل گردید.

دکتر آقایانی چاوشی بیش از ۱۵۰ مقاله به زبانهای فارسی، انگلیسی و فرانسه نوشته‌اند که درکشورهای ایران، پاکستان، آمریکا، ایتالیا و فرانسه به‌چاپ رسیده است.

تازه‌ترین مقالهٔ ایشان که با همکاری دکتر علیرضا امیر مُعز ریاضیدان ایرانی مقیم آمریکا نوشته شده، تحت عنوان:

"DESCARTE'S AND HESSIAN FOLIUMS"

در شماره ۴ جلد ۵۴ (سال ۲۰۰۲) مجله

THE TEXAS JOURNAL OF SCIENCE

به چاپ رسیده است.

ایشان همچنین در چندین همایش جهانی داخلی و خارجی شرکت کرده و دربارهٔ تاریخ علوم اسلامی سخنرانی کرده است که از آن جمله همایش جهانی عمر خیام در یونسکو پاریس، همایش ریاضیات قدیم در شهر دلفی یونان و همایش جهانی ایران‌شناسی در تهران می‌باشد.

برخی از دانشمندان ایرانی و آلمانی دربارهٔ آثار وی به نیکی یاد کرده‌اند.

مدیر مسئول

سخنی با خوانندگان

بر مورخین علوم پوشیده نیست که بسیاری از دانشهای جدید، همچون جبر و مثلثات و شیمی منشأ اسلامی دارند و غربیان با استفاده از آثار دانشمندان مسلمان بدانها دست یافته‌اند.

با اینحال همین مردم اروپا قرنها ناسپاسی پیشه کرده و منکر این تأثیر بوده‌اند.

اینان به هنگام بحث از تمدن اسلامی نیز، علمای مسلمان را تنها حافظ و نگهدارنده علوم یونانی قلمداد نموده‌اند.

این پیشداوری حتی تا قرن نوزدهم میلادی در آثار مورخین علومی همچون پُل تانری پییر دوهم، بارون کارادوو تجلی داشت.

امروزه با تحقیقات پیگیر مورخین علوم، پرده از بسیاری از رازها برداشته شده و این مورخین با دلایل متقن ثابت کرده‌اند که بسیاری از بنیادگزاران علوم جدید در اروپا، بنحوی تحت تأثیر علوم اسلامی بوده‌اند.

با اینحال یک پژوهنده غربی با چنین پژوهشهایی، تنها در پی یافتن ریشه‌های تمدن غربی است و سودای دیگری در سر ندارد.

حال آنکه دغدغه‌های دیگری یک مورخ علوم مسلمانِ ملتزم را آزار می‌دهد.

او باید از این کاوشهای تاریخی، برای نابودی «بی هویتی» و «عقده‌های حقارتی» که از دو قرن پیش دامنگیر همکیشانش شده، بهره برداری نماید، و آنان را برای نهضت علمی و فرهنگی دیگری فراخواند.

ما ایرانیان که پیش از اسلام نیز تمدنی درخشان داشتیم و بخاطر همین

تمدن و آگاهی نیز ندای آزادیبخش و آسمانی اسلام عزیز را پذیرا شدیم و در دامن آن، دانشمندان برجسته‌ای پروراندیم باید بیش از دیگران درین باره احساس مسئولیت کنیم.

یعنی نه تنها به هموطنان، بلکه به همکیشان دیگر خود در سایر کشورها، عصر زرین علوم و تمدن اسلامی را نشان دهیم و بدینوسیله با هویت زدائی که از طرف غربیان آغاز گردیده، بشدت مبارزه نمائیم.

برای همین منظور است که این شماره ویژه‌نامهٔ ضمیمهٔ آینه میراث را به علوم ایرانی و اسلامی اختصاص داده‌ایم و در آن مقالات ارزشمندی به زبانهای فارسی و عربی و انگلیسی و فرانسه را در این زمینه بچاپ رسانده‌ایم.

مقالات مربوط به غیاث‌الدین جمشید کاشانی را دوست دانشمندم آقای دکتر علیرضا اشرقی استاد ریاضیات دانشگاه کاشان و دبیر همایش جهانی کاشانی برای چاپ در اختیار اینجانب قرار دادند. این مقالات برای همایش جهانی کاشانی که در سال ۱۳۷۹ در دانشگاه کاشان برگزار شد، ارسال گردیده بودند.

بدینوسیله از ایشان و همه دوستانی که مرا در چاپ این ویژه‌نامه یاری کردند مخصوصاً آقای اکبر ایرانی مدیر پرتلاش مجله آینه میراث سپاسگزاری می‌کنم.

جعفر آقایانی چاوشی

تقدیم به دانشجویان گروه ریاضی دانشگاه کاشان

بطلمیوس و کاشانی

از محاسبهٔ وتر یک درجه تا حل تقریبی معادلهٔ درجهٔ سوم

جعفر آقایانی چاوشی
پژوهشگر تاریخ و فلسفه ریاضیات
و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

مقـدمـه

منجمان قدیم برای محاسبات نجومی خود به جداول نجومی نیاز مبرم داشتند. این جداول می‌بایست از وتر یک‌درجه و یا سینوس یک درجه شروع شوند. اما تعیین وتر و یا سینوس یک‌درجه کار ساده‌ای نبود، چرا که نمی‌توان آنها را با معادله‌ی درجه دوم تعیین کرد.

در یونان باستان، بطلمیوس کوشید با استفاده از خاصیت چهار ضلعی محاطی وترهای اندکی کم‌تر از یک درجه و اندکی بیشتر از یک‌درجه را محاسبه و به کمک یک نامساوی دو حد نقصانی و اضافی را برای وتر یک‌درجه تعیین کرده و میانگین حسابی این دو حد را به عنوان اندازه‌ی تقریبی وتر یک درجه تعیین نماید.

قرن‌ها پس از او کاشانی، ریاضیدان نابغه‌ی ایرانی نیز همانند بطلمیوس برای محاسبه‌ی سینوس یک‌درجه از همان چهار ضلعی محاطی شروع کرد اما بر خلاف بطلمیوس موفق به کشف معادله‌ی مسئله شد و با حل این معادله نه تنها به کوشش چندین ساله‌ی ریاضیدانان برای تعیین سینوس یک‌درجه پایان داد، بلکه روشی را برای حل این‌گونه معادلات درجه سوم پیشنهاد کرد که مبتنی بر مفهومی است که

ریاضیدانان غربی قرن‌ها پس از او به آن دست یافتند و این، همان چیزی است که در آنالیز جدید به قضیه‌ی «نقطه‌ی ثابت یک تابع پیوسته و محدود» شهرت دارد.

ما در این مقاله می‌کوشیم که پس از شرح روش بطلمیوس و علل نارسایی آن شیوه‌ی کاشانی را مفصلاً مورد تحلیل قرار دهیم.

۱ ـ روش بطلمیوس برای تعیین وتر یک‌درجه

بطلمیوس محاسبات خود را برای تعیین وتر یک‌درجه، در کتاب معروف خود المجسطی انجام داده است. روش بطلمیوس را برای تعیین وتر یک‌درجه می‌توان در سه مرحله‌ی زیر خلاصه کرد.

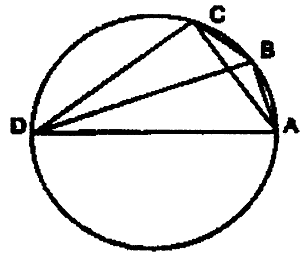
۱. تعیین وترهایی که کمی بزرگ‌تر و کمی کوچک‌تر از وتر یک‌درجه می‌باشند؛
۲. یافتن قضیه‌ی کلیدی مسئله؛
۳. درج واسطه‌ی حسابی.

۱.۱. تعیین وترهایی که کمی بزرگ‌تر و کمی کوچک‌تر از وتر یک‌درجه می‌باشند

این وترها عبارت‌اند از وتر $\frac{۳}{۲}^{\circ}$ و وتر $\frac{۳}{۴}^{\circ}$ برای تعیین این وترها نخست باید وتر ۱۲° را تعیین کرد و سپس با تنصیف‌های متوالی به آنها رسید. برای تعیین وتر ۱۲° بطلمیوس، از وتر ۶۰° که برابر است با $\text{cord } ۶۰^{\circ} = ۶۰$ و وتر ۷۲° که ضلع پنج‌ضلعی منتظم می‌باشد و مقدار آن $\text{cord } ۷۲^{\circ} = ۷۲;\ ۳۲,\ ۳$ آگاهی دارد. کافی است فرمولی برای وتر تفاضل $\text{cord } ۱۲^{\circ} = \text{cord } (۷۲^{\circ} - ۶۰^{\circ})$ بیابد تا اندازه‌ی وتر ۱۲° را بر حسب وترهای ۶۰° و ۷۲° تعیین کند.

او برای این کار چهار ضلعی محاطی ABCD را در نظر گرفته و از قضیه‌ی زیر استفاده می‌کند.

$$AC.BD = AB.CD + AD.BC \qquad (۱)$$



شکل ۱

مطابق شکل ۱ فرض می‌کند AD قطر دایره بوده و این قطر به ۱۲۰ قسمت مساوی تقسیم شده باشد. اضلاع دیگر این چهار ضلعی را به ترتیب زیر فرض می‌کند:

$$\begin{cases} AB = \text{cord}\ (\beta) \\ AC = \text{cord}\ (\alpha) \\ BC = \text{cord}\ (\alpha - \beta) \end{cases}$$

در این صورت رابطه‌ی (۱) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{cord}\ (\alpha - \beta) = \frac{\text{cord}\ (\alpha)\ \text{cord}\ (۱۸۰^\circ - \beta) - \text{cord}\ \beta\ \text{cord}\ (۱۸۰^\circ - \alpha)}{۱۲۰} \qquad (۲)$$

از طرف دیگر با استفاده از قضیه‌ی فیثاغورث می‌توان نوشت:

$$\text{cord}^۲\ (۱۸۰^\circ - \alpha) = CD^۲ = AD^۲ - AC^۲ = ۱۲۰^۲ - \text{cord}^۲\ (\alpha)$$

$$\text{cord}^۲\ (۱۸۰^\circ - \beta) = BD^۲ = AD^۲ - AB^۲ = ۱۲۰^۲ - \text{cord}^۲\ (\beta)$$

هرگاه در فرمول (۲) به جای α و β مقادیر ۷۲° و ۶۰° را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\text{cord}\ (۱۲^\circ) = ۱۲;\ ۳۲,\ ۳۶$$

حال برای تنصیف وتر ۱۲° بطلمیوس از فرمول زیر استفاده می‌کند:

$$\text{cord}^۲ (\frac{\alpha}{۲}) = ۶۰\ [۱۲۰ - \text{cord}\ (۱۸۰^\circ - \alpha)]$$

به وسیله‌ی این فرمول وتر ۶° و سپس وتر ۳° و بالاخره وترهای نزدیک به وتر یک‌درجه یعنی $\text{cord}\ (\frac{۳^\circ}{۲}) = ۱;\ ۳۴,\ ۱۵$ و $\text{cord}\ (\frac{۳^\circ}{۴}) = ۰,\ ۴۷,\ ۸$ را محاسبه می‌کند.

حال که بطلمیوس این وترها را در اختیار دارد، می‌تواند واسطه‌ای حسابی آنها را به عنوان وتر یک‌درجه حساب کرده و مقدار زیر را به دست آورد:

$$\text{cord } ۱^\circ = \frac{۱}{۲}[\text{cord } (\frac{۳}{۴})^\circ + \text{cord } (\frac{۳}{۲})^\circ] = ۱;\ ۱۰,\ ۴۱$$

البته این مقدار، اولین مقدار تقریبی وتر یک درجه است، ولی همان چیزی نیست که بطلمیوس در انتظار آن می‌باشد. چراکه فاصله‌ی این دو وتر زیاد است و یکی تقریباً مساوی با دوبرابر دیگری می‌باشد.

$$\text{cord } (\frac{۳}{۲})^\circ \simeq ۲ \text{ cord } (\frac{۳}{۴})^\circ$$

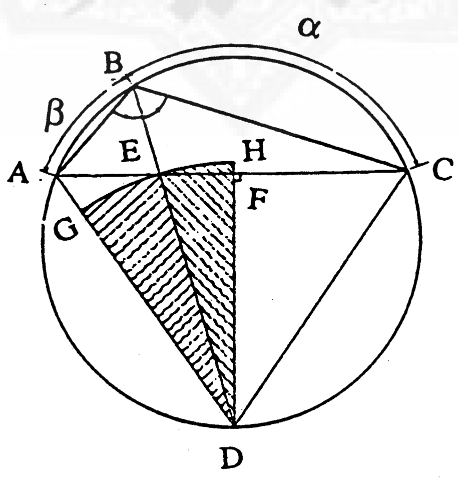
بنابراین بطلمیوس برای یافتن تقریبی دقیق‌تر ناگزیر به یافتن قضیه‌ی کلیدی زیر می‌باشد.

۲.۱. تعیین قضیه‌ی کلیدی مسئله

قضیه: نسبت هر کمان بزرگ‌تر به هر کمان کوچکتر در یک دایره، بزرگ‌تر از نسبت وتر کمان بزرگ‌تر به وتر کمان کوچک‌تر می‌باشد. یعنی هرگاه داشته باشیم: βکمان > α کمان، خواهیم داشت

$$\frac{\alpha}{\beta} > \frac{\text{cord } (\alpha)}{\text{cord } (\beta)}$$

اثبات قضیه‌ی کلیدی به وسیله‌ی بطلمیوس: در شکل زیر هرگاه $\text{BC} = \beta$ و $\text{AB} = \alpha$ باشند، بطلمیوس چنین عمل می‌نماید.



زاویه‌ی ABC را با نیمساز BE به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم. سپس آن را امتداد می‌دهیم تا دایره را در نقطه‌ی D قطع کند. بنابراین خواهیم داشت: کمان DC = کمان AD ، از طرف دیگر می‌دانیم که در هر مثلث نیمساز یک زاویه ضلع مقابل را به نسبت اضلاع دیگر تقسیم می‌کند.

پس با استفاده از این قضیه در مثلث ABC می‌توان نوشت:

$$\frac{AE}{EC} = \frac{AB}{BC} \qquad (۳)$$

از آنجایی که AB > BC نتیجه می‌شود AE > EC ، حال از D عمود DF را روی ضلع AC اخراج می‌کنیم، نقطه‌ی F بر وسط AC قرار خواهد گرفت و خواهیم داشت:

$$AD > ED > FD$$

بنابراین دایره‌ی به مرکز D و به شعاع DE خط AD را در G، مابین A و D قطع کرده و امتداد DF را نیز در نقطه‌ی H قطع خواهد کرد.

حال دو قطاع DEH و DGE را در نظر می‌گیریم.

داریم

$$\text{قطاع } DEH > \text{مثلث } DEF$$
$$\text{قطاع } DEG > \text{مثلث } DEA$$

پس:

$$\frac{\text{مثلث } DEF}{\text{مثلث } DEA} < \frac{\text{قطاع } DEH}{\text{قطاع } DEG} \qquad (۴)$$

اما دو مثلث DEF و DEA دارای ارتفاع مشترک DF می‌باشند. از آنجا نتیجه می‌شود که نسبت مساحت‌های آنها مساوی نسبت قاعده‌های آنها می‌باشد. پس به جای طرف چپ رابطه‌ی (۴) می‌توان مقدار $\frac{EF}{EA}$ را قرار داد. از طرف دیگر می‌دانیم که نسبت مساحت‌های دو قطاع با نسبت زاویه‌های مرکزی آنها متناسب‌اند. پس به جای طرف راست رابطه‌ی (۴) می‌توان مقدار $\frac{\angle EDH}{\angle EDG}$ را قرار داد.

بنابراین نامساوی (۴) به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{EF}{EA} < \frac{\angle EDH}{\angle EDG}$$

این نامساوی را می‌توان به نامساوی زیر تبدیل کرد:

$$\frac{EF+EA}{EA} < \frac{\angle EDH+\angle EDG}{\angle EDG}$$

و یا

$$\frac{AF}{EA} < \frac{\angle GDH}{\angle EDG}$$

و یا

$$\frac{۲AF}{EA} < \frac{۲\angle GDH}{\angle EDG} \Rightarrow \frac{AC}{EA} < \frac{\angle ADC}{\angle EDG}$$

هرگاه از طرفین این نامساوی عدد ۱ را کم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{AC\text{-}EA}{EA} < \frac{\angle ADC - \angle EDG}{\angle EDG}$$

و یا:

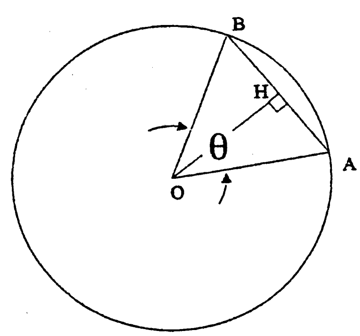
$$\frac{AC}{EA} < \frac{\angle CDE}{\angle EDG} \qquad (۲)$$

با استفاده از رابطه‌ی (۳) نامساوی (۵) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{AB}{BC} < \frac{\text{کمان}AB}{\text{کمان}BC} \Rightarrow \frac{\text{cord}\,\alpha}{\text{cord}\,\beta} < \frac{\alpha}{\beta}$$

اثبات قضیه‌ی کلیدی بطلمیوس در ریاضیات امروزی: همان طوری که مشاهده کردیم اثبات بطلمیوس بسیار طولانی است، در صورتی که این قضیه را با استفاده از ریاضیات جدید می‌توان به آسانی به شرح زیر اثبات کرد:

$$\alpha > \beta \Rightarrow \frac{\text{cord}\,\alpha}{\text{cord}\,\beta} > \frac{\alpha}{\beta} \Leftrightarrow \frac{\alpha}{\text{cord}\,\alpha} > \frac{\beta}{\text{cord}\,\beta}$$



با توجه به شکل فرض کنیم $f(\theta) = \dfrac{\theta}{\text{cord}\ \theta}$

$$\text{cord}\ \theta = AB = ۲BH = ۲R\sin\frac{\theta}{۲} \Rightarrow f(\theta) = \frac{\theta}{۲R\sin}$$

$$0 < \theta < \pi$$

مشتق f به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$f'(\theta) = \frac{۱}{۲R}\cdot\frac{\sin\frac{\theta}{۲} - \frac{\theta}{۲}\cos\frac{\theta}{۲}}{\sin^{۲}\frac{\theta}{۲}}$$

$$= \frac{\cos\frac{\theta}{۲}\,[\tan\frac{\theta}{۲} - \frac{\theta}{۲}]}{۲R\sin^{۲}\frac{\theta}{۲}}$$

$\cos\dfrac{\theta}{۲} > ۰$ زیرا $۰ < \dfrac{\theta}{۲} < \dfrac{\pi}{۲}$ پس علامت $f'(\theta)$ همان علامت $g(\theta) = \tan\dfrac{\theta}{۲} - \dfrac{\theta}{۲}$ می‌باشد. داریم:

$$g'(\theta) = \frac{۱}{۲}\left[\frac{۱}{\cos^{۲}\frac{\theta}{۲}} - ۱\right]$$

$$= \frac{۱}{۲}\left[۱ + \tan^{۲}\frac{\theta}{۲} - ۱\right] = \frac{۱}{۲}\tan^{۲}\frac{\theta}{۲} > ۰$$

نیز $g'(\theta)$ برای $\theta \in]۰,\pi[$ مثبت می‌باشد، بنابراین g در فاصله‌ی $]۰.\pi[$ صعودی است اما:

$$g(۰) = ۰ \Rightarrow g(\theta) > ۰ \qquad \forall\,\theta \in]۰,\pi[$$

$$\Rightarrow f'(\theta) > ۰ \qquad \forall\,\theta \in]۰,\pi[$$

از اینجا نتیجه می‌شود که f در فاصله‌ی $]۰,\pi[$ صعودی است و داریم:

$$[\alpha > \beta \Rightarrow f(\alpha) > f(\beta)] \Leftrightarrow \frac{\alpha}{\text{cord}\ \alpha} > \frac{\beta}{\text{cord}\ \beta}$$

$$\alpha > \beta \Rightarrow \frac{\text{cord}\ \alpha}{\text{cord}\ \beta} < \frac{\alpha}{\beta}$$

۳.۱. درج واسطه‌ای حسابی

این نامساوی را می‌توان به شکل زیر نیز نمایش داد.

$$\frac{\text{cord } \alpha}{\alpha} < \frac{\text{cord } \beta}{\beta}$$

با استفاده از این نامساوی می‌توان نوشت:

$$\frac{\text{cord}(\frac{۳}{۴})^\circ}{\frac{۳}{۴}} < \frac{\text{cord }(۱)^\circ}{۱} < \frac{\text{cord}(\frac{۳}{۲})^\circ}{\frac{۳}{۲}}$$

و یا

$$\frac{۲}{۳}\text{cord }(\frac{۳}{۲})^\circ < \text{cord } ۱^\circ < \frac{۴}{۳}\text{cord }(\frac{۳}{۴})^\circ$$

بطلمیوس که قبلاً وترهای $\frac{۳}{۲}^\circ$ و $\frac{۳}{۴}^\circ$ را محاسبه کرده بود، حال وتر ۱° را از واسطه‌ی حسابی این دو مقدار تعیین می‌کند[1] یعنی:

$$\text{cord }۱^\circ = \frac{۱}{۳}[۲\text{ cord }(\frac{۳}{۴})^\circ + \text{cord }(\frac{۳}{۲})^\circ] = ۱;\ ۲, ۵۰$$

۲. روش ابوالوفای بوزجانی

منجمان اسلامی نیز همچون منجمان یونان قدیم به جداول نجومی برای محاسبات نجومی خود نیاز مبرم داشتند در این دوره علم مثلثات به وسیله‌ی ریاضیدانان اسلامی کشف و توسعه یافته بود. از این رو این منجمان به جای وتر در جداول خود از سینوس استفاده می‌کردند و بالطبع جداول نجومی خود را بر حسب سینوس تنظیم می‌نمودند و بنابراین به سینوس یک‌درجه و یا نیم‌درجه احتیاج داشتند.

به همین جهت است که ابوالوفای بوزجانی ریاضیدان و منجم برجسته‌ی ایران در قرن چهارم هجری به محاسبه سینوس نیم‌درجه همت می‌گمارد.

۱.۲. گزاره‌ی کمکی

ابوالوفا برای این محاسبه نخست به عنوان یک گزاره‌ی کمکی ثابت می‌کند که

1. Ptolémée, *Almagiste*, traduction française par M. Halma, Paris 1813, pp. 29-32 et 38, A. Aaboe, *Episodes from the Early history of Mathematics*, Washington, 1964, pp. 122-124.

هرگاه $\alpha-\beta$ و α و $\alpha+\beta$ کمان‌هایی در ربع اول دایره باشند آن‌گاه خواهیم داشت:

$$\sin(\alpha+\beta)-\sin\alpha<\sin\alpha-\sin(\alpha-\beta)$$

برهان: طبق فرض مسئله داریم:

$$0<\alpha<\frac{\pi}{2}$$
$$0<\alpha-\beta<\frac{\pi}{2}$$

پس

$$\sin\alpha\geq 0$$

و

$$\cos\beta\leq 1$$

طرفین نامساوی اخیر را در $2\sin\alpha$ ضرب می‌کنیم خواهیم داشت:

$$2\sin\alpha\cos\beta<2\sin\alpha$$

این نامساوی را به شکل زیر نیز می‌توان نمایش داد:

$$\sin(\alpha+\beta)+\sin(\alpha-\beta)<2\sin\alpha\Rightarrow\sin(\alpha+\beta)-\sin\alpha<\sin\alpha-\sin(\alpha-\beta)$$

و بدین ترتیب گزاره‌ی کمکی ثابت می‌شود.

۲.۲. درج واسطه‌ی حسابی

براساس این گزاره می‌توان نامساوی‌های زیر را تشکیل داد:

$$\sin(\alpha+3\varepsilon)-\sin(\alpha+2\varepsilon)<\sin(\alpha+\varepsilon)-\sin\alpha<\sin\alpha-\sin(\alpha-\varepsilon)$$

$$\sin(\alpha+2\varepsilon)-\sin(\alpha+\varepsilon)<\sin(\alpha+\varepsilon)-\sin\alpha<\sin(\alpha-\varepsilon)-\sin(\alpha-2\varepsilon)$$

$$\sin(\alpha+\varepsilon)-\sin\alpha=\sin(\alpha+\varepsilon)-\sin\alpha<\sin(\alpha-2\varepsilon)-\sin(\alpha-3\varepsilon)$$

از جمع عضو به عضو این سه نامساوی خواهیم داشت:

$$\sin\alpha+\frac{1}{3}[\sin(\alpha+3\varepsilon)-\sin\alpha]<\sin(\alpha+\varepsilon)<\sin\alpha+\frac{1}{3}[\sin\alpha-\sin(\alpha-3\varepsilon)]$$

ابوالوفا آن‌گاه نشان می‌دهد که با معلوم بودن وترهای 36° و 60° می‌توان با تنصیف‌های متوالی $\sin(\frac{18}{32})^\circ$ و $\sin(\frac{15}{32})^\circ$ را نتیجه گرفت. به‌علاوه $\sin(\frac{12}{32})^\circ$ را نیز

می‌توان از طریق مساوی قرار دادن $(\frac{۱۲}{۳۲})^\circ$ با $(\frac{۳}{۲۳})^\circ - (\frac{۱۸}{۲۳})^\circ$ محاسبه کرد. آن گاه با قرار دادن $\frac{۱۵^\circ}{۳۲} = \alpha$ و $\frac{۱^\circ}{۳۲} = \in$ در نامساوی فوق به نامساوی زیر می‌رسد:

$$\sin \frac{۱۵^\circ}{۳۲} + \frac{۱}{۳} (\sin \frac{۱۸^\circ}{۳۲} - \sin \frac{۱۵^\circ}{۳۲}) < \sin \frac{۱^\circ}{۲} < \sin \frac{۱۵^\circ}{۳۲} + \frac{۱}{۳} (\sin \frac{۱۵^\circ}{۳۲} - \sin \frac{۱۲^\circ}{۳۲})$$

ابوالوفا سینوس نیم‌درجه را با میانگین حسابی دو حدی که به دست آورده است مساوی می‌گیرد و مقدار زیر را برای این سینوس به دست می‌آورد.[۲]

$$\sin \frac{۱^\circ}{۲} = ۳۱' \; ۲۴'' \; ۵۵''' \; ۵۴^{IV} \; ۵۵^{V}$$

و از روی این مقدار می‌توان $\sin ۱^\circ$ را به آسانی حساب کرد و مقدار زیر را برای آن تعیین نمود:

$$\sin ۱^\circ = ۰ \text{ و } ۰۱۷۴۵۲۴۰۶۴۳۷$$

چنان‌که می‌بینیم ابوالوفا با محاسبه‌ی $\sin \frac{۱^\circ}{۲}$ با تقریبی شایان تحسین از بطلمیوس فراتر رفت. اما او نیز همانند بطلمیوس این محاسبه را به کمک درج واسطه‌ی حسابی انجام داد و نتوانست روش جدیدی برای این محاسبه فراهم آورد.

این روش جدید تنها چند قرن پس از او به وسیله‌ی غیاث‌الدین جمشید کاشانی ریاضیدان بزرگ ایرانی در عصر تیموری کشف گردید و در رساله‌ی وتر و جیب او ارائه شد.[۳]

---

2. F. Woepcke, "sur une mesure de la circonférence du cercle, du aux astronomes arabes, et fondée sur un calcul d'Aboul Wafa", *Journal asiatique*, Avril-Mai 1860, pp. 590-595.

۳. قاضی‌زاده‌ی رومی ضمن اشاره به کار کاشانی چنین نوشته است: «این رساله‌یی است که در استخراج جیب یک‌درجه که براساس قواعدی از هندسه و حساب قرارگرفته است که آنها را برادر ارجمند و یکتای روزگار خویش جمشید پسر مسعود پزشک ملقب به غیاث به الهام دریافته است. سرآمدان فن ریاضی و کسانی که پیوسته در این کار می‌کوشند با آنکه شماره‌ی ایشان بسیار و وسایل کار آنها فراوان بود، پیرامون پژوهش این موضوع نرفته‌اند و به راه‌های تقریبی برای تدقیق آن اکتفا کرده‌اند تا جایی که برخی از ریاضیدانان گفته‌اند: «برای یافتن وتر ثلث قوسی که وتر آن معلوم است راهی نیست». (← دیباچه‌ی رسالة فی استخراج جیب الدراجة الواحدة، تألیف قاضی‌زاده‌ی رومی در سال ۱۲۸۶ هـ ق).

۳. روش کاشانی

کاشانی برای محاسبه‌ی سینوس یک‌درجه، همانند بطلمیوس از رابطه‌ی بین اضلاع و اقطار چهارضلعی محاطی استفاده کرد، اما بر خلاف بطلمیوس، در این استفاده یکی از فرمول‌های مهم مثلثاتی یعنی $\sin ۳\alpha = ۳\sin\alpha - ۴\sin^{۳}\alpha$ را کشف نمود، فرمولی که یک قرن پس از او توسط ریاضیدان فرانسوی ویت[4] مجدداً کشف گردید.

این کشف گام نخستین برای محاسبه‌ی سینوس یک‌درجه بود، زیرا او به خوبی با مقدار $\sin(۱۸^\circ - ۱۵^\circ) = \sin ۳^\circ$ که با عملیات ساده‌یی حاصل می‌شود آشنایی داشت و بنابراین می‌توانست $\sin ۱^\circ$ را بر حسب $\sin ۳^\circ$ به دست آورده و این معادله را تشکیل دهد $\sin ۳^\circ = ۳x - ۴x^{۳}$ که در آن x برابر با $\sin ۱^\circ$ است.

گام دوم کاشانی کشف روشی برای حل این معادله‌ی درجه سوم است. کشفی که اهمیت آن از محاسبه‌ی $\sin ۱^\circ$ نیز بیش‌تر است. این کشف همان است که در آنالیز جدید به قضیه‌ی «نقطه‌ی ثابت یک تابع عددی» شهرت دارد، یعنی به ریاضیدان امکان می‌دهد ریشه‌ی منحصربه‌فرد یک معادله‌ی درجه سوم را تا اندازه‌یی که می‌تواند حساب نماید.

این روش کاشانی نیز چند قرن پس از او توسط کپلر منجم بزرگ اروپایی مجدداً کشف گردید و به وسیله‌ی ریاضیدانان دیگر اروپایی به کارگرفته شد. قبل از اینکه به بررسی این گام‌های مهم کاشانی بپردازیم متذکر می‌شویم که رساله‌ی کاشانی در این زمینه که به وتر و جیب، معروف است، متأسفانه تاکنون یافت نشده است اما قاضی‌زاده‌ی رومی، ریاضیدان هم عصر او تحریری از رساله‌ی کاشانی را تحت عنوان رسالة فی استخراج جیب الدرجة الواحدة علی التحقیق الحقیق استخرجه افضل المهندسین غیاث‌الدین القاسانی ارائه داده که نسخه‌های خطی آن در کتابخانه‌های ایران و خارج موجود است. این رساله همچنین در سال ۱۲۸۶ هـ ق در تهران به

---

4. Viéte.

چاپ رسیده است. گذشته از آن میرم چلبی نوه‌ی قاضی‌زاده‌ی رومی در رساله **دستورالعمل فی تصحیح الجدول**، شرحی بر این روش کاشانی نوشته است.[۵] ملا علی بیرجندی در شرحی که به زبان فارسی بر زیج الغ بیک نوشته، همین روش کاشانی را مورد تحلیل قرار داده است[۶]. ما در زیر روش کاشانی را در دو مرحله مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱.۲. کشف فرمول مثلثاتی تثلیث زاویه

چهارضلعی ABCD محاط در دایره‌یی به مرکز O و به شعاع R را مطابق شکل زیر

۵. این شرح میرم چلبی برای نخستین بار توسط ویکه مورد تحقیق عالمانه قرار گرفت.

F. Woepcke "Discussion de deux methodes arabes pour déterminer une valeur approchée de sin 1°", *Journal de Mathemathiques pures et Appliquees* t. XIX (1854), pp. 153-176.

روز تقلد نیز این شرح را به زبان روسی ترجمه کرده و در مسکو به چاپ رسانید و آقای پرویز شهریاری از روی همین ترجمه‌ی روسی، شرح میرم چلبی را به زبان فارسی ترجمه کرده است (شهریاری، غیاث‌الدین جمشید کاشانی ریاضیدان ایرانی، تهران ۱۳۷۷، ص ص ۱۵۱ - ۱۸۰).

۶. از شرح بیرجندی نسخه‌یی خطی در کتابخانه‌ی مرکزی دانشگاه تهران به شماره‌ی ۴۷۳ موجود است. علاوه بر این شروح قدیمی، مورخان علوم جدید نیز روش کاشانی را در موضوع تحقیقات خود قرار داده‌اند که از آن جمله می‌توان به منابع زیر اشاره کرد.

1. A. Aaboe, "Al-Kashi's Iteration Method for the Determination of sin 1°", *Scripta Mathematica*, 20 (1954), pp. 24-29.

این مقاله توسط آقای محمد باقری به زبان فارسی ترجمه و در شماره‌ی ۱۶ - ۱۵ میراث جاویدان به چاپ رسیده است.

2. J.L Berggren, *Episodes in the Mathematiocs of Medieual Islam*, Springer, New York, 1986.

این کتاب توسط محمد قاسم وحیدی اصل و علیرضا جمالی تحت عنوان گوشه‌هایی از ریاضیات دورهٔ اسلامی، به زبان فارسی ترجمه و در سال ۱۳۷۳ در تهران به چاپ رسیده است.

3. F. Riahi, "An Early Iterative Method for the Determination of sin 1°", *The College Mathematics Journal*, vol. 26 (1995), pp. 16-21.

4. A.P. Youshkevitch, *Les mathemathiques arabes (VIII-XV siecle)*, traduction française par M. Cazenave et K. Jaouiche, Paris, 1976.

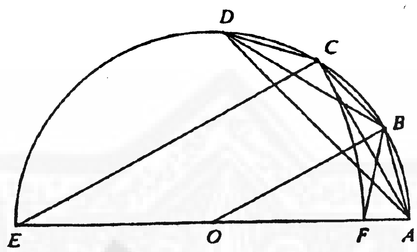
۵. ابوالقاسم قربانی، کاشانی‌نامه، تهران ۱۳۵۰، صص ۱۹۷ - ۲۲۴.

در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم EA قطر این دایره بوده و نقاط D, C, B روی نیم‌دایره به شکلی قرار گرفته باشند که داشته باشیم:

کمان AB = کمان BC = کمان CD

کاشانی با استفاده از قضیه‌ی بطلمیوس چنین می‌نویسد:

$$AB.CD + BC.AD = AC.BD$$



از آنجایی که AB = CD = BC و BD = AC می‌باشد، خواهیم داشت:

$$\overline{AB}^2 + BC \times AD = \overline{AC}^2 \qquad (۱)$$

حال نقطه‌ی F را روی AE چنان اختیار می‌کنیم که EF = EC باشد. از تشابه مثلث‌های ABF و ABO نتیجه می‌شود:

$$\frac{AB}{AF} = \frac{AO}{AB} \Rightarrow AF = \frac{\overline{AB}^2}{R}$$

پس:

$$EF = 2R - AF = 2R - \frac{\overline{AB}^2}{R}$$

از طرف دیگر در مثلث قایم‌الزاویه‌ی AEC داریم:

$$\overline{AC}^2 = \overline{AE}^2 - \overline{EC}^2 = 4R^2 - \overline{EF}^2 \qquad (۲)$$

$$= 4R^2 - (2R - \frac{\overline{AB}^2}{R})^2$$

$$= 4\overline{AB}^2 - \frac{\overline{AB}^4}{R^2}$$

از رابطه‌ی (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$AD = 3AB - \frac{AB^3}{R^2} \qquad (۳)$$

حال اگر کمان AB را مساوی با ۲α فرض کنیم کمان AD برابر با ۶α خواهد شد. باید توجه داشت که رابطه‌ی زیر بین وتر و سینوس یک زاویه وجود دارد:

$$۲R\sin\alpha = \text{وتر}\ (۲\alpha)$$

هرگاه در رابطه‌ی (۳) مقادیر AB و AD را بر حسب $\sin\alpha$ قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$۲R\sin ۳\alpha = ۶R\sin\alpha - ۸R^{۳}\sin^{۳}\alpha / R^{۲}$$

و یا

$$\sin ۳\alpha = ۳\sin\alpha - ۴\sin^{۳}\alpha$$

و این همان فرمول معروف تثلیث زاویه است که کاشانی برای اولین بـار آن را کشف نموده است. حال برای محاسبه‌ی $\sin ۱^{\circ}$ کافی است آن را برابر با x بگیریم تا معادله‌ی درجه سوم $x = \frac{۴}{۳}x^{۳} + \frac{۱}{۳}\sin ۳^{\circ}$ را حاصل نماییم.

۲.۳. روش الگوریتمی کاشانی برای حل معادله‌ی درجه سوم

روش کاشانی برای تعیین ریشه‌ی منحصربه‌فرد معادله‌ی درجه سوم $ax^{۳} \pm bx \pm c = ۰$ به صورت تقریبی در حالی که a مثبت و عددی بسیار کوچک بوده و داشته باشیم: $۲۷ac^{۲} + ۴b^{۳} + > ۰$ همان است که در آنالیز جدید از آن به عنوان «تعیین نقطه‌ی ثابت $x_{۰}$ در تابع پیوسته و محدود f» تعبیر می‌شود.

البته کاشانی تنها حالت خاصی از این معادله را حل می‌کند ولی چنان‌که بعداً نشان خواهیم داد این روش کاشانی سه قرن پس از او توسط ریاضیدان دیگر ایرانی به نام ملاعلی‌محمد اصفهانی برای حل تقریبی انواع مختلفی از معادلات درجـه سوم با شرایط فوق تعمیم می‌یابد. برای فهم دقیق روش کاشانی ما به ذکر مقدمات و مفاهیمی نیاز داریم، مفاهیمی که برای کاشانی کاملاً ناشناخته بوده‌اند.

قضیه‌ی ۱: هرگاه $f(x)$ تابعی عددی و پیوسته در فاصله‌ی بسته‌ی $I \subset R$ باشد و داشته باشیم $f(I) \subseteq I$ معادله‌ی $f(x) = x$ حداقل دارای یک ریشه در I می‌باشد.

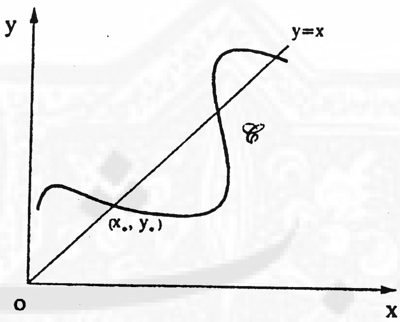
در واقع مشاهده می‌کنیم که خط $y = x$ منحنی (C) نـمایش تـابع $y = f(x)$ را حداقل در یک نقطه‌ی (x_o , y_o) قطع می‌کند، یعنی

$$y_o = f(x_o), y_o = x_o$$

از آنجا نتیجه می‌شود:

$$x_o = f(x_o)$$

که این نشان می‌دهد که معادله‌ی $f(x)$ حداقل دارای یک ریشه‌ی x_o می‌باشد.



قضیه‌ی ۲: قضیه‌ی نقطه‌ی ثابت: با استفاده از قـضیه‌ی نـقطه‌ی ثـابت بـه نتیجه‌یی مهم‌تر از قضیه‌ی قبل خواهیم رسید.

حال اگر f تابعی پیوسته در محدوده‌ی بسته‌ی $I = [a, b]$ باشد به طوری کـه مشتق آن یعنی $f'(x)$ در نامساوی زیر صدق کند $|f'(x)| \leq M < ۱$ نقطه‌ی x_o در فاصله‌ی I وجود دارد به طوری که تمام مقادیر $x_{n+۱} = f(x_n)$ در این نقطه‌ی ثابت x_0 همگرا می‌شوند و به ازای $n > ۱$ خواهیم داشت:

$$|x_n - x_o| \leq M^n |x_۱ - x_o|$$

که در آن $۱ > M > ۰$ می‌باشد.

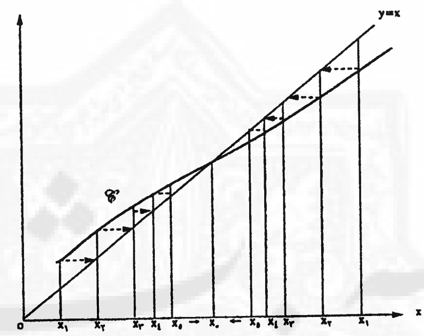
اثبات این قضیه در کتاب‌های درسی آنالیز موجود است.

الگوریتم برای تعیین مقدار تقریبی x_o

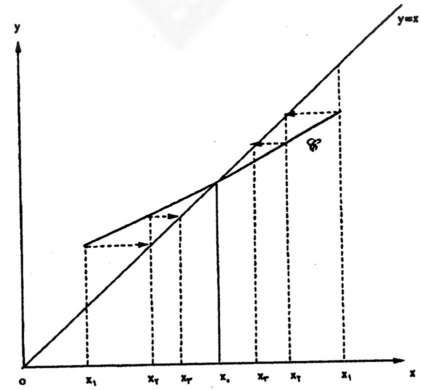
حال اگر تابعی داشته باشیم که در شرایط قضیه‌ی ۲ صدق کند، برای تعیین نقطه‌ی ثابت x_0، الگوریتم ساده‌یی به شرح زیر موجود است:

۱. x_1 مقدار دلخواهی را در فاصله‌ی I اختیار می‌کنیم.

۲. با استفاده از $x_n = f(x_{n-1})$ و به کمک استقرا رشته‌ی $\{x_n\}$ از عناصر I را برای $n > 1$ تعیین می‌کنیم.



۳. نشان می‌دهیم که رشته‌ی $\{x_n\}$ در نقطه‌ی ثابت x_0 همگرا می‌شوند. حال اگر $f(x)$ تابعی صعودی و محدّب و یا مقعّر باشد، در این صورت هرگاه $X_1 < X_0$ باشد رشته‌ی $\{x_n\}$ همان طوری که شکل بالا نشان می‌دهد نزولی است، در حالی که اگر $X_1 < X_0$ باشد، چنانچه در شکل زیر مشاهده می‌شود صعودی خواهد بود.



این همان مفهومی است که کاشانی به شکل شهودی آن را درک و از آن برای حل معادله‌های درجه سوم خود استفاده کرد. زیرا هرگاه معادله‌های درجه سوم $ax^3 - bx + c = 0$ را در نظر بگیریم این معادله را می‌توان به شکل زیر نیز نوشت:

$$x = \frac{c}{b} + \frac{a}{b}x^3$$

طرف راست معادله یعنی $\frac{c}{b} + \frac{a}{b}x^3$ را $f(x)$ در شرایط قضیه‌ی (۲) صدق نماید. بنابراین $x = f(x)$ دارای یک ریشه و فقط یک ریشه خواهد بود.

برای تعیین این ریشه $\{x_n\}$ را مطابق آنچه که قبلاً ذکر کردیم تعیین می‌کنیم. برای اولین تقریب $\frac{a}{b}x^3$ را نادیده می‌گیریم. خواهیم داشت: $x_1 = \frac{c}{b}$

آن را در $f(x)$ قرار می‌دهیم خواهیم داشت:

$$x_2 = f(x_1) = \frac{c}{b} + \frac{a}{b}\left(\frac{c}{b}\right)^2 = \frac{c}{b} + \frac{ac^3}{b^4}$$

همین طور x_2 را در $f(x)$ قرار می‌دهیم خواهیم داشت:

$$x_3 = f(x_2) = \frac{c}{b} + \frac{a}{b}\left(\frac{c}{b} + \frac{ac^3}{b^4}\right)^3$$

و یا:

$$x_3 = \frac{c}{b} + \frac{ac^3}{b^4} + \frac{3a^2c^5}{b}$$

هرگاه به همین نحو مقادیر دیگر x_n را تعیین کنیم بیش از پیش به ریشه‌ی منحصر به فرد x_0 معادله نزدیک خواهیم شد.

حال به معادله‌ی کاشانی یعنی $x = \frac{4}{3}x^3 + \frac{1}{3}\sin 3^\circ$ برمی‌گردیم و فرض می‌کنیم: $f(x) = \frac{4}{3}x^3 + p$ باشد که در آن $p = \frac{1}{3}\sin 3^\circ$، تابع $f(x)$ را در فاصله‌ی $I \in [0/01, 0/02]$ مورد مطالعه قرار می‌دهیم، خواهیم داشت:

$$f(x) = 4x^2$$

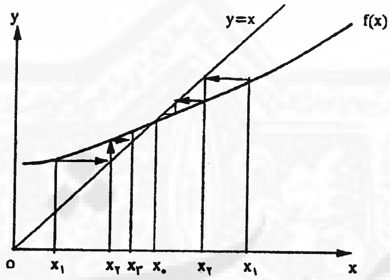
$f'(x)$ در فاصله‌ی I مثبت می‌باشد، پس تابع f در این فاصله‌ی صعودی است و ماکزیمم آن زمانی است که $x = 0/02$ باشد. پس داریم:

$$|f'(x)| \leq 1/6 \times 10^{-3}$$

و از اینجا نتیجه می‌شود که مشتق این تابع کوچک‌تر از واحد می‌باشد، بنابراین طبق قضیه‌ی ۲، این تابع دارای یک نقطه‌ی ثابت x_0 در فاصله‌ی I می‌باشد. به علاوه برای هر مقدار x_1 در این فاصله رشته‌ی $\{x_n\}$ حاصل می‌شود، به طوری که

$$|x_n - x_0| \leq M^n |x_1 - x_0| \quad \text{برای تمام مقدار } n \geq 1$$

این رشته که با x_1 شروع می‌شود همان طوری که در شکل زیر نمایش داده شده در نقطه‌ی ثابت x_0 همگرا می‌شود.



کاشانی برای پیدا کردن این نقطه‌ی ثابت منحصر به فرد و یا ریشه‌ی معادله‌ی سینوس یک‌درجه الگوریتم خود را به کار برد. او همه‌ی محاسبات خود را در دستگاه شصتگانی انجام می‌دهد، ما برای سهولت، این محاسبات را در دستگاه اعشاری انجام می‌دهیم.[۷]

حل معادله‌ی کاشانی در دستگاه اعشاری با روش کاشانی

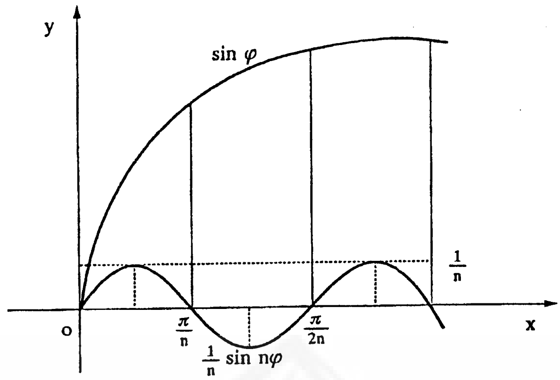
قضیه: هرگاه $\frac{p}{n} > \varphi > 0$ باشد، خواهیم داشت: $\sin \varphi > \frac{1}{n} \sin n\varphi$.

برهان: فرض کنیم $f(\varphi) = \sin \varphi - \frac{1}{n} \sin n\varphi$ کافی است ثابت کنیم که $f(\varphi)$ تابعی است صعودی.

---

۷. این کار را آقای فرهاد ریاحی ریاضیدان ایرانی مقیم خارج از کشور در مقاله‌ی زیر انجام داده است که ما این قسمت را از آن مقاله اقتباس کرده‌ایم.

F. Riahi, "An Early Itrative Methode for the Determination of sin 1°", *The College Mathematics Journal*, vol. 26, no. 1, (1995), pp. 19-20.



$$f'(\varphi) = \cos\varphi - \cos n\varphi = ۲ \sin \frac{n+۱}{۲}\varphi . \sin \frac{n-۱}{۲} . \varphi$$

$$\Rightarrow f'(\varphi) \geq ۰, \ ۰ < \varphi \leq \frac{۲\pi}{n+۱}$$

$$\frac{۲\pi}{n+۱} > \frac{\pi}{\pi} (n \geq ۱) \Rightarrow f(\varphi) > ۰ \quad ۰ < \varphi \leq \frac{\pi}{n}$$

پس از تابع صعودی و بنابراین قضیه ثابت است. از این قضیه می‌توان نتیجه گرفت:

$$\sin ۱^\circ > \frac{۱}{۳} \sin ۳^\circ$$

اما در معادله‌ی کاشانی یعنی $x = \frac{۴}{۳} x^۳ + \frac{۱}{۳} \sin ۳^\circ$، از آنجایی که x مقداری است کوچکتر از واحد، بنابراین مکعب آن یعنی $x^۳$ بسیار کوچک خواهد بود. از اینجا نتیجه می‌شود که $\sin ۱^\circ$ نمی‌تواند خیلی از $\frac{۱}{۳}\sin ۳^\circ$ بزرگتر باشد. پس از این دو حداقل در دو رقم اعشاری اولیه باید مساوی باشند.

اما $\frac{۱}{۳}\sin ۳^\circ = ۰ / ۰۱۷۴۴۵۳...$ پس x باید به شکل زیر نوشته شود:

$x = ۰ / ۰۱ a_۱ a_۲ a_۳...$ پس معادله‌ی (۳) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$۰ / ۰۱ a_۱ a_۲ a_۳... = \frac{۴}{۳} (۰ / ۰۱ a_۱ a_۲ a_۳...)^۳ + \frac{۱}{۳} \sin ۳^\circ$$

مقدار ۱ ۰ و ۰ را از طرفین این تساوی کم می‌کنیم خواهیم داشت:

$$۰ / ۰۰ \ a_۱ a_۲ a_۳... = \frac{۴}{۳} (۰ / ۰۰ \ a_۱ a_۲ a_۳...)^۳ + ۰ و ۰۰ ۷۴۴۵۳$$

حال اگر طبق الگوریتم کاشانی $\frac{۴}{۳}x^۳$ را به سبب ناچیزی آن نادیده بگیریم خواهیم داشت:

$$۰ / ۰۰\ a_۱ a_۲ a_۳ ... \simeq ۰ / ۰۷۴۴۵۳$$

پس

$$a_۱ = ۷$$

و

$$x_۱ = ۰ / ۰۰۱$$

$$x_۲ = ۰ / ۰۰۱۷$$

حال مقدار را معادله‌ی (۳) قرار می‌دهیم خواهیم داشت:

$$۰ / ۰۰۱۷ a_۲ a_۳ ... = \frac{۴}{۳} (۰ / ۰۰۱۷ a_۲ a_۳ ...)^۳ + \frac{۱}{۳} \sin ۳^\circ$$

و از طرفین این تساوی مقدار ۰۱۷ و ۰ را کسر می‌کنیم خواهیم داشت:

$$۰ / ۰۰۰ a_۲ a_۳ ... \frac{۴}{۳} (۰ / ۰۰۱۷ a_۲ a_۳ ...)^۳ + ۰ / ۰۰۰۴۴۵۳$$

با چشم‌پوشی از $\frac{۴}{۳} x^۳$ خواهیم داشت:

$$۰ / ۰۰۰ a_۲ a_۳ ... \simeq ۰ / ۰۰۰۴۴۵۳ \Rightarrow a_۲ = ۴$$

و از آنجا نتیجه می‌شود:

$$x_۳ = ۰ / ۰۰۱۷۴$$

به همین طریق کاشانی ارقام دیگر x را تعیین کرده و $\sin ۱^\circ$ را به صورت ۰۱۷۴۵۲۴۰۶۴۳۷۲۸۳۵۱۰۳ و ۰ محاسبه می‌کند که تا ۱۷ رقم اعشاری آن درست می‌باشد.[۸]

۳.۳. نفوذ کاشانی در ریاضیدانان پس از او

گرچه ریاضیدانان عصر تیموری همچون قاضی‌زاده‌ی رومی، میرم چلبی با روش تقریبی حل معادلات درجه‌ی سوم کاشانی آگاهی داشته‌اند ولی هیچ‌یک

8. R. Rashed, "Mathematiques traditionelles dans les pays islamiques aux XIX siécle l'exemple de l'Iran", dans *Transfer of Modern science Technology to the Muslim world*, Istanbul, 1992, pp. 393-404.

نتوانسته‌اند این روش را برای حل معادلات درجه سوم عددیی دیگر غیز از معادله‌ی کاشانی به کار برند تنها سه قرن پس از کاشانی، ریاضیدان دیگر از ایران به نام ملاعلی‌محمد اصفهانی توانست با درک درستی از روش کاشانی آن را برای انواع دیگری از معادلات درجه سوم عددی به کار برد. البته در عصر این ریاضیدان، دانشمندان اروپایی در ریاضیات پیشرفت قابل توجهی کرده و روش کاشانی را مجدداً کشف کرده بودند. بنابراین ملامحمدعلی اصفهانی اگر از این کشفیات آگاهی داشت، می‌توانست از طریق منابع اروپایی روش تقریبی حل معادلات درجه سوم را به دست آورد. اما آثار این ریاضیدان عصر قاجار گواه آن است که ادامه دهنده‌ی ریاضیات سنتی اسلامی بوده و از منابع بیگانه آگاهی نداشته است[۹]. بنابراین روش تقریبی حل معادلات درجه سوم را باید از طریق نوشته‌ی کاشانی و یا شارحان او به دست آورده باشد، با توجه به اینکه تحریر قاضی‌زاده‌ی رومی نیز در همین دوره به چاپ رسیده بود و او واقعاً از آن آگاهی داشته است و شاید به سبب حل معادلات درجه سوم به روش کاشانی بوده است که او را «غیاث‌الدین جمشید ثانی» نامیده‌اند[۱۰].

---

۹. امروزه در ماشین حسابهای مهندسی و نیز برنامهٔ ماشین حساب ویندوز ۹۸، سینوس یک درجه معمولاً برابر ۰۱۷۴۵۲۴۰۶۴۳۷۲۸۳۵۱۲۸۱۹۴۱۸۹۷۸۵۱۶۳۱۶۲ / ۰ در نظر گرفته می‌شود.

۱۰. در میان مورخان معاصر شادروان محیط طباطبایی ظاهراً اول کسی است که به این لقب ملاعلی‌محمد اصفهانی اشاره کرده است. او می‌نویسد: «در سال ۱۲۷۲ هـ ق پدر مرحوم حاجی نجم‌الدوله، ملاعلی‌محمد اصفهانی که «غیاث‌الدین جمشید ثانی» لقب داشت، به اتفاق برخی از فضلای عصر بدانجا (= رصدخانه سمرقند) رفته و نقشه‌یی از تپه و محل رصد و آثار باقیمانده برداشت که در روزنامه‌ی علمیه همان زمان به چاپ رسید.» (← محمد محیط طباطبایی «تعلیقات برنامهٔ غیاث‌الدین»، ماهنامهٔ آموزش و پرورش، ۱۳۱۹ هـ ش، س ۱۰، ش ۳، ص ۶۰). نیز در تقویم سال ۱۲۸۹ هـ ش که آقای محمدرضا صیاد فتوکپی آن را در اختیار این جانب قرار داده‌اند، ضمن مطلب مختصری به قلم میرزا ابوالحسن خان درباره‌ی نجم‌الدوله فرزند ملاعلی‌محمد اصفهانی چنین آمده است: «... پدر بزرگوارش مرحوم ملاعلی‌محمد که دانایان عصر سابق غیاث‌الدین جمشید ثانی می‌خواندند از روی حقیقت و انصاف از جمله دانشمندان ایران بلکه از اعاظم رجال دوران به شمار می‌آمد. فن مخصوصش ریاضی قدیم بوده... و در مسائل جبری به صاحبان این علم

←

نتیجه

چنان که دیدیم بطلمیوس برای وتر یک‌درجه از خاصیت چهار ضلعی محاطی استفاده کرده و پس از تعیین مقادیر وترهای $\frac{۳^\circ}{۲}$ و $\frac{۳^\circ}{۴}$ به کمک یک نامساوی بین این وترها و کمان‌هایشان وتر یک‌درجه را تعیین می‌کند. گذشته از آنکه روش بطلمیوس برای این منظور بسیار طولانی است، مقدار تقریبی حاصل از این روش برای وتر یک‌درجه نیز چندان دقیق نیست. از همین‌رو، ریاضیدانان اسلامی کوشیدند روش دیگری را جایگزین این روش نمایند. در این دوره مثلثات به وسیله‌ی دانشمندان اسلامی کشف گردیده و محاسبات نجومی با سینوس انجام می‌گرفت. به همین سبب ابوالوفای بوزجانی منجم برجسته ایرانی برای تنظیم جدول نجومی خود به جای وتر یک‌درجه، سینوس نیم‌درجه را محاسبه می‌کند. روش او گرچه دقیق‌تر از روش بطلمیوس بود، اما او نیز همانند بطلمیوس از درج واسطه‌ی حسابی استفاده می‌کند. این وضع به همین منوال ادامه داشت تا اینکه در عصر تیموری، کاشانی روشی کاملاً نوین برای محاسبه‌ی سینوس یک‌درجه ارائه داد. کاشانی همانند بطلمیوس از رابطه‌ی میان اضلاع و اقطار چهارضلعی محاطی شروع کرد ولی بر خلاف ریاضیدانان یونانی موفق به کشف فرمول مثلثاتی، تثلیث زاویه شد. او که معادله‌ی مسئله را کشف کرده بود دیگر نیازی به درج واسطه‌ی حسابی نداشت. او نه‌تنها معادله‌ی مسئله را کشف کرد، بلکه به کشف، آلگوریتمی برای حل این نوع معادلات فایق آمد که ما آن را آلگوریتم کاشانی نامیده‌ایم. همان که قرن‌ها پس از او به وسیله‌ی ملاعلی‌محمد اصفهانی مجدداً برای حل دیگر معادلات درجه سوم عددی به کار گرفته شد.

←

خدمت‌های بی‌حساب نموده است.» (← تقویم فارسی سال ۱۳۸۹ هش، استخراج مرحوم حاج میرزا عبدالغفار نجم‌الدوله، ص ۳).

نقش مسلمانان در حسابان

حیدرزاهد زاهدانی
استاد گروه ریاضی دانشگاه شیراز

مقدمه

حسابان قسمتی از ریاضیات می‌باشد که سکون کمتر و تحرک بیشتری دارد و با تغییرات و حرکت مربوط می‌باشد. در آن با کمیت‌هایی روبرو هستیم که به کمیت‌های دیگری نزدیک می‌شوند، بنابراین مفهوم حد توابع نقش اصلی در مطالعه حسابان خواهد داشت. پس می‌توان حسابان را قسمتی از ریاضیات تعریف کنیم که با حد مربوط می‌شود. حسابان از دو مسأله اصلی تشکیل می‌شود که آن را بدو شاخه حساب دیفرانسیل و حساب انتگرال تقسیم می‌نماید و مسائل خط مماس و محاسبه مساحت شاخه‌های مذکور را بوجود می‌آورند. دو شاخهٔ اصلی فوق به‌نظر با یکدیگر متفاوت می‌باشند ولی آنها توسط قضیه اساسی حسابان به هم مربوط شده و به مفهومی عکس یکدیگرند.

در طی سالهای ۱۶۶۵ تا ۱۶۷۰، اسحاق نیوتن نوعی از حسابان را ابداع نمود که به سری‌های توانی محاسبه مساحت سطح زیر منحنی توابع وابسته بود. او می‌دانست که مساحت زیر منحنی $y=x^n$ بین خطوط $x=b, x=o$ برابر با $\frac{b^{n+1}}{n+1}$. (نتیجه‌ای که در سالهای ۱۶۳۰ توسط کاوالیری (Cavalieri)، روبروال (Roberval) و فرما (Fermat) حاصل شده بود). با گسترش سری توانی توابع و استفاده از فرمول

فوق نیوتن قادر به محاسبه مساحت سطح زیر منحنی توابع بی‌شماری شد و بالعکس با استفاده از فرمول مساحت سری توانی توابع زیادی را بدست آورد. برای مثال نیوتن سری توانی $y=\mathrm{Arc}\sin x$ را با استفاده از بیان آن به صورت یک مساحت بدست آورد و با استفاده از تساوی $x = \sin y \Leftrightarrow y=\mathrm{Arc}\sin x$ موفق به محاسبه سری توانی $\sin x$ گردید ولی نتیجه مذکور ۳۵ سال قبل توسط هندی‌ها با استفاده از فرمولی که ۱۰۰۰ سال بعد از میلاد توسط ابن هیثم مصری ثابت شده بود ارائه گردید.

در این نوشتار تحولاتی که منجر به اثبات نتایج فوق بخصوص توسط ابن‌هیثم شده است را بررسی می‌کنیم.

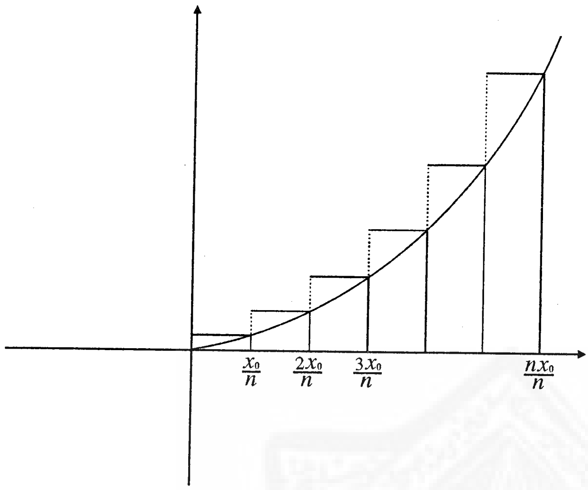
تاریخچه مسأله مساحت

در اکتبر سال ۱۶۳۶ روبروال در نامه‌ای به فرما اعلام نمود که مساحت سطح زیر منحنی $y=x^k$ را بوسیله فرمولی برای محاسبه «مجموع توانهای اعداد طبیعی» (فرمولی که اثبات آن توسط مسلمانان را بررسی خواهیم کرد) بدست آورده است که شکل ریاضی آن:

$$\sum_{i=1}^{n-1} i^k < \frac{n^{k+1}}{k+1} < \sum_{i=1}^{n} i^k$$

به نامساوی روبروال معروف است. فرما در پاسخ نامه او بیان می‌کند که او نیز نتیجه مشابه را با استفاده از نامساوی فوق برای محاسبه مساحت قبلاً اثبات کرده است. هردو آنها برای محاسبه مساحت سطح زیر منحنی $y=x^k$ روی فاصله $[o, x_0]$ از روش فرسایشی (یا روش افناء که یونانی‌ها ۲۵۰۰ سال پیش برای محاسبه مساحت دایره به کار بردند) تقسیم فاصله مذکور به n زیر فاصله به طول $\frac{x_0}{n}$ و پوشش سطح زیر منحنی $y=x^k$ با خطوط $x=x_0, x=0$ توسط مستطیل های محاطی و محیطی

استفاده کردند (شکل زیر).



مساحت مستطیل‌های محاطی برابر با

$$\frac{x_0^k}{n^k}\frac{x_0}{n}+\frac{(2x_0)^k}{n^k}\frac{x_0}{n}+.....+\frac{(nx_0)^k}{n^k}\frac{x_0}{n}=\frac{x_0^{k+1}}{n^{k+1}}(1^k+2^k+...+n^k)$$

و به طور مشابه مساحت مستطیل‌های محیطی را بدست آورده و اگر A مساحت سطح زیر منحنی بین 0 و x_0 باشد آنگاه

$$\frac{x_0^{k+1}}{n^{k+1}}(1^k+2^k+...+(n-1)^k) < A < \frac{x_0^{k+1}}{n^{k+1}}(1^k+2^k+...+n^k)$$

اگر n را باندازه کافی بزرگ اختیار کنیم با مقایسه با نامساوی روبروال مقدار A برابر با $\frac{b^{k+1}}{k+1}$ نتیجه می‌شود.

سؤال بدیهی که مطرح می‌شود آنکه چگونه روبروال و فرما فرمول مجموع توانهای اعداد صحیح را محاسبه کردند. هیچ مدرکی در کارهای روبروال بجز نامه او به فرما وجود ندارد و فرما هم بیان می‌کند که فرمول فوق را با استفاده از اعداد مثلثی و اعداد اهرامی که از ستون‌های مثلث پاسکال حاصل می‌شود اثبات کرده است (توجه کنید که کار فرما حدود بیست سال قبل از انتشار نتایج پاسکال انجام گرفته است هرچند که خواص مثلث خیام ـ پاسکال به اشکال مختلف در حدود ۶۰۰ سال قبل در چین، خاورمیانه، افریقای شمالی و اروپا منتشر شده بود).

فرما بیان می‌کند که با استفاده از رابطه (شکل ریاضی مدرن امروزی)

$$n\binom{n+k}{k} = (k+1)\binom{n+k}{k+1}$$

حاصل عبارت: $1^k+2^k+.....+n^k$

محاسبه می‌شود ولی او فقط حالت k=4 را بیان می‌کند[1]. برای سادگی حالت k=2 را با استفاده از خواص مثلث پاسکال بررسی می‌کنیم.

$$n\binom{n+2}{2} = \binom{n+3}{3} = 3\sum_{j=2}^{n+1}\binom{j}{2}$$

$$= 3\sum_{j=2}^{n+1}\frac{j(j-1)}{2} = 3\sum_{i=1}^{n}\frac{i(i+1)}{2}$$

$$= 3\sum_{i=1}^{n}\frac{i^2}{2} + \frac{i}{2}$$

بنابراین داریم

$$2\frac{n}{3}\ \frac{(n+2)\ (n+1)}{2} - \sum_{i=1}^{n} i = \sum_{i=1}^{n} i^2$$

در نتیجه:

$$\sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n^3}{3} + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{6}$$

در حالت کلی می‌توان نشان داد که

$$\sum_{i=1}^{n} i^k = \frac{n^{k+1}}{k+1} + \frac{n^k}{2} + p\ (n)$$

وقتی که P(n) یک چند جمله‌ای از درجه کمتر از k باشد. از تساوی فوق نامساوی روبروال به سادگی اثبات می‌شود. البته نمی‌دانیم که آیا فرما نتیجه نهائی را به صورت فوق محاسبه کرده است یا نه. زیرا او فقط حالت k=4 را بیان کرده است

1. Katz, V. "Ideas of calculus in Islam and India" *Mathematis Magazine*, vol 68, no. 3 June 1995.

نتیجه‌ای که حدود ۶۵۰ سال قبل از آن توسط ابن هیثم ثابت شده است[۲]

ابن هیثم

فرمول محاسبه مجموع توانهای kام اعداد طبیعی حداقل برای k=4 و نامساوی روبروال ۶۵۰ سال قبل از قرن هفدهم توسط ابوعلی‌حسن ابن هیثم معروف به الهازن (۱۰۳۹ - ۹۶۵) اثبات شده است. البته حالت k=2 توسط ارشمیدس حدود ۲۵۰ قبل از میلاد و حالت k=3 توسط آریابهاتا (Arabhata) در هند حدود سال ۵۰۰ ثابت شده است[۳] و حالت k=4 ساده نیست زیرا با اثبات این حالت روش کلی برای اثبات رابطه برای هر عدد طبیعی k نتیجه می‌شود.

قبل از بررسی کار ابن هیثم در اثبات فرمول مجموع توانهای اعداد طبیعی به‌طور خلاصه اوضاع علوم اسلامی دوره او را توصیف می‌کنیم. در طی قرن نهم خلیفه مأمون یک سِتاد تحقیقاتی در بغداد تأسیس نمود و از تمام دانشمندان دعوت کرد که برای توسعه علوم سنتی در اسلام به آنجا بیایند. دعوت او نه‌تنها مسلمانان بلکه مسیحیان، یهودیان و زرتشتیان را نیز شامل می‌شد. هدف اولیه آنها ترجمه بهترین کارهای ریاضی و علمی انجام‌گرفته توسط یونانی‌ها و هندیها به زبان عربی و سپس ابداع ایده‌های ریاضی و علمی جدید بود. هرچند سِتاد مذکور بعد از دو قرن رفته، رفته از بین رفت ولی یکی از نتایج آن علاقمندی رهبران اسلامی به تشویق و حمایت کارهای علمی و تحقیقاتی و استفاده علمی از نتایج حاصل بود. به همین دلیل ابن هیثم که در بصره عراق متولد شده بود توسط خلیفه الحاکم برای تنظیم جریان نیل به مصر فرا خوانده شد. هرچند او موفق به انجام آن نشد ولی او مهمترین کار علمی خود را در هفت کتاب بنام علم نور یا فی‌المناظر تحریر نمود. کتاب او در قرن سیزدهم به لاتین ترجمه شده و قرن‌ها در اروپا مورد مطالعه و بررسی قرار

2. Rashed, Roshdi, "Ibn al-Haytham et la measure du Paraboloide" *J. for the History of Arabic Science 5 (1981), 262-241.*

3. Katz, V. "Ideas..." *op. cit.*

گرفت. نبوغ ریاضی ابن هیثم در مقالهٔ پنجم کتاب فی‌المناظر آنجا که مسأله‌ای را حل می‌کند که امروز به نام او معروف است به اوج شکوفایی رسیده است. مسأله الهازن به صورت زیر است:

«در صفحهٔ دایره‌ای به مرکز O و به شعاع R دو نقطه ثابت A و B داده می‌شود. هرگاه دایره را به مثابهٔ آینه‌ای فرض کنیم بر آن نقطه‌ای چون M میابید که شعاع لوزی که از A خارج می‌شود پس از منعکس شدن در نقطه M بر B بگذرد».

راه حل بسیار پیچیده ابن هیثم به یک معادله درجه چهارم منتهی می‌شود که وی آن را با قطع کردن یک هذلولی متساوی‌القطرین و یک دایره حل کرده است. علاوه بر آن او با اثبات مسأله برای رویه‌های متنوع استوانه‌ای، کروی و مخروطی نشان داد که کاملاً بر هندسه یونانی‌ها مسلط بوده است (البته لئوناردو داوینچی هم به این مسأله علاقه پیداکرد اما چون مبانی ریاضی مستحکم نداشت فقط توانست آن را از راه عملی (مکانیکی) حل کند. سرانجام هویگنس که در ۱۶۹۶ درگذشت ظریف‌ترین و ساده‌ترین راه حل را نشان داد).

اثبات فرمول مجموع توانهای اعداد صحیح در قرن یازدهم

ایده اصلی در اثبات ابن هیثم استفاده از رابطه:

$$(n+1)\sum_{i=1}^{k} i^k = \sum_{i=1}^{k} i^{k+1} \sum_{p=1}^{k}\left(\sum_{i=1}^{p} i^k\right) \qquad (*).$$

می‌باشد. او فقط نتیجه را برای $n=4$ و $k=1,2,3$ بیان کرده است ولی اثبات او برای هر یک از مقادیر فوق با استقراء روی n انجام گرفته و به راحتی برای هر k قابل اثبات است.[۴]

اثبات او را برای $k=3$ و $n=4$ بررسی می‌کنیم

4. R. Rashed, "Ibn a1-Haytham ..." *op. cit.*

$$(4+1)(1^3+2^3+3^3+4^3) = 4\,(1^3+2^3+3^3+4^3) + 1^3+2^3+3^3+4^3$$
$$= 4.4^3+4\,(1^3+2^3+3^3) + 1^3+2^3+3^3+4^3$$
$$= 4^4+(3+1)\,(1^3+2^3+3^3) + 1^3+2^3+3^3+4^3$$

از آنجاکه تساوی (❊) برای n=3 ثابت شده فرض می‌شود پس

$$(3+1)\,(1^3+2^3+3^3) = 1^4+2^4+3^4+(1^3+2^3+3^3) + (1^3+2^3) + 1^3$$

بنابراین

$$(4+1)(1^3+2^3+3^3+4^3)=4^4+1^4+2^4+3^4+(1^3+2^3+3^3)+(1^3+2^3)+1^3+1^3+2^3+3^3+4^3$$

پس (❊) برای n=4 نیز صادق است. به سادگی می‌توان روش ابن هیثم را برای هر عدد طبیعی k با استقراء روی n به کار برده و (❊) را ثابت کنیم.

ابن هیثم ابتدا از (❊) فرمول مجموع توانها را برای مربع و مکعب اعداد پیدا کرد.

$$\sum_{i=1}^{n} i^2 = \left(\frac{n}{3}+\frac{1}{3}\right) n \left(n+\frac{1}{2}\right) = \frac{n^3}{3}+\frac{n^2}{2}+\frac{n}{6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \left(\frac{n}{4}+\frac{1}{4}\right) n \,(n+1)\, n = \frac{n^4}{4}+\frac{n^3}{2}+\frac{n^2}{4}$$

آنگاه حالت k=4 از (❊) محاسبه می‌گردد.

$$(n+1)\sum_{i=1}^{n} i^3 = \sum_{i=1}^{n} i^4 + \sum_{p=1}^{n}\left(\frac{p^4}{4}+\frac{p^3}{2}+\frac{p^2}{4}\right)$$
$$= \sum_{i=1}^{n} i^4 + \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{n} i^4 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} i^3 + \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{n} i^2$$

بعد از خلاصه کردن عبارات فوق داریم:

$$\sum_{i=1}^{n} i^4 = \left(\frac{n}{5}+\frac{1}{5}\right) n \left(n+\frac{1}{2}\right) \left[(n+1)n-\frac{1}{3}\right]$$
$$= \frac{n^5}{5}+\frac{n^4}{2}+\frac{n^3}{3}-\frac{n}{30}$$

علاوه بر آن توجه کنید که با استفاده از رابطه فوق نتیجه می‌شود که

$$\lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} i^4}{n^5} = \frac{1}{5}$$

رابطه‌ای که فرما و روبروال از نامساوی روبروال ثابت کردند.

ابن هیثم با استفاده از نتایج فوق حجم حادث از دوران سهمی $x=ky^2$ حول خط $x=kb^2$ عمود بر محور سهمی را با روشی که امروزه انتگرال نامیده می‌شود محاسبه کرد. فرمول ابن هیثم برای مجموع توانهای چهار در چندین قرن بعد از او در دنیای اسلام دیده شده است بویژه در کتاب مفتاح‌الحساب غیاث‌الدین جمشید کاشانی. بهرحال معلوم نیست که ریاضی دانان مذکور چگونه از فرمول ابن هیثم آگاهی یافته و به چه منظوری از آن استفاده کردند. ریاضی‌دانان هندی در قرن شانزدهم فرمول ابن هیثم را به کار برده‌اند تا سری توانی توابع مثلثاتی sin x و cos x و Arc tang x را بیابند و نیوتن با استفاده از این نتایج نظریه حسابان خود را پایه‌گذاری نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه شده فوق دانشمندان اسلامی یک فرمول عمومی را برای محاسبه انتگرال چند جمله‌ایها را در حدود ۱۰۰۰ بعد از میلاد توسعه داده و قادر بودند چنین فرمولی را برای هر چند جمله‌ای مورد علاقه تعمیم دهند. ولی به نظر میرسد که علاقمند به چند جمله‌ایها با درجه بیش از چهار نبوده‌اند. از طرف دیگر دانشمندان هندی در ۱۶۰۰ با استفاده از فرمول مجموع ابن هیثم برای هر عدد طبیعی موفق به محاسبه سری توانی توابع مورد علاقه‌شان گردیدند. بنابراین بعضی از ایده‌های اساسی حسابان قرن‌ها قبل از نیوتن در مصر و هند شناخته شده بود ولی آنها نیاز به گسترش از حالات خاص به شکل‌های عمومی را احساس نکردند. شاید به نظر میرسد که باید کتب حسابان دوباره نویسی شده و با تقدیر از

زحمات نیوتن و لایپ نیتز ابداع اولیه حسابان توسط مسلمانان نیز یادآوری شود: شکی نیست که نیوتن و لایپ نتیز کسانی بوده‌اند که ایده‌های متفاوت بسیاری را بهم ترکیب کرده تا مفاهیم مشتق و انتگرال حاصل شوند و روابط بین آنها را به صورت سیستماتیک معرفی کرده و حسابان را به صورت قوی‌ترین وسیله حل مسائل تبدیل نمایند ولی نکته‌ای که هنوز روشن نمی‌باشد آن است آیا ریاضی‌دانان قبل از آنها بخصوص روبروال و فرما از ایده‌های ریاضی مسلمانان از منابعی که برای ما اکنون شناخته شده اطلاع داشته‌اند یا خیر؟ موضوع چگونگی انتقال دانش ریاضی از فرهنگ اسلامی به اروپا در حال حاضر مورد توجه و تحقیق می‌باشد. با توجه به ترجمه کتب ریاضی کشف شده از عربی به زبان‌های اروپائی ردپای بسیاری از ایده‌های ریاضی از عراق و ایران به مصر و سپس به مراکش و اسپانیا دنبال می‌شود. در قرون وسطا اسپانیا محل ملاقات فرهنگ‌های اسلامی، یهودی و فرهنگ نوخاسته مسیحی لاتینی اروپا بوده است. بسیاری از آثار علمی دانشمندان اسلامی در قرن دوازدهم توسط علمای یهودی که عبری هم می‌نوشتند به لاتین ترجمه شد. ولی با وجود اینکه هیچ مدرکی وجود ندارد که کار ابن هیثم روی مجموع توانهای صحیح در آن زمان ترجمه شده باشد ایده‌های اصلی او درکارهای لاتینی و عبری قرن سیزدهم آورده شده است و از آنجاکه ایده‌های اصلی کارش در مطالب هندی هم آورده شده است به نظر میرسد که اتصال به هند نیز از طریق ترجمه‌های فوق انجام گرفته باشد. بهرحال بررسی پاسخ دقیق چگونگی اتصال ایده‌های فوق به تحقیق بیشتری که هم اکنون در حال انجام می‌باشد نیاز دارد. شاید چندین سال دیگر مدارک کافی برای اینکه نشان دهیم که ایده‌های اصلی حسابان از افریقا یا آسیا به اروپا رفته است را در اختیار داشته باشیم.

روش ابن هیثم در ترسیم هفت ضلعی منتظم*

نسیم ماحوزی
دانشجوی کارشناسی ارشد فلسفه علم دانشگاه صنعتی شریف

مقـدمـه

رسم هفت‌ضلعی منتظم توسط خط کش و پرگار از جمله مسائل لاینحلی است که از زمان یونانیان مطرح بوده و در این رهگذر تلاشهایی پی‌گیر، بویژه از سوی ریاضیدانان اسلامی، نظیر ابن هیثم، ابن جود، کوهی و... صورت گرفته است. آنان در این جستجو با نقد روش ارشمیدس و نیز بهره‌گیری از مقاطع مخروطی، راه‌حلهایی را ارائه داداه‌اند که نگارنده در این پژوهش ضمن بیان روش ارشمیدس به شرح ۵ روش پیشنهادی ابن هیثم می‌پردازد.

بخش اول، آشنایی با تعاریفی است که ما را در درک بهتر اثباتهای ارائه شده در متن یاری می‌دهد. بخش دوم، شرح و بررسی روش ارشمیدس است در ترسیم هفت‌ضلعی منتظم. بخش سوم شرح و شناخت روشهای پنجگانه‌ای است که ابن هیثم برای رسم هفت‌ضلعی منتظم ارائه داده است. بخش ضمیمه، نگرشی است بر محال بودن امکان دوبرابر کردن مکعب، تثلیت زاویه، رسم هفت‌ضلعی منتظم و نیز فهرستی از چند ضلعی‌های منتظم قابل محاط در دایره.

---

*. جای آن دارد که صمیمانه از راهنماییهای ارزندهٔ استاد گرانمایه و ارجمند، آقای دکتر جعفر آقایانی چاوشی، که با معرفی منابع معتبر، شکیبایی و نظارت بی‌وقفهٔ خویش مرا در نگارش این مقاله یاری داده‌اند، قدردانی کنم.

۱ ـ تعاریف

۱ـ۱ ـ تعاریف مقدماتی برای روش ارشمیدس

۱ـ۱ـ۱ خط‌کش بدون نشانه (تقسیم‌بندی نشده)

این وسیله برای رسم پاره‌خط واصل دو نقطهٔ مفروض مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی ترسیمهای هندسی بر اساس قوانین کلاسیک یونان با خط‌کش و پرگار امکان‌پذیر نیست. باید توجه داشت که منظور از خط‌کش، خط‌کش بدون نشانه است که نمی‌تواند مقدار فاصلهٔ دو نقطه را نشان دهد.

۱ـ۱ـ۲ پرگار

برای رسم دایره یا کمان از یک نقطه، بعنوان مرکز دایره و نقطه‌ای در فاصله‌ای دورتر که شعاع را مشخص می‌کند مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از آن برای انتقال یک فاصله یا رسم دایره‌ای به شعاع آن فاصله می‌توان استفاده کرد.

۱ـ۱ـ۳ چندضلعی منتظم محاط در دایره

یک n ضلعی $(n>3)$، منتظم است اگر دارای n ضلع و n زاویهٔ برابر باشد و هر رأس آن بر دایره واقع باشد. این n ضلعیها دارای خواص زیر می‌باشند:
برای α، زاویهٔ مرکزی و B، زاویهٔ رأس n ضلعی، p محیط، a اندازهٔ ضلع و s مساحت n ضلعی داریم:

$$\beta = \frac{180(n-2)}{n}, \alpha = \frac{360}{n}, \alpha + \beta = ۱۸۰$$

$$p = na = 2nRSin\alpha / 2$$

$$a = 2RSin \frac{\alpha}{2} \quad S = \frac{na\sqrt{4R^2-a^2}}{4}$$

$\alpha = \frac{360^\circ}{7}$ و $\beta \simeq 128.57^\circ$

در هفت ضلعی منتظم، به‌طور خاص مجموع زوایا ۹۰۰ درجه است.

۱ـ۱ـ۴ قوانین کلاسیک رسم هندسی یونانیان (هندسه اقلیدسی):

۱ ـ حداقل دو نقطه در شروع کار داده شود. (که به آنها نقاط قابل رسم گفته می‌شود).

۲ ـ از نقاط رسم شدهٔ مفروض می‌توان با خط کش، خطی گذراند.

۳ ـ با پرگار می‌توان دایره‌ای به مرکز یک نقطه رسم کرد که از دیگری عبور کند.

۴ ـ نقاط تقاطع خط و دایره قابل رسمند.

۱ـ۱ـ۵ اعداد فرما:

$F_n = 2^{2^n} + 1$ برای $n \geq 0$ اعداد فرما نامیده می‌شوند. این اعداد که لااقل برای $n \leq 5$ اول هستند (برای $n \geq 6$ هنوز ثابت نشده که اول هستند) می‌توانند ضلعهای یک n ضلعی قابل محاط شدن در دایره باشند. (بوسیلهٔ خط کش و پرگار). اعداد فرما برای $n=$۰، ۱، ۲،... و ۵ عبارت است از:

۵، ۱۷، ۲۵۷، ۶۵۵۳۷، ۶۷۲۹۷، ۴۲۹۴۹.

۱ـ۱ـ۶ـ اعداد جبری:

معادلهٔ n جمله‌ای زیر را در نظر بگیرید:

$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0$ ریشه‌های حقیقی چنین معادلاتی جبری نامیده می‌شود. بعبارت دیگر جبری از درجهٔ n نامیده می‌شود، اگر معادلهٔ $P_n(x)$ را ارضا کند. (به‌ازای بعضی $P_n(x)$ با ضرایب صحیح). اعداد گویا و صحیح همگی جبری از درجهٔ ۱ هستند.

۱ـ۱ـ۷ ـ اعداد غیر جبری:

عددی که ریشهٔ هیچ چند جمله‌ای با ضرایب صحیح نباشد، عددی جبری از هیچ درجه‌ای نیست و به آن عدد غیر جبری می‌گویند. از این تعریف نتیجه می‌شود که هر عدد جبری گنگ است و غیرگویا چراکه هر عدد گویا جبری است از درجهٔ ۱. اعدادی چون π، e و... غیر جبری است.

۱ـ۱ـ۸ روش ترسیم مرزی

(Verging Construction **یا** Neusis Construction)

ساختی است که با ساده کردن قوانین کلاسیک یونانیان بدین صورت که بتوان از خط کش مدرج استفاده نمود، امکان حل مسائل ترسیمی، چون رسم هفت ضلعی منتظم، دوبرابر کردن مکعب و تثلیث زاویه را فراهم می‌کند.

۱ـ۲ تعاریف مقاطع مخروطی

۱ـ۲ـ۱ وتر مقطع مخروطی:

پاره‌خطی است که دو نقطه یک مقطع مخروطی را به هم وصل می‌کند.

۱ـ۲ـ۲ قطر مقطع مخروطی:

هر خط راستی که منصف تمام وترهای مقطع مخروطی و موازی یک امتداد خاص (1)، باشد، وتر نامیده می‌شود.

۱ـ۲ـ۳ رأس:

نقطهٔ تقاطع قطر و مقطع مخروطی، رأس گفته میشود.

۱ـ۲ـ۴ عرض (مرتبط با قطر):

نصف وترهای موازی با 1 عرض نامیده می‌شود. عرضها همیشه موازی مماس در نقطه رأس است.

۱ـ۲ـ۵ زاویهٔ عرض:

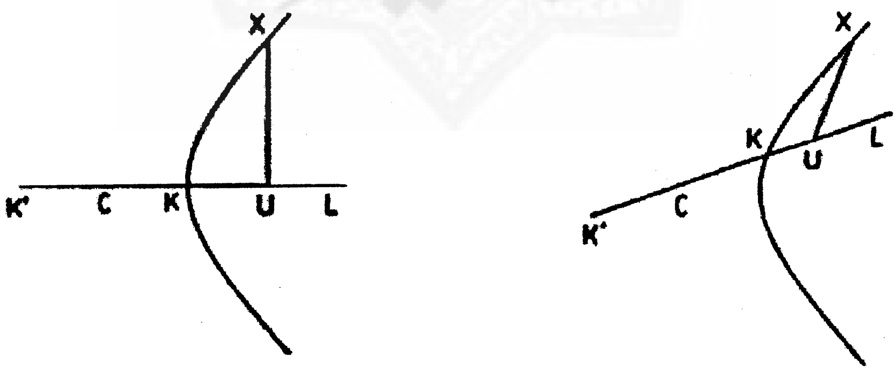
زاویهٔ عرض، زاویهٔ بین عرض و قطر است. اگر زاویهٔ عرضها قائمه باشد، قطر محور نامیده می‌شود. قطرهای سهمی، محور است.

۱ـ۲ـ۶ پارامتر سهمی:

اگر K رأس باشد و XU عرض مرتبط با KL باشد آنگاه $xu^2 = KU.p$ پاره‌خط p تنها بستگی به انتخاب قطر KL دارد. p پارامتر قطر KL است. (بعبارت دیگر فاصلهٔ کانون سهمی از خط هادی پارامتر، نامیده می‌شود.)

۱ـ۲ـ۷ خاصیتهای P۱ و P۲ برای سهمی:

P1: اگر KL محور باشد؛ XU=KU.p



شکل ۱ و ۲

P2: اگر KL محور نباشد؛ XU=KU.p

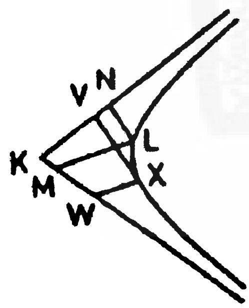
۱ـ۲ـ۸ مرکز هذلولی:

برای هر هذلولی نقطه‌ای به نام مرکز وجود دارد و قطرهای هذلولی همگی خطوطی راست هستند که از مرکز گذشته، هذلولی را قطع می‌کند.

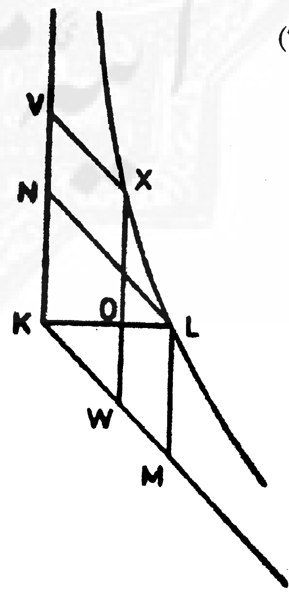
۱ـ۲ـ۹ خاصیت هذلولی:[1]

برای هذلولی که مجانبهایش زاویهٔ $135°$ تشکیل می‌دهد و $MK \parallel LN$ ، $XV \parallel VK$ ، $XW \parallel LM$ ، $L\hat{K}N=90°$ حالت خاص قضیهٔ زیر اثبات می‌شود:

اگر X,L دو نقطه روی هذلولی با مجانبهای KM,KN باشد و اگر $LM \parallel XW$ ، $LN \parallel XV$ باشد آنگاه LM.LN مساوی XW.XV خواهد بود. (شکل ۴ و ۳)



شکل ۴

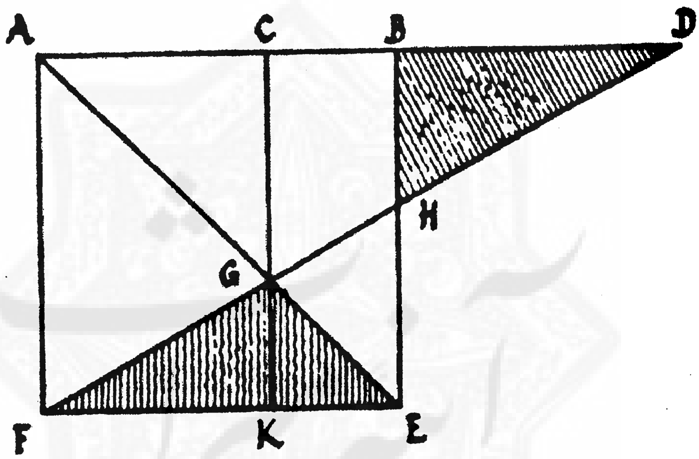


شکل ۳

۱. چنان که خواهیم دید ابن هیثم از این خاصیت برای اثبات این که $XW.KO=LK^2$ استفاده می‌کند. (O، نقطهٔ تقاطع LK,XW است.)

۳ ـ ساخت هفت ضلعی منتظم توسط ارشمیدس[۲]

ثابت ابن قره، مقالهٔ تقریبات ناشناختهٔ ارشمیدس را به عربی ترجمه کرد و Carl Schoy در بررسی ریاضیات اسلامی به این ترجمه دست یافت که پس از فوت او در سال ۱۹۲۷ به چاپ رسید. در این مقاله به ساخت هفت ضلعی منتظم توسط ارشمیدس می‌پردازیم.



شکل ۵

ساخت شکل ۵ را با پاره‌خط داده شدهٔ AB آغاز می‌کنیم. روی AB مربع AFEB را می‌سازیم. قطر AE را رسم می‌کنیم و خط AB را از طرف B امتداد می‌دهیم.

۲. در این بخش در واقع به بررسی چگونگی این ساخت با توجه به کتاب و مقالهٔ زیر پرداخته‌ام:

Aaboe, Asger, *Episodes from the early history of mathematics* (1964)

J.P. Hogendijk."Greek and Arabic constructions of the regular heptagon", *Archieve of exact sciences 30* (1984),

خط FD را چنان رسم می‌کنیم که $S_{\Delta BHD} = S_{\Delta FGE}$ (S_{Δ}= مساحت مثلث) باشد. به عبارت دیگر از نقطهٔ F، خط‌کش را چنان تغییر مکان می‌دهیم که همواره بر نقطه F واقع باشد و مساحت بین این خط، قطر AE و ضلع FE برابر با مساحت محصور بین این خط، ضلع BE و ادامهٔ ضلع AB از طرف B باشد.

FD چنین خطی است. (در واقع رسم خط FD، با خط‌کش و پرگار میسر نخواهد بود.) FD قطر AE را در G، ضلع BE را در H و ادامهٔ AB را در D قطع می‌کند.

از نقطهٔ G خطی به موازات BE رسم می‌کنیم تا ضلع FE را در K و ضلع AB را در C قطع کند. حال ادعا می‌کنیم که چهار نقطهٔ D، C، B، A در دو معادلهٔ زیر صدق می‌کنند:

I) $AB.AC = BD^2$

II) $CD.DB = AC^2$

اثبات:

$$S_{\Delta BHD} = S_{\Delta GFE} \Rightarrow GK.FE = BH.BD \Rightarrow \frac{BH}{GK} = \frac{FE}{BD}$$

مثلث $\overset{\Delta}{D}BH$ با مثلث $\overset{\Delta}{G}KF$ متشابه است ($\overset{\Delta}{D}BH \simeq \overset{\Delta}{G}KF$). زیرا هردو قائمه است و $D = F$ (F و D دو زاویهٔ حاده است) بنابراین داریم:

$$\frac{BH}{GK} = \frac{BD}{FK}$$

$$(1) \text{ و } (2) \Rightarrow (\frac{BH}{GK}) = \frac{FE}{BD} = \frac{BD}{FK} \Rightarrow FE.FK = BD^2$$

حال در معادلهٔ فوق به جای FE معادل آن، AB و به جای FK، AC را جایگزین می‌کنیم. در این صورت خواهیم داشت:

$AB.AC = BD^2$

حال دو مثلث متشابه $\overset{\Delta}{F}KG$ و $\overset{\Delta}{D}CG$ را در نظر می‌گیریم. در این صورت خواهیم داشت:

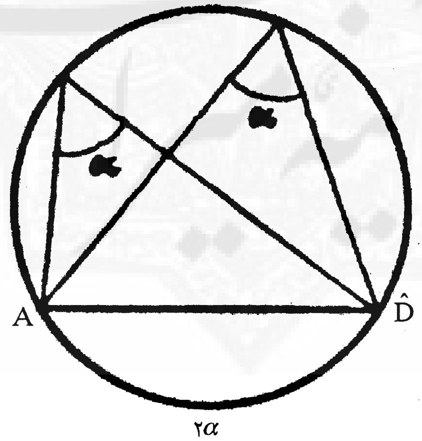
$$\frac{GK}{FK} = \frac{GC}{CD} \Rightarrow GK.CD = GC.FK$$

از طرف دیگر چون AE قطر مربع ABFE است $G\hat{A}C=G\hat{E}K=45°=A\hat{G}C$
در نتیجه $GK = AC$ و $AC = GC$ و نیز داریم $FK=AC$ و $KE(=GK)=CB$
حال در معادلهٔ فوق، مقادیر مساوی را جایگزین می‌کنیم:

$$CB.CD=AC^2$$

و بدین ترتیب ادعاهای (I) و (II) اثبات می‌شود.

حال خوانندهٔ کم طاقت ممکن است در صدد یافتن ارتباط این موضوع با هفت ضلعی منتظم باشد. این ارتباط پس از بیان قضیهٔ زیر، شرح داده می‌شود.

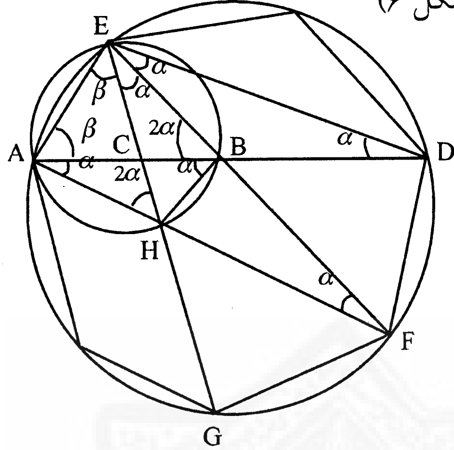


شکل ۶

قضیه: از هر نقطه، چون p، واقع در یک طرف خط داده شدهٔ AB، زاویهٔ داده شدهٔ α و وتر AB می‌توان یک دایره گذراند که کمان AB، برابر ۲α باشد.

(بعبارت دیگر در هر دایره زوایای واقع در یک طرف وتر با هم برابر و مساوی

نصف کمان روبروی آنهاست). (شکل ۶)



(شکل ۷)

در شکل (۷)، AD خطی است که در شکل (۵) نشان داده شد با دو خاصیت

i) $AB.AC=BD^2$

ii) $CB.CD=AC^2$

حال E را چنان انتخاب می‌کنیم که $CE=CA$ و $BE=BD$.

از سه نقطهٔ A، E و D یک دایره می‌گذرانیم و ادعا می‌کنیم که AE یک ضلع هفت‌ضلعی منتظم محاط در این دایره است.

اثبات آنرا در زیر ارائه می‌دهیم.

مثلث EBD متساوی‌الساقین است $\Leftarrow$ (BE = BD) ,$B\hat{D}E = B\hat{E}D = \alpha$

مثلث ACE متساوی‌الساقین است $\Leftarrow$ (AC = CE) ,$A\hat{E}C = E\hat{A}C = \beta$

ضلع EB و EC را امتداد می‌دهیم تا دایره را در F و G قطع کند و نیز AF را رسم کرده، تقاطع آن را با EG، H می‌نامیم. H را به B وصل می‌کنیم.

کمان مقابل به هر زاویهٔ محاطی دوبرابر آن است و چون $B\hat{E}D=\alpha$ $\Leftarrow$ $DF=2\alpha$ و نیز $AE = 2\alpha$.

$F\hat{A}D = \alpha \Rightarrow \hat{F} = \hat{A} = \alpha$

از طـــرفی $E\hat{B}D = 180 - E\hat{B}A$ ($E\hat{B}A$ مکـــمل $E\hat{B}D$ است) و چـــون

$E\hat{B}D = 180 - 2\alpha$ پس $E\hat{B}A = 2\alpha$ حال شرط (ii) را اعمال می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{CD}{AC} = \dfrac{AC}{CB}\\ AC = CE\end{array}\right\} \Rightarrow \dfrac{CD}{CE} = \dfrac{CE}{CB}$$

در نتیجه $\overset{\Delta}{BEC} \sim \overset{\Delta}{EDC}$ (زاویهٔ C در هر دو مشترک است و رابطهٔ فوق بین اضلاعشان برقرار است). بنابراین:

$C\hat{D}E = B\hat{E}C = \alpha \Rightarrow GF = 2\alpha = AE = DF$

$E\hat{A}C = C\hat{E}A = \beta \Rightarrow ED = AG = 2$

اگر نشان دهیم $\beta = 2\alpha$ اثبات به پایان می‌رسد. چرا که خواهیم داشت AE یک هفتم کل دایره است.

برای اثبات، ملاحظه می‌کنیم که وتر HB روبروی زوایای $H\hat{A}B, H\hat{E}B$ است پس بنابر قضیه می‌توان از A و E که در یک طرف پاره‌خط HB واقعند یک دایره گذرا که HB وتر آن باشد و $\hat{A} = \hat{E} = \alpha$ به عبارت دیگر چهار وجهی AHBE قابل محاط شدن است.

در این دایره β روبرو به کمانهای AH و EB است پس وتر AH با وتر EB برابر است. و نیز زاویهٔ H روبرو به وتر AE برابر است با زاویهٔ B روبرو به همان وتر برابر با 2α، در نتیجه $A\hat{H}E = 2\alpha$ است

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{AB}{BD} = \dfrac{BD}{AC}\\ EB = BD = AH\\ AC = EC\end{array}\right\} \Rightarrow \dfrac{AB}{AH} = \dfrac{EB}{EC} \Rightarrow \overset{\Delta}{EBC} \sim \overset{\Delta}{ABH}$$

$B\hat{A}H = B\hat{E}C = \alpha \Rightarrow \gamma = 2\alpha$، در نتیجه $\beta = \gamma = 2\alpha$ (هر دو زاویه رو به وتر AH است.) و کمانهای ED و AG برابر با 4α است.

پس کل کمانها برابر است با ۱۴α و کمان AE یک هفتم کل کمانهاست.

به این ترتیب هفت ضلعی منتظم درون یک دایره محاط شد.

۴ ـ نقد روش ارشمیدس توسط ابن هیثم

ابن هیثم فیزیکدان و هندسه دان برجستهٔ سالهای ۹۶۵ ـ ۱۰۳۹ میلادی به دنبال کاربر روی هفت ضلعی منتظم ارشمیدس، بوسیلهٔ مقاطع مخروطی موفق به رسم هفت ضلعی شد. وی در بیانیهٔ خود در زمینهٔ مقدمات (ساخت) هفت ضلعی منتظم محاط در دایره، چنین می‌گوید:

«ارشمیدس اساس ساخت هفت ضلعی منتظم را بر مربعی استوار کرده که چگونگی بدست آوردنش را نمی‌دانیم. روش او برای ما مشخص نیست چراکه تنها راه ممکن برای بدست آوردن مربعی با مشخصات داده شده به وسیلهٔ مقاطع مخروطی امکان‌پذیر می‌شود».[۳]

ابن هیثم با فرض داشتن مربع مفروض ارشمیدس، با استفاده از مقاطع مخروطی به روشی برای رسم آن مربع دست یافت.

وی از تقاطع سهمی و هذلولی (ابن هیثم فقط بخش مثبت هذلولی را در نظر گرفته).

برای تقسیم خط با خصوصیات بیان شدهٔ ارشمیدس بهره برد.

۴ـ ۱ ـ روش ابن هیثم در ساخت هفت ضلعی منتظم[۴]

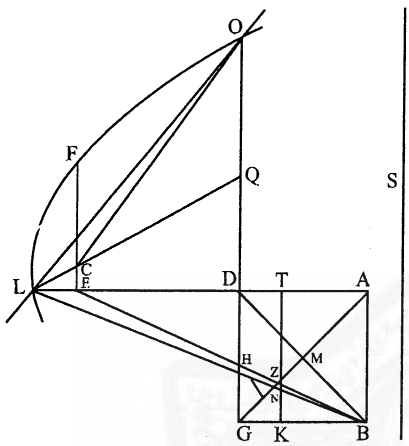
صورت مسأله، در واقع چنین است:

رسم خط راستی در مربع ABGD که از B، بگذرد و قطر AG را در Z و GD را

3. Hogendijk, J.P. *Ibn al Haitham's completion of the conics*, p. 60
sources in the history of mathematics and phisical sciences, Springer-verlag.

۴. این بخش در واقع ترجمه‌ای است از برخی قسمتهای بخش چهارم مقالهٔ Hogendijk:
"Greek and Arabic conustructions of the regular heptagon"

در H و امتداد AD را در E چنان قطع کند که $\overset{\Delta}{B}ZG = \overset{\Delta}{D}HE$ (شکل ۸).



شکل ۸

چنین مربعی همراه با خط BZHE برای رسم یک هفت ضلعی منتظم کافی خواهد بود.

اثبات:

فرض کنیم ABGD مربع مفروض باشد و BHZE خطی راست باشد چنان که $\overset{\Delta}{B}ZG = \overset{\Delta}{D}HE$.

BD را رسم کنیم تا AG را در M قطع کند. خواهیم داشت:

$$AZDH=\overset{\Delta}{A}MD+MZDH=\overset{\Delta}{B}MG+MZDH=\overset{\Delta}{B}ZG+\overset{\Delta}{B}HD$$

$$\overset{\Delta}{B}ZG=\overset{\Delta}{D}HE\Rightarrow\overset{\Delta}{B}ZG+\overset{\Delta}{B}HD=\overset{\Delta}{B}HE+\overset{\Delta}{B}HD=\overset{\Delta}{B}ED\Rightarrow AZHD=\overset{\Delta}{B}ED$$

فرض کنیم L، روی امتداد AE باشد چنانکه $\overset{\Delta}{G}HZ=\overset{\Delta}{B}LE$ آنگاه:

$\overset{\Delta}{B}LD=\overset{\Delta}{B}LE+\overset{\Delta}{B}ED=\overset{\Delta}{G}HZ+AZHD=\overset{\Delta}{G}DA$ و از آنجاکه $BG \parallel AL$ و $AB = GD$ ارتفاعهای برابر وارد بر دو قاعده، AD, DL است داریم: $AD=DL$

بعلاوه میتوان نتیجه گرفت:

$$\left.\begin{array}{l}\overset{\Delta}{GHZ} = \overset{\Delta}{BLE} \\ \overset{\Delta}{GDA} = \overset{\Delta}{BLD}\end{array}\right\} \Rightarrow \frac{\overset{\Delta}{BLD}}{\overset{\Delta}{BLE}} = \frac{\overset{\Delta}{GDA}}{\overset{\Delta}{GHZ}}$$

$$\frac{\overset{\Delta}{BLD}}{\overset{\Delta}{BLE}} = \frac{DL}{EL} \text{ و } \frac{\overset{\Delta}{GDA}}{\overset{\Delta}{GHZ}} = \frac{GD.GA}{GH.GZ}$$

ابن هیثم فرمول اخیر را توسط رسم خط عمود AG بر HN چنین اثبات می‌کند:

$$\begin{array}{l}\overset{\Delta}{GHZ}=\frac{1}{2}HN.GZ \\ \\ \overset{\Delta}{GDA}=\frac{1}{2}DM.GA\end{array}\left|\begin{array}{l}\frac{\overset{\Delta}{GDA}}{\overset{\Delta}{GHZ}}=\frac{DM.GA}{HN.CZ} \\ \\ \frac{DM}{HN}=\frac{CD}{GH}\end{array}\right\} \Rightarrow \frac{\overset{\Delta}{GDA}}{\overset{\Delta}{GHZ}} = \frac{GD.GA}{GH.GZ} = \frac{DL}{LE}$$

حال خط $KZT /\!/ BA$ را رسم می‌کنیم. آنگاه:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{GD}{GH} = \frac{BE}{BH} = \frac{AE}{AD} \\ \\ \frac{GA}{GZ} = \frac{BE}{BZ} = \frac{AE}{AT}\end{array}\right\} \Rightarrow \frac{GD.GA}{GM.GZ} = \frac{AE}{AD.AT}$$

چنان که دیدیم ارشمیدس ثابت کرد که:

$$\overset{\Delta}{BZG} = \overset{\Delta}{DHE} \Rightarrow AD.AT = DE^2 \Rightarrow \frac{DL}{LE} = \frac{AE^2}{DE^2}$$

بنابراین مساله این است که پاره‌خط LEDA را چنان رسم کنیم که:

۱ - $AD = DL$ و ۲- $\frac{DL}{LE} = \frac{AE^2}{DE^2}$

مساله را حل شده می‌انگاریم. خطوط EF و DO را عمود بر AL چنان رسم می‌کنیم که: $EF = ED$ و $AE = s.DO^2$ را چنان پاره‌خطی در نظر می‌گیریم که،

$DO = s.DL$، پس بنابر (P1)، O روی یک سهمی است با راس L، محور LD و پارامتر s.

$$\left.\begin{array}{l} DO^2 = s.DL \\ \dfrac{DO^2}{FE^2} = \dfrac{AE^2}{DE^2} = \dfrac{DL}{EL} \end{array}\right\} \Rightarrow FE^2 = s.EL$$

بنابراین سهمی از F هم عبور می‌کند.

Q را چنان روی DO انتخاب می‌کنیم که $DQ = DL$ خط LQ را رسم می‌کنیم تا FE را در C قطع کند مثلث LQD معلوم است ($QD = DL, QDL = 90°$) بنابراین زاویهٔ $\hat{O}QC$ معلوم است. ($\hat{O}QC = 135°$) OC. را رسم می‌کنیم.

$$\frac{QC}{DE} = \frac{QL}{DL} \Rightarrow \frac{QC}{DE} = \sqrt{2}$$

$$OD = AE,\ QD = DL = AD \Rightarrow DQ = DE \Rightarrow \frac{QC}{OQ} = \sqrt{2}$$

با معلوم بودن این نسبت، مثلث OQC معلوم خواهد بود و نیز نسبت $\dfrac{CO}{CQ}=\sqrt{5}$

از طرف دیگر $OQ = DE = FE \Rightarrow \dfrac{CO^2}{FE^2} = 5$ و نیز بنابر قانون کسینوسها

$$FE^2 = s.EL \Rightarrow \frac{CO^2}{s.EL} = 5$$

داریم: $\text{Cos}\,(OCQ) = \dfrac{3}{\sqrt{10}} \Rightarrow \varphi = OCQ = 18°\ 26$ پس O روی یک سهمی گذرنده از L با قطر LQ و پارامتر $\dfrac{5s}{\sqrt{2}}$ و زاویه عرض φ، واقع است.

فرض کنید L معلوم باشد و پاره‌خطی مشخص داشته باشیم، ولی D معلوم نباشد.

هردو سهمی معلومند بنابراین نقطه تقاطع آنها، D، معلوم است و نیز خط عمود OD و نقاط تقاطع آن با LD، LQ، D، Q (زاویه $45 = QLD$).

$AD=DL$ و $OQ = DE$ بنابراین E و A معلومند و حل مساله پایان می‌یابد.

۴ـ۲ روش دوم ابن هیثم (IH2)

در این روش، برای حل مشکل ارشمیدس، ابن هیثم از تقاطع سهمی و هذلولی استفاده می‌کند. این روش در فصلی[5] که او درباره هفت ضلعی منتظم نگاشته، آمده است و نیز در رساله ابن‌هیثم[6] به عنوان چهارمین ساخت مطرح شده است. مورد نخست توسط **راشد** ویراستاری و توسط (Schoy) به آلمانی ترجمه شده است.

متن عربی رساله نیز توسط رُشدی راشد ویراسته شد و به فرانسه ترجمه گردید.[۷]

استدلال او در تحلیل زیر بسیار روشن است.

فرض کنیم که $AGDB$ چنان است که: $GB.DB = AG^2, AD.GD = DB^2$.

از G عمود GX را برابر با AG رسم می‌کنیم. آنگاه $GB.DB = GX^2$ و بنابراین X روی یک سهمی با رأس B محور DB و پارامتر DB است. (P1)

Q را چنان روی امتداد BD قرار می‌دهیم که $DQ = DB$. از D,Q دو عمود DR,QS را چنان رسم می‌کنیم که $DR = QS = DB$ (شکل ۹). QR,DS را رسم می‌کنیم. XG را امتداد می‌دهیم تا DS را در Y قطع کند. از X خطی موازی YD رسم می‌کنیم تا امتداد DR را در Z قطع کند. آنگاه

$$\frac{GY}{GD} = \frac{QS}{QD}$$
$$QS = QD$$

5. "chapter by Al-Hasan ibn al-Haitham on the Lemma for the side of heptagon". *GAS V, 367, 14*

6. "Treatise by Al-Hasan ibn al-Haitham on the construction of the Heptagon in the Circle" *GAS V, 367, 13.*

7. R.Rashed, "La construction de Iheptagon regular par lbn-al-Haitham." *Journal for history of Arabic Science* 3/1979/309-387.

و خواهیم داشت:

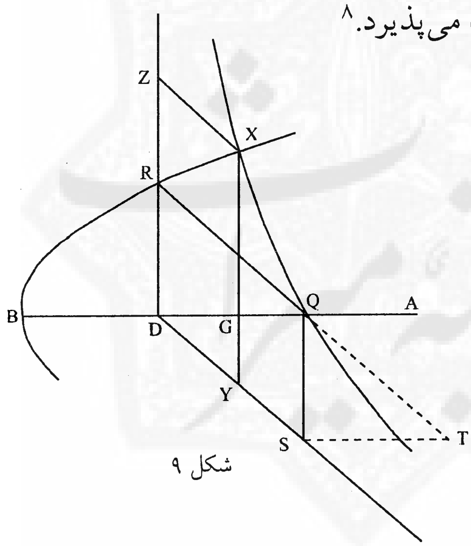
$$\left.\begin{array}{l} AD.GD = DB^2 \\ XY = AD \end{array}\right\} \Rightarrow XY.GD \Rightarrow QS = Q.D$$

$$DB = QD = QS$$

$$\frac{GD}{XZ} = \frac{QD}{QR} \Rightarrow XY.XZ = QS.QR$$

بنابراین X روی یک هذلولی است با مجانبهای DS,DR که از Q می‌گذرد.

با فرض این که B,D معلوم است، R,Q,S معلوم خواهد بود و بنابراین سهمی هذلولی و در نتیجه X و نیز عمود XG معلوم است. پس G و A مشخص می‌شود. (زیرا AG = XG). تحلیل پایان می‌پذیرد.[۸]



شکل ۹

۴ـ۳ سه روش دیگر ابن هیثم (IH3,IH4,IH5)

ساخت IH3,IH4,IH5 و IH2 «رساله» ابن هیثم را تشکیل می‌دهد. او توضیح می‌دهد که چگونگی ساخت هفت ضلعی منتظم می‌تواند به ساخت یکی از ۴ مثلث زیر مرتبط باشد: (برای $\alpha = 180/7$)

---

۸. اگر DQ، محور Xها و DR محورها باشد و $c = |DB|$ آنگاه سهمی $y^2 = c(x+c)$ و هذلولی $x(y+x)=c^2, x>0$ خواهد بود.

۱ ـ با زوایای $3\alpha,3\alpha,\alpha$
۳ ـ با زوایای $\alpha,5\alpha,\alpha$

۲ ـ با زوایای $2\alpha,3\alpha,2\alpha$
۴ ـ با زوایای $4\alpha,2\alpha,\alpha$

وی بدرستی بیان می‌کند که تنها مثلثهای ممکن با زاویهٔ α این ۴ نوعند و سپس ساخت آنها را با ساخت پاره‌خطهای زیر مرتبط می‌سازد:

۱ ـ AEDC چنان که $EC^2 = AC.DC = AD.ED$ (IH3)

۲ ـ CDBE چنان که $CB.DB = CD.CE = BE^2$ (IH4)

۳ ـ CDEB چنان که $CB.CD = EB^2, DB.DE = CD^2$ (IH5)

۴ ـ AGDB چنان که $AD.GD = DB^2, GB.DB = AG^2$ (IH2)

در تحلیل IH3، ابن هیثم نقاط C,E را معلوم فرض کرده، عمود $DK = AC$ را رسم می‌کند. ثابت می‌شود K نقطهٔ تقاطع دو هذلولی است با مجانبهای معلوم که هر کدام از آنها از نقطه‌ای معلوم می‌گذرند.

در تحلیل IH4 او B,E را معلوم فرض کرده، عمود $DG = BC$ را رسم می‌کند. ثابت می‌شود G نقطهٔ تقاطع دو هذلولی است با مجانبهای معلوم که هرکدام از آنها از نقطه‌ای معلوم می‌گذرند.

در تحلیل IH5، وی C,D را معلوم فرض کرده، عمود $BH = CE$ را رسم می‌کند معلوم می‌شود H نقطهٔ تقاطع یک سهمی و یک هذلولی است با مجانبهای معلوم که هرکدام از آنها از نقطه‌ای معلوم می‌گذرد.

سه روش فوق مشابه دو روشی که در ۴ ـ ۱ و ۴ ـ ۲ شرح داده شده قابل تحلیل است. از این رو به شرح آن نمی‌پردازیم.

نتیجه:

چنان که دیدیم مشکل اساسی در روش ارشمیدس چگونگی تقسیم پاره‌خط با شرایط بیان شده است.

ابن هیثم با پی بردن به این مشکل درصدد حل آن برآمد. بدین منظور او همچون

بیشتر ریاضیدانان اسلامی، نظیر ابن جود، کوهی و...، از خواص مقاطع مخروطی بهره جست.

روش نخست او، که با استفاده از تنها یک نقطهٔ معلوم، متمایز از سایر روشهاست چنان که دیدیم با مفروض دانستن پاره‌خط s و تقاطع دو سهمی چگونگی تقسیم پاره‌خط مفروض را نشان می‌دهد.

او در روشهای دیگر، از تقاطع یک سهمی و یک هذلولی و معلوم بودن دو نقطه و یا تقاطع دو هذلولی پاره‌خط مذکور را تقسیم می‌کند.

هوخندایک که در مقالهٔ خود «ساخت‌های عربی و یونانی هفت‌ضلعی منتظم» روشهای گوناگون ترسیم هفت‌ضلعی منتظم را بررسی کرده است، روش نخست ابن هیثم را تحلیل و تفسیر کرده و از آن در برابر نقد رشدی‌راشد، که این روش ابن هیثم را نوعی مصادره به مطلوب می‌داند، دفاع می‌کند.

در این روشها حتی با استفاده از مقاطع مخروطی، حداقل به دو نقطهٔ معلوم و یا یک نقطه و پاره‌خط معلوم نیاز است. بنابراین ساخت هفت ضلعی منتظم، با خط کش غیر مدرج و پرگار، با تنها یک نقطهٔ معلوم میسر نخواهد بود و تنها مقاطع مخروطی است که چنین امکانی را فراهم می‌سازد.

ضمیمهٔ ۱:

ـ راه حل جبری برای حل مسائل هندسی:

در این قسمت راه حل جبری ۳ مسألهٔ اساسی راکه ریاضیدانان در طول ۲۰۰۰ سال به دنبال حل آنها بوده‌اند بررسی می‌کنیم. این ۳ مسأله عبارتند از:

۱ ـ دو برابرکردن مکعب، رسم یک مکعب که حجمش ۲ برابر مکعب داده شده باشد.

۲ ـ تثلیث زاویه، تقسیم یک زاویهٔ داده شده به ۳ قسمت مساوی.

۳ ـ رسم هفت ضلعی منتظم محاط در دایره.

این مسائل در طول ۲۰۰۰ سال بارها مورد بررسی قرارگرفت و باگذشت زمان و افزایش تعداد کسانی که در این زمینه ناموفق بودند به مسائلی حل ناشدنی تبدیل می‌شد که در قرن ۱۹ توسط گاوس روشی جبری برای حل آنها ارائه شد. محدودیت استفاده از پرگار و خط کش غیر مدرج مشکل اصلی این مسائل بود.

اثبات این مسائل متکی بر معادلات جبری و بخصوص معادلات درجهٔ ۳ است. برای بررسی چگونگی حل جبری آنها، ابتدا خاصیت معادلات درجهٔ ۳ را بیان می‌کنیم.

ـ خاصیت معادلات درجهٔ ۳:

وانتزل و گاوس برای حل مسائل مذکور از این خاصیت بهره جستند.

لم:

فرض کنید $P(X)$ معادلهٔ درجهٔ ۳ با ضرایب صحیح باشد.

$$P(X) = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 = 0$$

آنگاه $P(x)=0$ یا یک ریشهٔ حقیقی دارد یا هیچ‌کدام از ریشه‌هایش قابل ساخت نیست.

این لم با استفاده از توسیع Q اثبات می‌شود.

برای نمونه می‌توان معادلهٔ درجهٔ ۳ ساده زیر را در نظر گرفت:

$$x^3 - 1 = 0$$

$$\Rightarrow (x-1)(x^2 + x + 1) = 0 \Rightarrow x = 1, x^2 + x + 1 = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{-1 \pm \sqrt{(-1)3}}{2} = \left(\frac{-1 \pm i\sqrt{3}}{2}\right), i = \sqrt{-1}$$

به وضوح درمی‌یابیم که i عدد حقیقی نیست. به i عدد موهمی گوییم. پس ریشه‌های $x^3-1=0$ برابر است با $1, -\frac{1}{2} + i\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right), -\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}$ که جز ۱ دو ریشهٔ دیگر جبری نیستند.

ـ دوبرابر کردن مکعب:

مکعبی با ضلع ۱ را که حجم آن ۱ است در نظر می‌گیریم. هدف، رسم مکعبی با حجم ۲ است. سالها به دنبال ساخت چنین مکعبی بوده‌اند تا ثابت شد که چنین کاری امکان‌پذیر نیست.

از نظر جبری، مسأله، پیدا کردن ریشه‌ای گویا برای معادلهٔ $x^3 = 2$ است.

برای نشان دادن غیر ممکن بودن وجود چنین ریشه‌ای از لم قبل استفاده می‌کنیم.

کافی است نشان دهیم که معادلهٔ $x^3 = 2$ ریشهٔ گویا ندارد.

فرض کنیم چنین ریشه‌ای موجود باشد. قرار می‌دهیم $x = \frac{p}{q}$ آنگاه خواهیم داشت:

$\frac{p^3}{q^3} = 2$ یا $p^3 = 2q^3$ جایی که $(p,q)=1$ یعنی p و q نسبت به هم اولند. این تساوی امکان‌پذیر نیست زیرا $p^3 = 2q^3$ بیانگر این مطلب است که p بر q قابل قسمت است که خلاف فرض $(p,q)=1$ است به عبارت دیگر طرف چپ معادله حاصل ضرب k عدد اول است که k بر ۳ قابل قسمت است در حالیکه طرف دوم حاصل ضرب $k+1$ عدد اول غیر قابل قسمت بر ۳ است که این امکان‌پذیر نیست.

تناقض، حاصل شده در نتیجه معادلهٔ $x^3 = 2$ هیچ ریشهٔ گویای ندارد. پس چنین مکعبی قابل ترسیم نیست.

ـ تثلیث زاویه:

هدف ثابت کردن این مسأله است که هیچ زاویه‌ای را نمی‌توان تنها توسط خط‌کش و پرگار به ۳ قسمت مساوی تقسیم کرد.

بدون کاسته شدن از کلیت مسأله، ثابت می‌کنیم زاویهٔ ۶۰ درجه قابل تثلیث نیست. در حالت کلی نیز با محاسباتی پیچیده‌تر این مسأله اثبات می‌شود.

لم: رسم یک زاویهٔ حاده هم ارز است با رسم یک مثلث قائم‌الزاویه با زاویهٔ حادهٔ

داده شده. با استفاده از فرمولهای مثلثاتی داریم:

$$Cos3a=CosaCos2a-SinaSin2a=4Cos^3a-3Cosa$$

برای $a=20$ داریم: $Cos3a = Cos\ 60° = \frac{1}{2}$ و معادله به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$8Cos^3a-6Cosa-1=0$$

با جایگزینی x به جای $Cosa$ خواهیم داشت:

$$8x^3-6x-1=0$$

قرار می‌دهیم $y=2x$ خواهیم داشت:

$$y^3-3y-1=0$$

کافی است نشان دهیم که این معادله ریشهٔ گویا ندارد. به عبارت دیگر کلیهٔ ریشه‌های آن غیر جبری است. فرض کنیم چنین ریشه‌ای موجود باشد، $y=\frac{p}{q}$ آنگاه خواهیم داشت:

$p^3-3p\ q^2-q^3 = 0 \Rightarrow p(p^2-3q^2)-q^3 = 0 \Rightarrow (p / q^3)$ قابل قسمت است p بر q^3
به عبارت دیگر p، q^3 را عاد می‌کند.

اگر p، ۱ یا ۱- نباشد، p را می‌توان بصورت حاصلضرب اعداد اول نوشت که هر کدام بر q قابل قسمتند، در نتیجه p باید ۱ یا ۱- باشد زیرا q و p نسبت به هم اولند.

از طرف دیگر معادلهٔ فوق را می‌توان به صورت $q(3pq+q^2)=p^3$ نوشت که با استدلال مشابه داریم ۱- یا ۱+ $=q$. در نتیجه تنها ریشه‌های گویای ممکن برای معادله ۱ یا ۱- است.

با قرار دادن این مقادیر در معادله خواهیم داشت:

$p=1,\ p=1:\ 1-3-1=-3$	$p=-1,\ q=-1:\ -1+3-1=1$
$p=-1,\ q=1:\ -1+3-3=-1$	$p=1,\ q=-1:\ 1+3-1=3$

که هیچ یک معادله را ارضا نمی‌کنند پس این معادله هیچ ریشهٔ گویایی ندارد پس قابل ساخت نیست.

ـ ساخت هفت ضلعی منتظم:

ساده‌ترین راه برای اثبات ناتوانی در ساخت هفت ضلعی منتظم محاط در دایره توسط خط کش و پرگار، استفاده از اعداد مختلط است.

رؤوس هفت ضلعی منتظم، محیط دایرهٔ واحد را به هفت قسمت مساوی تقسیم می‌کند. این خصوصیت با معادلهٔ تقسیم دایره بیان می‌شود که رئوس هفت ضلعی ریشه‌های معادلهٔ ۱= Z^7 می‌باشند. این معادله به وضوح با ۱= Z ارضا می‌شود. پس داریم.

$$\frac{z^7-1}{z-1}=z^6+z^5+z^4+z^3+z^2+z+1 (I)$$

که $z=x+iy=\cos\theta+i\sin\theta$ و نیز داریم: $z^n=\cos n\theta+i\sin n\theta$ پس به‌ازای $\theta=360° / 7$ داریم: $Z = \cos(\frac{360}{7}) + i\sin(\frac{360}{7})$. نشان می‌دهیم که زاویهٔ $\frac{360°}{7}$ قابل رسم نیست.

در معادلهٔ (۱) به‌جای $z+\frac{1}{z}$، x قرار می‌دهیم و آن را به معادلهٔ درجهٔ ۳ زیر تبدیل می‌کنیم:[۹]

$$x^3 + x^2 -2x-1=0 (II)$$

همچون مسائل گذشته فرض می‌کنیم معادلهٔ (II) یک ریشهٔ گویا داشته باشد. $x = \frac{p}{q}$ آنگاه از یک طرف $p(p^2+pq-2q^2)=q^3$ و از طرف دیگر $q(q^2-p^2+2pq)p = q^3$ و در نتیجه $q = \pm 1$ و $p = \pm 1$ و طبق مسأله قبل این غیر ممکن است پس معادلهٔ (II) هیچ ریشهٔ گویایی ندارد و در نتیجه معادلهٔ (I) هیچ ریشهٔ گویایی نداشته، قابل رسم نیست.

۹. چگونگی بدست آوردن معادلهٔ مذکور:

$$(z^6 + z^5 + z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) / z^3 = 0$$

$$(z + \frac{1}{z})^3 - 3(z + \frac{1}{z}) + (z + \frac{1}{z})^2 + (z + \frac{1}{z}) -1 = 0$$

ضمیمه ۲:

چند ضلعیهای منتظم قابل محاط شدن در دایره

گاوس از طریق معادلات ثابت کرد که تنها، n ضلعیهای خاصی بوسیلهٔ خط کش و پرگار قابل محاط شدن است و خود، ۱۷ ضلعی را رسم کرد.

n ضلعیهایی قابل محاط شدن هستند که:

۱ ـ اگر n عددی اول باشد، عدد اول فرما باشد. این اعداد عبارتند از:

۶۵۵۳۷، ۲۵۷، ۱۷، ۵، ۳ و همانطور که در تعریف آمده عددی اول بزرگتر از آن یافت نشده.

۲ ـ اگر n فرد و غیر اول باشد باید داشته باشیم: $n = F_0 \dots F_k$ یعنی باید بتوان n را به صورت حاصلضرب اعداد اول فرما نوشت. بعنوان ۵×۳=۱۵، ۱۷×۳=۵۱.

۳ ـ اگر n زوج باشد، باید داشته باشیم: $n = 2^u F_0 \dots F_k$ که از طریق دوبرابر کردن متوالی هر یک از اعداد مذکور در شماره‌های فوق حاصل می‌شود.

(۱،۲) و ۴ و ۸ و ۱۶ و ۳۲ و ۶۴ و ....

۳ و ۶ و ۱۲ و ۲۴ و ۴۸ و ...

۵ و ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ و ۸۰ و ...

۱۵ و ۳۰ و ۶۰ و ۱۲۰ و ...

۱۷ و ۳۴ و ۶۸ و ...

۵۱ و ...

۸۵ و ...

با استفاده از مثلث خیام می‌توان اعداد فرد قابل رسم فوق را در مبنای ۲ نمایش داد.

در سطرهای نخستین می‌توان اعداد زیر را مشاهده کرد:

۱، ۳، ۵، ۱۷، ۵۱، ۸۵، ۲۵۵، ۲۵۷، ...

n	α	β	$\frac{a}{R}$	طریق محاسبهٔ $\frac{a}{R}$
۳	۱۲۰	۶۰	۱/۷۳۲۰۵۰۸	$\sqrt{3}$
۴	۹۰	۹۰	۱/۴۱۴۲۱۳۶	$\sqrt{2}$
۵	۷۲	۱۰۸	۱/۱۷۵۵۷۰۵	$(\sqrt{5}-\sqrt{5})\vert 2$
۶	۶۰	۱۲۰	۱	1
۸	۴۵	۱۳۵	۰/۷۶۵۳۶۶۹	$(\sqrt{2}-\sqrt{2}$
۱۰	۳۶	۱۴۴	۰/۶۱۸۰۳۴۰	$(\sqrt{5}-1)\vert 2$
۱۲	۳۰	۱۵۰	۰/۵۱۷۶۳۸۱	$(\sqrt{3}-1)\vert 2$
۱۵	۲۴	۱۵۶	۰/۴۱۵۸۲۳۴	$(\sqrt{3}\ \sqrt{1}-\sqrt{5}+\sqrt{2}\ \sqrt{5}+\sqrt{5})\vert 4$
۲۰	۱۸	۱۶۲	۰/۳۱۲۸۶۸۹	$[\sqrt{2}\ (1+\sqrt{5}-2\ \sqrt{5}-\sqrt{5})]\vert 4$
۲۴	۱۵	۱۶۵	۰/۲۶۱۰۵۲۴	$\sqrt{(4-\sqrt{2}-\sqrt{6})}\vert 2$
۳۰	۱۲	۱۶۸	۰/۲۰۹۰۵۶۹	
۴۰	۹	۱۷۱	۰/۱۵۶۹۱۸۲	
۶۰	۶	۱۷۴	۰/۱۰۴۶۷۱۹	
۱۲۰	۳	۱۷۷	۰/۰۵۲۳۵۳۹	

منابع و مآخذ

1. Aaboe, Asger "Archimedes Construction of the Regular Heptagon" *in Episodes from the early* history of mathematics (1964).

2. Hogendijk, J.P. *Ibn al Haitham's Completion of the conics* ,sources in the history of mathematics and Physical sciences, springer-verlag.

3. Hogendijk, J.P. "Greek and Arabic constructions of the regular heptagon", *Archieve of exact sciencs* 30(1984), pp. 197-330.

4. ibn al-Haitham, Al-Hasan, "chapter on the Lemma for the side of the heptagon", *GAS V,367,14*

5. ibn al-Haitham, Al-Hasan, "chapter on the Lemma for the side of the heptagon in the Circle", *GAS V, 367, 13.*

6. Rashed, R, "La construction de lheptagon regular par Ibn-al-Haitham", *Journal for history of Arabic Science 3/1979/309-387*

نور ماه از نظر ابن هیثم*

عبدالرسول عمادی
کارشناس ارشد فلسفه علم و رئیس سازمان آموزش و پرورش استان بوشهر

مقدمه

در نزد دانشمندان یونانی و همه آنهایی که پیش از ابن هیثم درباره نور بحث کرده‌اند، نور دارای هویّتی مستقل، و به عنوان یکی از لوازم عمل رؤیت تلقّی می‌شده است؛ و جدا از عمل دیدن که فعّالیّتی فیزیولوژیکی است، نور فاقد هویّت مستقلّ تلقّی می‌شده است. نور، به دلیل آمیختگی با رنگ و این که پس از برخورد به یک جسم رنگ آن را آشکار می‌کرده است ناشناخته بوده است، این دو وضعیت کاملاً متفاوت سبب سردرگمی در شناخت نور می‌شده است و به همین دلیل دیدگاه‌های متفاوت و گاه متعارض در نورشناسی یک دانشمند به دفعات وجود دارد. اگر چه در مواردی از پرتوهای خورشید یا پرتوهای بصری سخن به میان آمده است، و حرکت مستقیم نور و قوانین بازتابش را می‌دانسته‌اند، اما همزمان هم از پرتوهای نورانی و هم از پرتوهای بصری سخن به میان آمده است، و این نشان می‌دهد که ماهیت نور کاملاً ناشناخته بوده است، و در هیچ یک از موارد، به استقلال نور به عنوان پدیده‌ای فیزیکی حکم نکرده‌اند.

در نظر فلاسفه قدیم، رنگ متعلّق حس بینایی بوده، و چشم تنها عمل تشخیص

---

*. لازم می‌دانم از الطاف استاد عزیزم جناب آقای دکتر جعفر آقایانی چاوشی که از هیچ کوششی در راهنمایی این رساله دریغ نورزیدند، و در همه ایّام به پشتگرمی حضور ایشان، کوشیدم، سپاس‌گزاری کنم.

رنگ را عهده‌دار بوده است. در نظر ابن هیثم متعلّق بینایی نور و رنگ است؛ که در خلال رساله نور ماه نیز بدان پرداخته شده است. مطلب مهم دیگر این رساله، آن است که تغییر نسبی وضعیّت ماه و خورشید و زمین، به تنهایی، نشان نمی‌دهد، که نور ماه از خورشید است، بلکه، لازم است، ماه گرفتگی نیز مورد ملاحظه قرار گیرد. ابن هیثم در این رساله تأکید دارد، که ماه تنها انعکاس دهنده نور خورشید نیست، بلکه به عنوان منبع ثانوی نور هنگام تابش نور خورشید به آن؛ از خود نورانی می‌شود.

او با استدلال‌های هندسی، بر آن است که، ماه سطحی ناصاف دارد، زیرا اگر سطح ماه صیقلی بود، آنگاه این سطح به صورت نقطه‌ای نورانی دیده می‌شد، و حتی در صورتی که این نور پس از چندین شکست هم به ناظر زمینی می‌رسید، باید ماه را بسیار کوچکتر از اندازه فعلی آن نشان می‌داد.

ابن هیثم صیقلی نبودن سطح ماه را، با استدلال اثبات کرده است، در حالی که قرن‌ها پس از او، و پس از تکامل ابزارهای نجومی این امر رصد، و درستی آن مشاهده گردیده است. اثبات کروی بودن ماه نیز از مباحث دیگری است که در این رساله بدان پرداخته شده است. او درباره تابش نور از ماه به زمین در حالتهای مختلف، که نور به گونه‌های متفاوت شکست می‌یابد، استدلال هندسی ارائه می‌کند، و در آخر به مبحث رنگ ماه می‌پردازد. نظر به ارتباط بسیار نزدیک مباحث فلسفی حوزه‌های علوم با عرصه‌های مختلف تاریخ علم و آمیختگی این دو حوزه تحقیق و ضرورت شناخت گذشته علمی و بویژه دوران درخشان تمدن اسلامی و ستارگان درخشان این عرصه که مسیر دانش و تحقیق امروز از شاهراه بزرگ اندیشه‌های آنها می‌گذرد؛ و فکر منیع آنها الهام‌بخش رهبران انقلاب‌های علمی جهان بوده است؛ این رساله به عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد انتخاب گردید.

بخش اول

نظریات فلاسفه یونان باستان و برخی فلاسفه مسلمان درباره نور و نور ماه

درباره نور

دانشمندان یونانی معتقد بودن که علم نورشناسی یکی از فروع ریاضیات است (مقام این علم درکنار نجوم و مکانیک و موسیقی به‌شمار می‌رفت) و ارسطو آن را صرفاً موضوعی ریاضی به‌شمار می‌آورد که نزدیکی آن به ریاضیّات بسیار بیشتر از نزدیکی آن به علوم طبیعی است. در حالی که ابن هیثم، آن را ترکیبی از علوم ریاضی به شمار می‌آورد، و می‌توان گفت، همین ابتکار ترکیب است، که شیوه جدیدی در بحث و رسیدن به نتایج ایجاد کرده است.[۱]

تحقیقات نور شناختی در یونان باستان اغلب به پنج فصل که گاهی بر هم منطبق و گاهی با هم متضاد هستند، تقسیم می‌گردد:

الف) نورشناسی به معنی خاص یعنی مطالعه هندسی ادراک فضا و تصورات منظری.

ب) مبحث بازتاب نور یعنی مطالعه هندسی بازتاب پرتوهای نظری در آینه‌ها.

پ) آینه‌های سوزان: مطالعه بازتاب همگرای پرتوهای خورشیدی در آینه‌ها.

ت) پدیده‌های جوی مانند هاله و رنگین کمان.

ث) مطالعه دید بوسیله فلاسفه و پزشکان.

تلفیق دو نظریه انتشار نور و دیدن، به تصوّر پرتوهای بصری انجامیده است. این پرتوها یک دسته واگرای نوراند، که از چشم صادر می‌شوند. یعنی مخروطی که رأس آن در چشم است، و یالهای آن پرتوهای بصری‌اند، که به خط مستقیم پخش می‌شوند، و به اشیایی که در سر راه آنها قرار می‌گیرند، برخورد می‌کنند.

---

۱. صبره، عبدالحمید، مقدمه بر کتاب المناظر، تصحیح صبره قاهره ص ۸.

اصول موضوعه نورشناسی اقلیدس

ـ خطوط راستی که از چشم ساطع می‌شوند بر روی اجسام بزرگ مختلفی پخش می‌شوند.

ـ اجسامی که پرتوهای بصری بر آنها می‌افتد، دیده می‌شود، و آنها که این پرتوها بر آنها نمی‌افتد، دیده نمی‌شود.

ـ اجسامی که با زوایای بزرگتری دیده می‌شود، بزرگتر و آنها که با زوایای کوچکتری دیده می‌شود کوچکتر است، و آنها که با زوایای مساوی دیده می‌شوند، با هم برابرند.

ـ آنها که با پرتوهای بالاتری دیده می‌شوند، بالاتر، و آنها که با پرتوهای فروتری دیده می‌شوند پایین‌تر به نظر می‌آیند.

ـ اجسامی که با پرتوهای راست‌تری دیده می‌شوند، راست‌تر و آنها که با پرتوهای چپ‌تری دیده می‌شوند، چپ‌تر هستند.

ـ اجسامی که با زوایای متعدّد دیده می‌شوند متمایز به نظر می‌آیند[۲].

نور در اندیشه ارسطو:

آنچه در اندیشه یونان باستان یافت می‌شود، بیش از آن‌که بحث نور باشد، توجه به آتش است. و به نظر می‌رسد که آنها از آتش هم نور و هم گرما را مراد می‌کرده‌اند؛ و لذا جایی برای بحث نور به عنوان یک پدیده فیزیکی قائل نبوده‌اند. اگرچه آنها به صراحت سخنی در باب ماهیت نور ندارند، درباره روشنایی ماه و ستارگان نظراتی ابراز داشته‌اند. سبب توجه آنها به نور، عمل دیدن بوده است و نور به عنوان واسطه‌ای که خود فاقد ماهیّت فیزیکی بوده و تنها تسهیل کننده عمل دیدن است، مورد بحث واقع شده است.

---

۲. اقلیدس، اصول هندسه، نقل از مقاله «از هندسه دید تا ریاضیات پدیده‌های نوری» نوشتهٔ دکتر رشدی راشد ترجمه محمد هادی شفیعیها، میراث جاویدان، سال چهارم شماره ۳ و ۴ ص ۲.

اقتضای این سخن آن است، که آنها برای نور هویتی ریاضی و هندسی فرض کرده‌اند، تا با اعمال قواعد هندسه به تبیین پدیده دیدن بپردازند.

در عین حال، ارسطو در «کتاب النفس»، درباره نور نظراتی دارد که جالب توجّه است. او برای نور هویتی جدا از رنگ قائل نبوده است، و معتقد است که آنچه مرئی است، تنها رنگ است، و نور، به منزله رنگی برای شیء شفّاف است، و فعلیّت شیء شفّاف است، از آن جهت که شفّاف است. او می‌گوید: شیء شفّاف، فی‌نفسه، نامرئی است. شفّاف بالفعل، نور است، که فی‌نفسه رنگی ندارد؛ بلکه رنگ خود را از اشیایی که آنها را روشن می‌سازد، به دست می‌آورد[۳]. نکته مهمی که در اندیشه ارسطو قابل توجه است، این است که او مرئی بودن جسم را به کمک رنگ می‌داند؛ و هوا و آب و بسیاری از اجسام جامد را این‌چنین تصور می‌کند. او هوا یا آب را از آن حیث، که هوا یا آب هستند، شفّاف نمی‌داند، بلکه معتقد است این عناصر دارای هویّتی هستند، که متعلّق به جسم ازلی واقع در منطقه فوقانی جهان است، که همان شفّافیت عالم افلاک است. خلاصه کلام ارسطو این است که نور نه از آتش است، و نه جسم است، و نه چیزی است، که از جسمی صدور یافته باشد بلکه نور تنها حضور آتش یا چیزی از این قبیل، در جسم شفّاف است. زیرا ممکن نیست که هم نور از جسم باشد، و هم خود جسم، جسم باشد؛ هردو در یک مکان قرار داشته باشد. و چون نور در جسم شفّاف حضور دارد لذا خود نمی‌تواند جسم باشد[۴].

ارسطو با نظر امپدوکلس، مبنی بر این که نور در لحظه معینی در بین زمین، و آنچه بر آن محیط است، منتقل می‌شود؛ مخالفت می‌کند، و می‌گوید این که نور در بین شرق و غرب بدون این که مشاهده شود انتقال یابد خلاف بدیهیات عقلی است[۵].

۳. ارسطو، درباره نفس، ترجمه علی‌محمد داوودی، انتشارات حکمت، تهران، ۱۳۶۶ ص ۱۱۸.

۴. همان ص ۱۲۴.

۵. همان ص ۱۲۵.

نظریات مختلف در مورد عمل دیدن

در تمام مباحثی که درباره عمل دیدن انجام شده است، در عمل دیدن سه عامل را دخیل می‌دانسته‌اند، یکی چشم، دیگری هوایی که بین چشم و جسم، واسطه است، و سوم جسم قابل رویت. در این میان سه تلقّی نیز درباره عمل دیدن وجود دارد:

صدور نور از جسم

معتقدان به صدور نور از جسم (intromission) معتقد بودند که نور کیفیت یا حالتی است، که به طور آنی از جسم به محیط حائل میان جسم و چشم می‌رسد، و از آن طریق به چشم انتقال می‌یابد.

آن گونه که ملاحظه می‌شود، از نظر آنها، نور نه یک پدیده فیزیکی، بلکه تنها حالت یا کیفیّتی تلقّی می‌شده است. و لذا سخن گفتن از ماهیّت این حالت یا کیفیّت در میان نبوده است. اگر چه، در این طرز تلقّی، بیشتر به موضوع انتشار نور پرداخته شده است، و نور بیشتر دارای صبغه فیزیکی تصور می‌شده است، تا جنبه فیزیولوژیکی، اما همچنان مسأله‌ای مبهم و واسطه‌ای بوده است. از صاحبان بنام این تلقّی ارسطو است. ارسطو واسطه‌ای را برای عمل دیدن لازم می‌داند، و بر این اساس، برای انتقال تصویر به چشم، رنگ؛ شیء شفّافی مانند هوا را درمی‌آورد، و هوا که شیء متصلّی است، آلت حسّی را تحریک می‌کند. او رنگ را در نور مرئی می‌داند، امّا آتش را هم در نور و هم در ظلمت مرئی می‌داند. از این رو می‌توان به تفاوت ماهیّت فیزیکی آتش با ماهیّت هندسی و واسطه‌ای نور در اندیشه او پی برد[۶].

۶. ارسطو، درباره نفس، ترجمه علی‌محمد داوودی، انتشارات حکمت، تهران، ۱۳۶۶ص ۱۳۸.

۲ ـ صدور نور از چشم یا پرتوهای بصری

این اندیشه کسانی است، که بیشتر به مسئله دیدن توجه داشته‌اند، و به (پرتوهای بصری) و صدور آنها از چشم (emmision) اعتقاد داشته‌اند، از صاحبان بنام این دیدگاه اقلیدس و بطلمیوس‌اند، این نظر مورد نقد مشّاییان بوده است. چنانکه صبره در نورشناسی خود از دانشنامه علایی شیخ‌الرئیس، برخی از این ایرادات را نقل کرده است. ابن هیثم نیز همین اشکالات را به این نظریّه وارد آورده است[۷]، اگر چه، خود در مقاله نور ماه، هرجا از پرتوهای نورانی سخن گفته است، از پرتوهای بصری و صدور آنها نیز سخن به میان آورده است.

پایه نظریه اقلیدس بر «پرتوهای بصری» است، یعنی خطوطی هندسی که از چشم خارج می‌شود، و به جسم می‌رسد، و تنها جنبه فیزیکی این نظریه آن است که سر این خطوط را حسّاس می‌داند و عمل ادراک را به همین سرها نسبت می‌دهد[۸] بر این اساس چشم منبع نور تلقی می‌شود، و پرتوهای بصری مربوط به فانوس دیدگان است[۹].

اقلیدس در المناظر خود آورده است، که هر پرتو بصری هنگامی که به جسمی می‌رسد، قسمتی از سطح آن را جارو می‌کند، و به همین دلیل است که همه جسم روشن دیده می‌شود. یکی از نقائص نظریّه اقلیدس، اکتفاکردن به جنبه‌های هندسی پرتوهای بصری است. زیرا پدیده‌های دیگری را که نور و رنگ هستند، در اطلاعاتی که پرتوهای بصری ضبط می‌کنند دخیل نمی‌داند[۱۰]. به عبارت دیگر در این نظریّه هیچگونه هویّت فیزیکی برای نور وجود ندارد. در مقابل بطلمیوس کوشش کرده است تا بین نظریه پرتوهای بصری و پرتوهای نورانی هماهنگی به وجود آورد،

۷. معصومی همدانی، حسین، «حرف تازه ابن هیثم»، نشر دانش، تهران، شماره ۲۱ ص ۴۷.

۸. همان ص ۵۱.

۹. کم سو شدن چشم، یا ملازمت چشم و چراغ در عرصه ادبیات کهن ما شاید نشان از تصور کلی پرتوهای بصری است.

۱۰. معصومی همدانی، حسین، «حرف تازه ابن هیثم» نشر دانش، شماره، ۲۱ ص ۵۱.

و در این راه کوشیده است تا ویژگی‌های پرتوهای نورانی یعنی بازتابش و شکست را به پرتوهای بصری نیز تسرّی دهد[۱۱]. اگر چه تصور پرتوهای نورانی یا پرتوهای بصری تفاوتی در انجام محاسبات نجومی بطلمیوس ندارد.

۳ ـ نظریه ترکیبی

نظریه سومی که در اندیشه برخی فلاسفه یونان باستان ردیابی می‌شود، تلفیقی از دو نظریه یاد شده است. تئوفراتوس از دموکریتوس نقل می‌کند: «دموکریتوس بینایی را نتیجه بازتاب می‌داند، اما در این باره نظریه ویژه‌ای دارد به این معنی که بازتاب نتیجه انقباض هوای بین جسم و چشم است که از بیننده و جسم دیده شده نقش می‌پذیرد، و این هوای فشرده شده در چشم که نمناک است، تصویری می‌اندازد»[۱۲].

از این بیان بر می‌آید که در دید بسیاری از این فلاسفه نور به عنوان پدیده‌ای مجزا و صاحب هویّت به شمار نیامده است. از این بیان دموکریتوس معلوم می‌شود که اگر چه هویّت نور بیشتر هندسی و نقش آن نقش واسطه بوده است، اما حرکت مستقیم نور و قوانین بازتابش را می‌شناخته‌اند[۱۳].

درباره نور ماه

از مباحثات مطرح در اندیشه فلاسفه یونان موضوع نجوم است. بیشتر دیدگاههای نور شناختی آنها در قالب تصوراتشان از اجرام علوی مانند ماه؛ خورشید و ستارگان دیگر، شکل گرفته است. اگر چه بسیاری از این دیدگاهها فاقد مبانی علمی خاصّی هستند؛ اما همین تصورات می‌توانند نشانگر سیر شکل‌گیری اندیشه‌های بشری باشند.

---

۱۱. همان ص ۵۲.

۱۲. همان ص ۵۲.

۱۳. ارسطو، درباره نفس، ص ۱۳۰.

نظر آناکسیماندروس

اولین نظرات در مورد نور ماه را می‌توان در اندیشه آناکسیماندروس (متولد ۶۱۰ قبل از میلاد) یافت. او اعتقاد داشته است که ستارگان حلقه‌های آتشینی هستند، که از آتش جهانی جدا شده؛ و با هوا احاطه شده‌اند. منفذهای تنفسی و رهگذرهای لوله‌مانندی وجود دارد، که ستارگان خود را از طریق آنها نشان می‌دهند. در نتیجه وقتی این منافذ تنفّسی بسته می‌شوند؛ خسوف و کسوف روی می‌دهد. ماه در بزرگ شدن و در نقصان یافتن مطابق با باز یا بسته شدن این منافذ تنفّسی به چشم می‌آید. خسوف به این دلیل رخ می‌دهد که دهانه این منافذ تنفسی بسته می‌شود. به نظر می‌رسد در دیدگاه آناکسیماندروس ماه نیزگوی آتشینی مانند ستارگان بوده است[۱۴].

نظر گزنوفانس

گزنوفانس (متولد ۵۷۰ پیش از میلاد) معتقد بوده است، که ماه توده ابری متراکم شده است؛ و ناپدید شدن ماهیانه آن، به دلیل خاموشی آن است. او همین اعتقاد را درباره خورشید نیز داشته است. او همچنین اعتقاد داشته است که مطابق با اقلیمها و نواحی مختلف زمین، ماهها و ستاره‌های گوناگونی وجود دارد.[۱۵] فیثاغوریان معتقد بوده‌اند که ماه از خاک است، زیرا به مانند زمین گرداگرد آن مسکون است.

نظر پارمنیدس

پارمنیدس (متولد ۵۱۰ پیش از اسلام)، بسیاری از اندیشه‌های خود را در قالب شعر بیان کرده است. در یکی از این اشعار می‌گوید:

روشنگر شب (ماه) سرگردان به دور زمین است با نوری نه از خود

و در دیگری:

---

۱۴. خراسانی، شرف‌الدین، نخستین فلاسفه یونان، تهران، ۱۳۵۷ ص ۱۳۳.

۱۵. همان ص ۱۳۸.

ماه پیوسته به اشعه خورشید چشم دوخته است[۱۶].

یونانیان بیشتر تصوری شاعرانه از ماه و خورشید ارائه می‌کرده‌اند؛ و پرتوهای خورشید را دوشیزگان آن می‌دانسته‌اند. به عنوان مثال پینداروس شاعر بزرگ یونانی پرتوها را دختران هلیوس یا خورشید می‌نامد[۱۷].

نظر آمپدوکلس

امپدوکلس (متولد ۴۹۲ پیش از میلاد) معتقد است که ماه پرتوهای خورشید را هر گاه که از زیر آن می‌گذرند، و نیز آن اندازه از زمین را که به اندازه پهنای ماه درخشان است، در سایه می‌گیرد. او در جای دیگر می‌گوید: «چون پرتوهای خورشید به دایره فراخ و نیرومند ماه برخورد کرد...» و یا: «زیرا آن (ماه) روبروی دایره مقدّس سالار خود خورشید، می‌نگرد». او همچنین می‌گوید: «خورشید در طبیعت خود آتش نیست، بلکه بازتاب آتش است. مانند آنچه در آب پدید می‌آید». موضوع دیگری که امپدوکلس بر آن تأکید می‌کند تشکیل ماه، از هوایی است که به وسیله آتش بریده شده است، این هوا مانند تگرگ منجمد شده است. و روشنایی خود را از خورشید دریافت می‌کند[۱۸].

امپدوکلس همچنین اعتقاد داشته است که احساس بینایی از تصادف اشعه نورانی که هم از چشم بیننده و هم از جسم مرئی خارج می‌شده است، حاصل می‌شود. او معتقد است این پرتو نورانی است که از جسم نورانی، و بویژه از خورشید خارج می‌شود؛ و حرکت انتقالی آن در فضا مستلزم گذر زمان است، اما، حرکت این پرتو و زمانی که لازمه حرکت آن است، به سبب سرعت بالایی که دارد، مورد غفلت ماست. ولی از نظر ارسطو، نور یک حرکت انتقالی محض نیست؛ بلکه

۱۶. خراسانی، شرف‌الدین، نخستین فلاسفه یونان، تهران، ۱۳۵۷ ص ۲۸۳.
۱۷. همان ص ۳۵۲.
۱۸. همان ص ۳۵۲.

یک حرکت کیفی یعنی استحاله است[۱۹].

از سخنان پارمنیدس و امپدوکلس به روشنی دریافت می‌شود، که اندیشه که ماه از خود نوری ندارد، و نور آن برگرفته از خورشید است؛ ریشه در تفکر اولین فلاسفه یونانی دارد. اگر چه آنها یا قادر به تبیین بیشتری در این باره نبوده‌اند، و یا اگر مطالب دیگری وجود داشته است، درگذر زمان از بین رفته است. لذا، اگر ارسطو نیز به این باور در مورد ماه پای بند بوده باشد، سخن تازه‌ای نگفته است.

نظر آناکساگوراس

سیمپلیکوس در تفسیر خود بر کتاب فیزیک ارسطو پاره‌هایی از نوشته‌های آناکساگوراس را آورده است، در بندی از آن نوشته‌ها آمده است: «این خورشید است که به ماه روشنایی می‌دهد. درباره جهان‌شناسی آناکساگوراس گزارشهایی وجود دارد از هیپوایتوس که ارسطو نیز درگزارش‌هایی آنها را تأیید کرده است؛ هیپولیتوس به نقل از تئوفراتوس آورده است که آناکساگوراس معتقد بوده است که: «ماه از خود روشنایی ندارد بلکه از خورشید است. گرفتگی ماه در اثر حائل شدن زمین (و گاه نیز اجرام کیهانی زیر ماه) میان آن و خورشید پدید می‌آید. گرفتگی خورشید نیز در اثر حائل شدن هلال ماه میان زمین و آن روی می‌دهد». او معتقد بوده است که ستارگان سنگ‌های برافروخته‌ای هستند و ماه نیز سنگ برافروخته‌ای است و در عین حال معتقد است که نور ماه از خورشید است. این نظر ابتکاری نیست، زیرا پارمندیس نیز بر همین اعتقاد بوده است[۲۰].

نظر ارسطو در مورد کرویّت ماه

در مورد کروی بودن ماه نیز ارسطو در کتاب «در آسمان» خویش بحث کرده

۱۹. ارسطو، درباره نفس، ص ۱۳۵.

۲۰. خراسانی، شرف‌الدین، نخستین فلاسفه یونان، ص ۳۵۶.

است. البته موضوع کرویّت جهان به نحو عام ریشه در اندیشه الئاییان (پارمنیدس؛ ملسیوس؛ دیلس) دارد، که افلاطون نیز به اقتضای همین نظر چنین دیدگاهی داشته است. مطابق آنچه در این کتاب بیان می‌شود، نظر ستاره‌شناسان قبل از ارسطو نیز این بوده است، که خورشید کروی است، زیرا به نظر آنها هلالی بودن خورشید در هنگام کسوف را با هیچ استدلال دیگری نمی‌توان توجیه کرد. او در این کتاب دو دلیل برای کروی بودن ماه بر می‌شمارد، یک دلیل آن است که ما آن را در مراحل افزایش یا کاهش، به شکل هلال یا بدر می‌بینیم. دیگر اینکه اگر نظر ستاره‌شناسان را در مورد ستارگان بپذیریم، آن‌گاه، اگر یکی از اجرام آسمانی را کروی بدانیم، اجرام دیگر نیز باید کروی باشند[۲۱].

اگر چه ارسطو در این رساله به روشنی در مورد نور ماه سخنی ابراز نکرده است، اما به تلویح می‌توان دیدگاه او را در این باره ـ در آنجا که در اثبات کرویّت زمین سخن می‌گوید ـ دریافت. یکی از دلایل کرویّت زمین از نظر او این است، که به هنگام ماه گرفتگی، ماه به صورت هلالی دیده می‌شود؛ و چون سبب این گرفتگی حائل شدن زمین بین ماه و خورشید است، هلالی دیدن ماه در حال گرفتگی، دلیلی بر کرویّت زمین است، زیرا زمین بر ماه سایه ایجاد می‌کند، و این سخن می‌تواند مستلزم این اعتقاد باشد، که نوری که به ماه می‌تابد از خورشید است[۲۲]. اگر چه جمله دیگر او در همین کتاب «ماه همیشه فقط یک روی خود را نشان می‌دهد» می‌تواند بر منیر بودن ماه دلالت کند[۲۳]. ارسطو سخنی از نور برای اجسام عالم افلاک به میان نمی‌آورد. او جنس عالم افلاک را ازاتر یا اثیر می‌داند؛ و معتقد است که اثیر نه از آتش؛ و نه از جنس هیچ ماده دیگری از مواد موجود عالم تحت قمر است. از این رو؛ در مورد ماه و خورشید نیز؛ سخنی از نور به معنایی که در عالم تحت قمر است؛

۲۱. ارسطو، در آسمان، ترجمه اسماعیل سعادت، هرمس تهران ۱۳۷۹، ص ۱۰۴.

۲۲. همان ص ۱۲۸.

۲۳. همان ص ۲۴۵.

به میان نمی‌آورد[۲۴].

نظرگاه نورشناختی ناصر خسرو

از نظر ناصر خسرو در جامع الحکمتین جواهر اجسام به سه قسم است:

الف) جرم خورشید که همیشه از خود نور دهنده است.

ب) بخش دیگری که از خود نور ندارد، و نورپذیر است، که این جرم ماه و اجرام همه کواکب است.

ج) بخش دیگری که نه نورانی، و نه نورپذیر است، که آن فلک با کلیتش است، که راه دهنده نور است.

او می‌گوید: «گفتند که ماه نزدیکتر جرمی است، به زمین از اجرام عالی، از بهر آن که جوهر او کثیف بود وگرانی داشت. به زیر دیگر اجرام از آن شد، که اندر او گرانی و سختی و تاریکی است. و دلیل دیگر بر آن که جوهر ماه خاکی است، آن آوردند که گفتند، از پنج قسم جسم گران یکی جسم فلک است، و دیگر کره اثیر و سه دیگر هوا و چهارم آب و پنجم خاک؛ هیچ قسمتی جز خاک نیست، که روشنی آفتاب از او نگذرد. چنین که همی بینیم که روشنی آفتاب از چهار فلک و از اثیر و از هوا و آب همی فروگذرد، تا به زمین رسد»[۲۵].

او معتقد است که اگر جرم ماه شفّاف بود در آن هیچ حکمتی لحاظ نشده بود، زیرا در صورت شفافیّت ماه، نوری که از آن عبور می‌کرد، نوری بود گرم و خشک، به مانند نور خورشید؛ در حالی که نور ماه نوری سرد وتر است؛ و برای میوه‌ها و دانه‌ها به منزله آب است؛ که پختنی‌ها را غرقه کرده است؛ و نور آفتاب برای آنها به منزله آتش است؛ تا پختنی‌ها میان آب سرد وتر، که نور ماه است؛ و آتش گرم و خشک که نور آفتاب است؛ پخته شوند؛ و از ترکیب این دو؛ و نقش آنها در شکل‌گیری میوه و

۲۴. ارسطو، درباره نفس، ص ۱۳۶.

۲۵. ناصر خسرو، جامع‌الحکمتین، تهران ۱۳۵۷ ص ۱۶۹.

دانه‌هاست؛ که این ترکیب از مزه و رنگ و بو و دیگر خواص؛ در آنها شکل می‌گیرد[۲۶].

او معتقد است؛ در صورتی که ماه شفاف بود؛ همه پختنی‌ها در آتش گرم و خشک می‌سوختند ولی به دلیل کدورت ماه؛ به مانند غذایی که در آب و بر آتش می‌پزند؛ میوه‌ها نیز در اثر ترکیب نور سرد ماه و نور گرم خورشید؛ به این صورت پخته می‌شوند.

نظر شیخ بهایی در مورد نور اجرام آسمانی

شیخ بهایی دانشمند اسلامی قرن یازدهم هجری نیز مقاله[۲۷] کوتاهی در مورد نور اجرام آسمانی دارد، اگر چه خود عنوان خاصّی بدان نداده است، اما از اولین جمله می‌توان به محتوای مقاله وقوف یافت، و آن جمله این است: «فی أنّ اضواءَ الکواکبِ مستفادهٌ من الشّمسِ». شیخ در این نوشته در صدد دفاع از این نظر است، که همه اجرام علوی نور خود را وام‌دار خورشید هستند، و فرقی میان ستارگان ثابت با ستارگان در حال حرکت، نیست. اگر چه شیخ در پایان سخن خویش، آن را صبحی تازه دمیده می‌نامد؛ اما واقعیّت آن است، که ناصر خسرو قرن‌ها پیش از او همین سخن را گفته است.

نکته‌ای نیز در انتهای این رساله در مورد رنگ ستارگان آمده است، که نکته دقیقی است، و آن چنان که در مباحث ابن هیثم خواهیم آورد، از اهمّ دست‌آوردهای علمی ابن هیثم است که شیخ بهایی ۶ قرن پس از او به آن پرداخته است. شیخ می‌گوید: «الوانُها اصلیّهْ و اضواءها کسبیّهً». یعنی رنگ این اجرام، ذاتی آنها، و نورهای آنها برگرفته از خورشید است. این همان مدّعای اصلی مقاله ضوء القمر است، که ابن هیثم در آن، بیان می‌دارد که ماه، اگر چه نور خود را از خورشید

۲۶. ناصر خسرو، جامع‌الحکمتین، تهران ۱۳۵۷ ص ۱۷۸.

۲۷. از مجموعه عربی فارسی به شماره ۱۲۳۱/۳۰ مجلس شورای اسلامی (ملی سابق)، تهران، تاریخ کتابت قرن یازدهم است. و چون ناسخ از شیخ به شیخنا یاد کرده است به نظر می‌رسد که از شاگردان او بوده است.

دریافت می‌دارد، اما در آن نور؛ تغییراتی ایجاد می‌کند؛ که در نتیجه آن تغییرات، نور و رنگ مخصوص به خود را تابش می‌نماید.

بخش دوّم

بررسی برخی از نظرات نورشناختی ابن هیثم

نورشناسی ابن هیثم را عمدتاً باید در کتاب بزرگ او المناظر و المرایا پی گرفت، اما برخی رساله‌های نورشناختی دیگر او نیز، در این میان نقش مکمّل دارند. در این بخش علاوه بر استفاده از فصل اول المناظر از برخی از مطالب مقاله دیگر او تحت نام فی مائیه الاثر الذی فی وجه القمر نیز استفاده شده است.

نور ثانوی مبنای نظریه موجی نور

همان گونه که می‌دانیم، در قرون اخیر دو نظریه در مورد انتشار نور از اجسام وجود داشته است:

۱) نظریه ذره‌ای بودن نور

در این دیدگاه، نور به منزله ذرات مادی کوچکی است، که از جسم منیر خارج؛ و به خط راست در محیط شفاف منتشر می‌گردد. این ذرات کوچک چون به مانعی برخورد کنند، از روی آن بازمی‌تابند. بر این بازتابش، قوانین دوگانه‌ای حاکم است: یکی این که پرتوها تابش، بازتابش و خط عمود در نقطه تابش، در یک سطح واقع است، و دیگر این که زوایای تابش و بازتابش با هم برابرند.

اما بازتابش، در این دیدگاه، تغییری در ماهیت نور ایجاد نمی‌کند، و در واقع نور بازتابیده، همان نور تابیده است، ممکن است بخشی از انرژی جنبشی این ذرات در اثر برخورد با مانع کاهش یابد که این امر نیز تغییر در ماهیت نور تابیده نیست.

بنابراین نظریه، هنگامی که نور از روی یک سطح بازتابیده می‌شود؛ نور بـازتابی، همان نور منبع اولیّه نور است. از مدافعان این نظریه اسحاق نیوتن فیزیکدان بزرگ قرن هفدهم است. بر اساس این نظریه؛ سرعت نور نیز در محیط‌های شفّاف غلیظ بیشتر از سرعت آن در محیط‌های شفاف رقیق است، زیرا چون مولکول‌های محیط غلیظ به هم نزدیکترند، نور را با سرعت بیشتری دست به دست می‌کنند و از خود عبور می‌دهند. فرض‌های این نظریه، بعدها با آزمایشات نورشناختی دقیق؛ ابطال شده است.

۲) نظریه موجی نور

در ایـن دیـدگاه، نـور، صـورتی از انـرژی است کـه بـه صـورت مـوجی الکترومغناطیسی که حاصل تغییر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی، در اثر ارتعاش بارهای الکتریکی، است، ایجاد می‌شود، و بدون این که ماده به همراه آن مـنتقل شود، در خلأ با بالاترین سرعت ممکن انتشار می‌یابد، و چون به محیط‌های شفاف می‌رسد، سرعت آن نسبت به سرعت در خلأ، کاهش می‌یابد؛ و هـرچـه غـلظت محیط شفاف بیشتر باشد، این کاهش سرعت بیشتر خواهد بود.

بر اساس این نظریه؛ هنگامی که نور به محیطی کدر که نور در آن نفوذ نمی‌کند، برخورد می‌کند، انرژی این نور، به وسیله مولکول‌های آن محیط، جذب می‌شود، و این مولکول‌ها در اثر جذب انرژی شروع به ارتعاش می‌کنند. و در اثر ارتعاش خود، و تـغییرات مـیدان‌هـای الکـتریکی و مـغناطیسی در اطـرف آنـها، خـود مـوج الکترومغناطیسی ایجاد می‌کنند. این امواج به صورت نور در محیط شفاف انتشار می‌یابند. در این نظریه، هر محیط بازتابنده، نوری را باز می‌تاباند؛ که به ویژگی‌های فیزیکی خود آن محیط، متناسب است و در واقع، نور خود را می‌تاباند.. هیچ نوری نیست که به محیطی برخورد کند، و بر روی آن محیط عیناً با همان شرایط اولیـه بازتابش نماید.

این نظریه در مورد ماهیت نور، با آزمایش‌های دقیق نورشناختی به اثبات رسیده

است؛ اما در عین حال بسیاری از ویژگی‌های نظریه ذره‌ای نور مانند حرکت نور بر خط راست؛ همچنان قابل استناد است، اما باید به خاطر داشت که آنچه ما در مقیاس بزرگ از رفتار نور مشاهده می‌کنیم که منطبق بر شرایط نظریه ذره‌ای است، ربطی به ماهیت نور به عنوان یک موج ندارد.

تلقی پیشینیان که از ابزارهای دقیقی برای آزمایش‌های نور شناختی برخوردار نبوده‌اند، با نظریه ذره‌ای نور همخوانی داشته است، اما آنچه ابن هیثم در مورد صدور نور ثانوی بیان کرده است، دقیقاً با نظریه موجی نور متناسب است.

نور اولی و ثانوی

از نظر ابن هیثم[۲۸] نوری که از جسم منیر، که منبع تابش نور است، خارج می‌شود نور اوّلی است، و این نور، چون به یک محیط شفاف برسد، در درون آن محیط منتشر می‌شود، و اگر محیط کدر باشد، نمی‌تواند وارد آن محیط شود، و به وسیلهٔ آن محیط جذب می‌شود، او می‌گوید جذب نور در محیط کدر سبب صدور نور دیگری از سطح خود آن جسم کدر می‌شود، که از آن به نور ثانوی یاد می‌کند، که از نظر خواص نورانی، این نور با نور اوّل تفاوتی ندارد، و تنها از آن ضعیف‌تر است.

نور ذاتی و عرضی

این نور ثانوی چون به مانع دیگری برخورد کند، به وسیله مانع متوقف می‌شود، و به سبب ویژگی‌ای که او از آن به قوه نور پذیری (قبول للضوء) یاد می‌کند، به وسیله مانع جذب می‌شود و سبب صدور نور سوم (ثوالث) از آن می‌شود. این حالت اگر برای موانع چهارم و بیش از آن تکرار شود، موجب صدور نور خاص آن محیط‌ها می‌شود، ابن هیثم از آنها به نحو عام و کلی به نورهای عرضی تعبیر می‌کند[۲۹].

---

۲۸. نظیف بک، مصطفی، الحسن بن الهیثم بحوثه و کشوفه البصریه، دارالکتب، قاهره ۱۹۴۲ جلد اول، ص ۲۴۶.

۲۹. همان ص ۲۴۷.

پس نور از نظر ابن هیثم دوگونه است:

الف) نور ذاتی

نوری که اجسام منیر مانند خورشید یا منابع زمینی نور صادر می‌شود. او می‌گوید: «نوری که از اجسام منیر می‌تابد به سبب صیقلی بودن یا سطوح آنها نیست، بلکه نور از هر جزوی از آنها می‌تابد، پس نورانی بودن آنها به دلیل وجود توان نوری (قوه نوریه) آنهاست»[۳۰].

نور عرضی

نوری که پس از تابش نور منبع به یک جسم کدر و جذب آن توسط جسم کدر، از سطح جسم ساطع می‌شود. در این نظرگاه ماه تابنده نور عرضی است.

نورهای ذاتی و عرضی به لحاظ همه ویژگی‌های نورانی با هم برابر ند، و قوانین بازتابش و شکست و حالت حرکت بر خط راست برای هردوی آنها صادق است.

تفاوت اجسام کدر و صیقلی از نظر برخورد نور به آنها

الف: اجسام صاف و صیقلی

از نظر ابن هیثم اجسام صاف و صیقلی نوری را که به آنها می‌تابد، منطبق بر قوانین بازتابش نور بازمی‌تاباند، نوری که از یک سطح صاف بازمی‌تابد هیچ تفاوتی با نور منبع نور ندارد.

ب) اجسام ناصاف

او اجسام ناصاف را بازتابنده نور نمی‌داند، و همان گونه که بیان کردیم، معتقد

---

۳۰. ابن هیثم «فيِ مائیه الاثر الذی فی وجه القمر» تصحیح عبدالحمید صبره، مجله التاریخ العلوم العربیه، السنه الوالی، العدد الاول، ایار ۱۹۷۷ م، جامعه حلب ـ سوریه، معهد التراث العلمی العربی، ص ۱۰.

است این اجسام نور عرضی تابش می‌نمایند و بنابراین قوانین بازتابش را برای اجسام کدر صادق نمی‌داند. در مقاله «فی مائیه الاثر الذی فی وجه القمر» تعابیر «صقیله» و «خشنه» در مقابل یکدیگر به کار می‌رود. او درباره اجسام غیر صیقلی یا به تعبیر خود «خشنه» می‌گوید: «غیر صیقلی بودن مانع بازتاب نور می‌شود، اما مانع پذیرش نور نمی‌شود، و خشن بودن نسبت به صیقلی بودن برای پذیرش نور مناسب‌تر است، زیرا نور وقتی به اجسام صیقلی برخورد می‌کند در فاصله بین اجزای آنها نفوذ می‌کند، همان گونه که غیر صیقلی بودن سطح ماه سبب ناپدید شدن نور نمی‌شود»[۳۱].

نقد سخن ابن هیثم در مورد اجسام صیقلی و غیر صیقلی

اگر چه نظریه صدور نور عرضی نظریه‌ای مهم و الهام بخش است؛ اما باید توجه داشت که صدور نور عرضی از اجسام کدر و صیقلی هر دو صورت می‌گیرد. و در واقع هر دو محیط یعنی محیط جسم ناصاف و محیط جسم صیقلی نور را به تعبیری بازمی‌تابانند؛ و به تعبیری نور عرضی صادر می‌کنند. بر اساس نظریه پذیرفته شده موجی نور هرگاه به یک سطح خواه صاف و خواه ناصاف برخورد کند؛ به وسیله ذرات آن محیط جذب و سبب ارتعاش می‌شود؛ و موج نورانی جدیدی ایجاد می‌کند. موج جدید ایجاد شده منطبق بر قوانین بازتابش نور ـ که پیشتر از آنها یاد کردیم ـ در محیط شفاف انتشار می‌یابد.

تفاوتی که محیط‌های صیقلی و غیر صیقلی با یکدیگر دارند؛ این است که محیط‌های صیقلی نور را به صورت منظم بازتاب می‌دهند؛ و پرتوهای نوری که از یک جسم به صورت موازی به سطح صیقلی برخورد می‌کنند، به همان صورت از آن سطح بازمی‌تابند، اما، بازتابش از روی سطح غیر صیقلی نامنظم است؛ یعنی

۳۱. ابن هیثم «فی مائیه الاثر الذی فی وجه القمر» تصحیح عبدالحمید صبره، مجله التاریخ العلوم العربیه، السنه الوالی، العدد الاول، ایار ۱۹۷۷ م، جامعه حلب ـ سوریه، معهد التراث العلمی العربی، ص ۱۲.

پرتوهایی که موازی به یک سطح ناصاف برخورد می‌کنند، در هنگام بازتابش موازی نیستند، چون مولکول‌های سطح صیقلی به صورت منظم چیده شده‌اند، خطوط عمود بر نقاط تابش در آنها موازی هستند، اما در سطح غیر صیقلی، چون مولکول‌ها نامنظم چیده شده‌اند؛ خطوط عمود موازی نیستند، و در نتیجه پرتوهای بازتابش موازی نیستند.

ابن هیثم بازتابش را بر روی سطوح صیقلی با تلقی نظریه ذره‌ای نور مورد تأیید قرار می‌دهد؛ و قانون‌های بازتابش را برای سطوح غیر صیقلی نمی‌داند. که در نورشناسی نوین هر دو این موارد غیر قابل قبول است.

بنابراین آنچه که ابن هیثم در این مقاله به اجمال و در فصل اوّل از کتاب **المناظر** به تفصیل به آن پرداخته است؛ این است که هنگام برخورد نور از یک جسم دیگر، اگر آن جسم کاملاً صیقلی باشد نور را بازمی‌تاباند، و اگر کاملاً شفاف باشد، نور را از خود عبور می‌دهد؛ و اگر محیطی که نور به آن برخورد می‌کند؛ نه کاملاً صیقلی و نه کاملاً شفاف باشد، آن محیط تبدیل به منبع ثانوی نور می‌شود، و مانند اجسامی که از خود نور دارند، نور را در تمام جهات منتشر می‌کند.

نظر ابن هیثم در مورد تفاوت اجسام شفاف و غیر شفاف

«او می‌گوید: هر جسم شفافی نور را پذیرفته و آن را به ماورای خود هدایت می‌کند، اما جسم غیر شفاف آن را به ماورای خود هدایت نمی‌کند». بر همین اساس او می‌گوید توان پذیرش نور غیر از شفاف بودن است. ابن هیثم به طور کلی و در مواضع متعددی از نوشته‌های خود به تقسیم‌بندی اجسام از نظر برخورد نور به آنها می‌پردازد، او در کتاب **المناظر** و در **مقالة فی الضوء** و در **ضوءالقمر** و در **مقالة مائیه الاثر الذی فی وجه القمر** به این موارد اشاره کرده است.

آنچه که از بیان او برمی‌آید، این است که اجسام در مقابل نور دو دسته هستند: یا «شفاف» اند و یا «کثیف». اجسام «کثیف» نیز یا «صقیل»اند و یا «خشن». اجسام

شفاف به دلیل وجود خاصیت «شفیف» (شفاف بودن) می‌توانند نور را از خود عبور دهند، و اجسام پشت خویش را نمایان سازند. از نظر ابن هیثم جسم کاملاً شفّاف قابل دیدن نیست، و رنگی نیز ندارد؛ و اجسام واقعی تا اندازه‌ای شفاف و تا اندازه‌ای کثیف (کدر) هستند. می‌گوید: «هر جسمی مانند آب و شیشه و سنگ‌های شفاف که تا اندازه‌ای شفاف و تا اندازه‌ای کدر باشد، چون نور به آن بتابد، بخشی از نور در آن نفوذ می‌کند؛ و بخشی از نور در سطح آن ظاهر می‌شود» او در مورد اجسام کدر نیز می‌گوید: «اجسام کدر مختلف هنگامی که به آنها نور می‌تابد، تصویر نور در در آنها متفاوت می‌شود، این اختلاف تصویر نور به رنگ آنها و به صیقلی بودن و یا خشن بودن و به میزان کدر بودن آنها بستگی دارد؛ و اجسام مشابه نیز رفتار مشابهی با نور دارند»[۳۲]. اجسام کدر اگر صیقلی باشند بازتابنده نور هستند و اگر غیر صیقلی باشند منبع صدور نور عرضی می‌باشند.

بخش سوّم

روش کلی ابن هیثم در مباحث رساله ضوءالقمر

روش او در این رساله را می‌توان تحت عناوین زیر دسته بندی کرد

تواضع علمی

نکته‌ای که در ابتدای این مقاله نظر خواننده محقّق را به خود جلب می‌کند، نحوه مواجهه این دانشمند با نظریات دانشمندان و ریاضیدانانی است، که درباره نور ماه اظهارنظر کرده‌اند. او پس از آن که اعتقاد دانشمندان گذشته را به بازتابنده بودن سطح ماه بیان می‌دارد، می‌گوید:

«هیچ سخنی تحقیقی از هیچیک از این دانشمندان نه درباره چگونگی تابش نور از خورشید به ماه، و نه درباره بازتابش نور از سطح ماه به زمین، به ما نرسیده

۳۲. ابن هیثم «فی مائیه الاثر الذی فی وجه القمر» تصحیح عبدالحمید صبره، مجله التاریخ العلوم العربیه، السنه الوالی، العدد الاول، ایار ۱۹۷۷ م، جامعه حلب ـ سوریه، معهد التراث العلمی العربی، ص ۱۳.

است»[۳۳]. البته او با قطع و یقین در این باره که آنها سخنی تحقیقی در این مورد ندارند، سخن نمی‌گوید، بلکه می‌گوید: شاید آنها دلایلی داشته‌اند؛ که به ما نرسیده است. این یکی از ویژگی‌های سلوک علمی ابن هیثم است که حاکی از تواضع علمی اوست، چنان که در جای دیگری از این مقاله، درباره نظر ریاضیدانان می‌گوید: «و امّا اصحاب التعالیمِ، فَأنَّ الْمَّظنونَ مِّنُ رأیهم»[۳۴]. یعنی آنچه من از نظر ریاضیدانان فهمیده‌ام، و برداشت من از سخن آنها این است. شاید نتوانسته‌ام منظور اصلی آنها را دریابم. این موارد که حاکی از مشی متواضعانه ابن هیثم در سلوک علمی است، در ابتدای این مقاله به خواننده این نوید را می‌دهد، که این دانشمند قصد القای بی‌دلیل بافته‌های ذهن خویش را ندارد، و همین امر سبب برانگیخته شدن رغبت بیشتر می‌شود. هنگامی که این مشی ابن هیثم که با وجود طرح مباحث دقیق علمی و اصلاح بسیاری از تلقیّات نادرست، با اندیشه‌های گذشتگان با کمال تواضع برخورد می‌کند، با روش شیخ بهایی مقایسه شود، که پس از نوشتن مقاله‌ای کوتاه ـ که ذکر آن رفت ـ آورده است: «اطفیء المصباح فقد طلع الصباح»[۳۵]، و به این وسیله به تخفیف بزرگان قبل از خود می‌پردازد، لطف و بزرگی ابن هیثم آشکارتر می‌شود.

البته نباید از نظر دور داشت که شیخ بهایی متعلق به دوران افول علم در عالم اسلام است، در این شرایط افراد دانش خود را وسیله فخر فروشی و تفاخر قرار می‌دهند.

از این رو، ما تواضع علمی را بخشی از روش‌شناسی ابن هیثم می‌شماریم، و در واقع این صفت اخلاقی در این‌جا نقش یک روش علمی به خود گرفته است.

بیان دقیق همه انواع فرض‌های مسأله

چنان که در ادامه خواهیم دید، ابن هیثم انواع فروض منطقی هر مسأله را مورد اشاره قرار می‌دهد. این گونه از بیان به تحدید موضوع و مشخص شدن حدود بحث

۳۳. ابن هیثم، مقاله فی ضوءالقمر، از کتاب فی اضواء الکواکب، دایره المعارف عثمانیه، حیدر آباد دکن، ص ۲.

۳۴. همان ص ۳.

۳۵. از مجموعه عربی فارسی به شماره ۱۲۳۱/۳۰ مجلس شورای اسلامی (ملی سابق)، تهران.

اشاره قرار می‌دهد. این گونه از بیان به تحدید موضوع و مشخص شدن حدود بحث کمک بسیاری می‌رساند. و اصولاً او علت پرداختن به مباحث نور ماه را در این می‌داند، که گذشتگان اعم از ریاضیدانان یا دانشمندان علوم طبیعی بیان کامل و دقیقی از این مسأله ارائه نکرده‌اند. ابن هیثم در اینجا نظر ریاضیدانان و دانشمندان علوم طبیعی را مورد ملاحظه قرار می‌دهد، زیرا او نورشناسی را به ریاضیات و علوم طبیعی مرتبط می‌داند. چنان که در رساله مقالة فی الضوء می‌گوید:

«سخن از ماهیت نور به علوم طبیعی مربوط است؛ و سخن از چگونگی تابش آن به علوم ریاضی، چنان که سخن از ماهیت پرتوهایی که نور به وسیله آنها امتداد می‌یابد، مربوط به علوم طبیعی است، و سخن از شکل و هیأت این پرتوها به علوم ریاضی، هم چنین سخن از اجسام شفّاف که نور در آنها نفوذ می‌کند، و از ماهیّت و چگونگی شفاف بودن آنها به علوم طبیعی وابسته است. پس سخن از پرتو و شفّافیت و نور ترکیبی از علوم طبیعی و علوم ریاضی است»[۳۶].

همین نگاه تلفیقی به موضوع نور ابن هیثم را بر آن می‌دارد تا در رساله «ضوء القمر» فرض‌های ریاضیاتی و فیزیکی مربوط به نور ماه را مورد دقّت قرار دهد. سپس هر یک از این فرض‌ها را در حوزه ریاضیات، فیزیک و یا فلسفه پاسخ می‌دهد.

مثال: ماه گرفتگی تحت شرایطی می‌تواند نشان دهد که ماه از خود نوری ندارد، و نور آن برگرفته از خورشید است؟

فرض‌های مختلفی که به نظر او همه فرض‌های ممکن است عبارتند از:[۳۷]

الف) امکان فسادپذیری ماده تشکیل دهنده فلک وجود نداشته باشد.

ب) هیچ خلائی در فلک وجود نداشته باشد.

پ) هیچ بخشی از فلک پارگی نپذیرد.

ت) همه یا بخشی از فلک انبساط و انقباض نپذیرد.

---

۳۶. ابن هیثم، «مقاله فی ضوء»، ص ۲.

۳۷. همان ص ۶.

ث) بخشی از فلک در بعضی اوقات ذاتاً ساکن و در بعضی اوقات ذاتاً متحرک نباشد.

ج) نباید بخشی از آن به دلیلی در برخی زمانها با سرعت و جهتی متحرک باشد، و در زمانی دیگر سرعت و جهتی مخالف حالت اوّل داشته باشد.

مثال‌های متعددی از متن مقاله ضوءالقمر در این باره می‌توان ذکر کرد، شیوه او بیان همه انواع فرض‌هاست، خواه این فرض‌ها علمی باشند، و خواه فلسفی، او پس از بیان این فرض‌ها، هرکدام را براساس محتوای خود که یا علمی و یا فلسفی است پاسخ می‌دهد[۳۸].

بیان استدلال فیزیکی و منطقی برای وجوه مختلف مسأله

باور ابن هیثم این است که اگر استدلال منطقی کاملی برای یک موضوع بیان نشود، آن موضوع در حدّ گمان و حدسی غیر قابل اعتماد باقی می‌ماند. چنان که می گوید:[۳۹] «حال که چنین است و ما سخنی کافی که بیانگر حقیقت کیفیت نور این جرم باشد، در اختیار نداریم و جانها نیز مشتاق آگاهی از حقیقت امور هستند و تا رسیدن به یقینی قطعی آرام نمی‌گیرند، به تحقیق درباره کیفیت نور این جرم و دقت نظر در آن و کشف ناشناخته‌های آن پرداختیم». او رسیدن به باور یقینی را مستلزم استدلال دقیق فیزیکی و هندسی می‌داند.

بیان استدلال هندسی

چون ابن هیثم خود ریاضیدانی بزرگ است، سعی می‌کند، نظرات خود را با پشتوانه علم معتبری مانند هندسه مورد تأیید قرار دهد. و تا آنجا که از قواعد هندسه اقلیدسی برای طرح مسأله و حل هندسی آنها بهره برده است، براهین کاملاً

۳۸. در ادامه طرح این فرض‌ها ابن هیثم هر فرض را جداگانه و به تفصیل در مقاله ضوءالقمر پاسخ گفته است.

۳۹. همان ص ۲.

دقیق است؛ به نحوی که اثبات‌ها از اعتبار کامل علمی برخوردار می‌باشند.

ما در ادامه، مسائل را در قالب موارد بالا مطرح می‌سازیم. در واقع تلاش ذهنی او برای بیان استدلال علمی در قالب‌های ریاضی و هندسه گام بلند او در ترکیب علوم تجربی و ریاضی است، که با دقت در آنها، احتراز او را از خلط مباحث علمی و فلسفی درخواهیم یافت، اگر چه این مباحث علمی مرز مشخصی با فلسفه نداشته‌اند، اما سعی او در جداسازی هر یک از این حوزه‌ها تأثیر فراوانی بر مطالعات علمی بعد از او داشته است.

تفاوت ماه با سایر اجرام آسمانی

ماه از ویژگی‌های متفاوتی نسبت به سایر اجرام آسمانی برخوردار است، این تفاوتها سبب شده است، دانشمندان و ریاضیدانان و سایر متفکران، ماه را فاقد نور و نور آن را برگرفته از خورشید بدانند؛ که به وسیله بازتابش به زمین می‌رسد، همین تصور بازتابندگی نور باعث القای فکر صیقلی دانستن ماه شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از:[۴۰]

الف) نور در روی سطح آن جابه‌جا می‌شود.

ب) شکل مقدار نورانی آن مرتباً تغییر می‌کند.

ج) سطح نورانی ماه همواره به سمت خورشید است.

د) ماه در هنگام گرفتگی کاملاً به طرف خورشید است، و زمین در این حالت بین ماه و خورشید واقع است.

او پس از بیان این تفاوت‌ها که برای هر چشم غیر مسلحی نیز واضح است می‌گوید همه کسانی که این موارد را دلایل بازتابنده بودن ماه می‌دانند؛ با وجود اتفاق نظری که در این بحث دارند؛ براهین متقنی در این‌باره ارائه نکرده‌اند.

ابن هیثم همچنین نظر این دانشمندان را در مورد رنگ ماه مورد تردید قرار

۴۰. همان ص ۲.

می‌دهد. او معتقد است که این دانشمندان با باور به بازتابندگی ماه تصور کرده‌اند؛ که رنگ آن همان رنگ نور خورشید است، که از سطح ماه بازمی‌تابد؛ و برای ماه رنگی قائل نشده‌اند. او در بخش‌های آخر این مقاله این نظر رانیز مورد تردید قرار می‌دهد و براساس نظری که در مورد نور تابیده از ماه بیان می‌کند، رنگ ماه را نیز به گونه‌ای دیگر توصیف می‌کند.

تفاوت اجسام از جهت برخورد نور به آنها[۴۱]

در نگاه ابن هیثم اجسام از جهت برخورد با نور به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) جسمی که از هر نقطه از آن نوری به نقطه مقابلش می‌تابد، این خاصیت اجسام ذاتاً نورانی (منیر) است.

ب) جسمی که از اجسام نورانی دیگر بر آن نوری می‌تابد و از سطح آن منعکس می‌شود، این خاصیت اجسام صیقلی است.

ج) جسمی که چون نوری به آن می‌تابد از نقطه‌ای از آن به داخل نفوذ می‌کند؛ این ویژگی اجسام شفّاف است.

آن گونه که از پیشینه اندیشه ابن هیثم می‌دانیم، او تنها جسمی صیقلی را بازتاباننده می‌داند؛ و جسم غیر صیقلی یا خشن را منبع تابش نور عرضی می‌شمارد بر همین اساس در این تقسیم بندی سه‌گانه نیز اجسام غیر صیقلی و از جمله ماه در ردیف اول قرار می‌گیرند چراکه او پس از این اثبات می‌کند که از هر نقطه از ماه نوری به نقطه مقابل آن می‌تابد و بنابراین ماه جسم منیر است.

آیا ماه از خود نوری دارد؟

او سپس نور ماه را به دنبال این تقسیم‌بندی بررسی می‌کند، و می‌گوید: این که از

۴۱. از اینجا تا پایان این بخش همه مستندات بحث برگرفته از «مقاله فی ضوءالقمر» از کتاب فی اضواء الکواکب چاپ دایره المعارف عثمانیه در حیدرآباد دکن هندوستان است.

هر نقطه از ماه نوری به نقطه مقابل آن می‌تابد، دلیلی بر نورانیّت ذاتی (منیر بودن) آن است، ماه گرفتگی و به سمت خورشید بودن بخش نورانی آن نیز دلایلی بر اخذ نور از خورشید است. آیا ممکن است با وجود گرفتگی ماه در مقابل خورشید و تغییر در مقدار بخش نورانی آن مقابل بودن بخش نورانی آن به خورشید باز هم ماه از خود نور داشته باشد؟

نور ماه از چه طریقی به زمین میرسد؟

او سپس می‌گوید حال بافرض این که این نور را برگرفته از خورشید بدانیم نور آن از چه راهی به زمین می‌رسد؟ آیا از راه انعکاس است؟ یا از راه نفوذ؟ یا از طریق دیگری غیر از این دو شیوه است که ویژگی همه اجسام نور دهنده غیر ذاتی است؟

اهم مباحث ابن هیثم در این رساله دادن پاسخ فیزیکی به این سؤالات و ارائه استدلال ریاضی برای آنها جهت رسیدن به نظریه مختار خود در این رابطه است. او در پاسخ به پرسش اول اذعان می‌کند که تغییر در مقدار آشکار بخش نورانی ماه نمی‌تواند ناقض نورانیت ذاتی آن باشد؛ زیرا ممکن است بخشی از ماه که سطحی به اندازه مساحت یک دایره دارد؛ از خود نورانی باشد؛ و ماه علاوه بر حرکتی که در آن روی فلک خود به گرد زمین دارد؛ حرکتی نیز حول مرکز خود داشته باشد به نحوی که با چرخش ماه به گرد مرکز خود مقداری از بخش نورانی که در سطح زمین مشاهده می‌شود؛ ابتدا هلالی باشد؛ و پس از آن هلالی بزرگتر شده تا نیم‌دایره و سپس دایره‌ای نورانی تبدیل شود و پس از آن رو به کاهش گذارد؛ تا این که با چرخش ماه حول مرکز خود که حرکتی مساوی با حرکت ماه بر روی فلک خود به دور زمین است؛ بخش نورانی بالا قرار گیرد؛ و در سطح زمین به چشم نیاید.

یک احتمال دیگر این است که ماه کاملاً نورانی و کروی شکل باشد؛ و به وسیله جسم کدر مقاوم بی‌نوری که به صورت نیم‌کره‌ای توخالی است و سمت مقعر آن مماس با سطح محدب ماه است احاطه شده باشد؛ و در این حالت ماه ثابت باشد و

این نیمکره کدر در مقابل آن به شرحی که در مورد پیشین بیان شده؛ حرکت کند؛ در این حالت نیز اشکال ظاهر شده می‌توانند از خود ماه باشند.

علل ماه گرفتگی در صورت منیر بودن ماه

اما اگر ماه ذاتاً نورانی باشد گرفتگی‌اش تنها میتواند به علل زیر باشد:

الف) در ذاتش استحاله صورت گیرد.

ب) فاصله‌اش تغییر کند.

ج) وضع آن در مقابل چشم تغییر کند.

د) مانعی آن را بپوشاند.

ه) حالتی مرکب از چهار حالت فوق داشته باشد.

اما او در اجرام عالم فلک استحاله را منتفی می‌داند؛ زیرا تحول و استحاله ویژگی عالم تحت فلک قمر است؛ و همه اجرام عالم افلاک وضعیتی یکسان و ثابت دارند؛ که در آن صورت نمی‌گیرد.

تغییر فاصله نیز تنها می‌تواند؛ باعث بزرگ یا کوچک شدن جسم یا ناپدید شدن برخی از جزئیات جسم شود؛ یک جسم بزرگ هنگامی که از نزدیکی ما فاصله می‌گیرد؛ هرچه دورتر می‌شود؛ در حالی که شکل آن ثابت است؛ بزرگی زاویه‌ای آن کم می‌شود؛ و اگر به ما نزدیک شود؛ عکس این حالت اتفاق می‌افتد؛ و نمی‌تواند باعث هلالی شدن دایره شود؛ یا در حالی که بزرگی دایره محیطی هلال ثابت است؛ باعث تغییر در پهنای آن شود.

و امّا اگر مانعی باشد که ماه را از چشم پنهان کند؛ این مانع باید بر روی بخش مقابل خورشید باشد، و در این حالت، چون ستارگان زیادی در نزدیکی ماه قرار دارد؛ آن ستارگان نیز باید دچار گرفتگی شود. اما عملاً این اتفاق نمی‌افتد؛ و اگر این مانع همواره در مقابل خورشید است، باید به همراه حرکت خورشید حرکت کند، و هر ستاره‌ای را که در مسیر واقع می‌شود؛ دچار گرفتگی نماید، که این وضعیت نیز مشاهده نمی‌شود.

دلایل ابن هیثم بر کروی بودن ماه

و اما در مورد چهارم که گرفتگی ماه می‌تواند ناشی از تغییر هیأت ماه باشد، با استدلال ثابت می‌کند؛ که ماه تنها به شکل کره است. او می‌گوید شکل ماه مقعّر نیست؛ زیرا اگر مقعّر و ساکن باشد، و خورشید در مقابل آن حرکت کند، و در اثر این حرکت مقدار نورانی‌ای که از آن به چشم می‌رسد تغییر کند، باید اوّلین بخشی که از آن دیده می‌شود؛ تحدّبی در خلاف جهت خورشید داشته باشد؛ و چون این‌گونه نیست؛ بنابراین ماه مقعّر نیست. محدّب غیر کروی نیز می‌تواند باشد؛ زیرا در این صورت؛ اگر ماه حول خود به صورت مایل در حرکت باشد، آنچه که از آن به صورت نورانی دیده می‌شود کمانی از دایره نخواهد بود، اگر هم ساکن باشد، و خورشید در مقابل آن حرکت کند، در صورت محدّب غیر کروی بودن؛ بخش نورانی ظاهر از آن یا هلالی به نظر نخواهد آمد؛ و یا در صورتی که هلالی به نظر آید با تغییر وضع جسم حالت هلالی آن حفظ نخواهد شد.

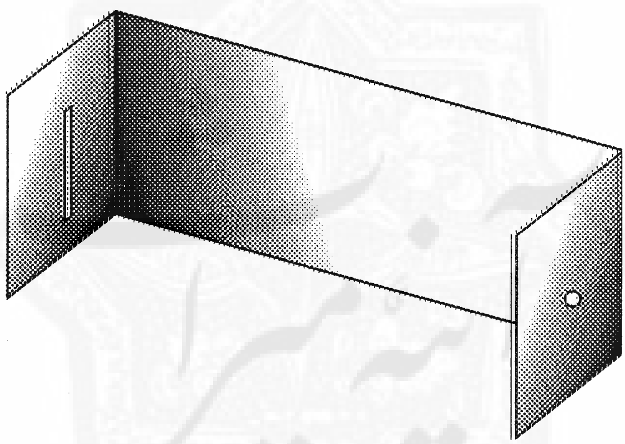
بنابر آنچه گفته شد؛ چون ماه ابتدا هلالی است، و سپس هلال آن بزرگتر و به نیم‌دایره تبدیل می‌شود؛ و آنگاه به صورت مستطیلی که به وسیله دو کمان احاطه شده است؛ درمی‌آید؛ و سپس به دایره تبدیل می‌شود، نمی‌تواند به صورتی غیر از کره باشد.

آیا از هر نقطه ماه به نقطه مقابل آن نور می‌تابد؟

او کوشش می‌کند با طرح آزمایشی نشان دهد که از هر نقطه از سطح ماه به نقطه‌ای در مقابل آن نور تابش می‌شود؛ آن آزمایش به شرح زیر است:

وسیله‌ای که در این آزمایش از آن استفاده می‌کند؛ مرکب از خط‌کش با طول و عرض و ضخامت زیاد است، که کاملاً راست باشد؛ و سطوح آن موازی باشد؛ و در دو طرف آن دو هدف موازی عمود بر سطح خط‌کش قرار می‌دهیم؛ به طوری که عرض آنها به اندازه عرض خط‌کش باشد (شکل ۱). در وسط هدف A و بر روی

سطحی از آن که روبروی خط کش است؛ گودی صاف مقعّری به شکل نیم‌کره ایجاد می‌کنیم؛ به گونه‌ای که در وسط آن سوراخ کوچکی وجود داشته باشد؛ و در وسط هدف دوم B روزنه مستطیلی شکل باریک و صافی که موازی سطح خط کش باشد؛ و فاصله وسط آن از مکانی از خط کش که این هدف به آن اتصال دارد؛ به اندازهٔ سوراخ موجود در هدف دیگر از آن سر خط کش باشد؛ و طول روزنه مستطیلی در مکان نقطه زاویه‌ای بسازد، که کمتر از زاویه‌ای که قطر ماه در نزد سوراخ می‌سازد؛ نباشد. (شکل ۱)



(شکل ۱)

حال این ابزار را بر حاملی قرار می‌دهیم؛ به طوری که به آسانی قابل حرکت باشد؛ و بتوان آن را مقابل ماه قرار داد؛ و به گونه‌ای از آن استفاده کرد که هرگاه از طریق سوراخ و از روزنه به ماه نگریسته شود؛ دو طرف روزنه کاملاً منطبق بر محیط ماه باشد؛ و هرگاه طرفی از روزنه خالی شود، بتوان با ماه آن را پر کرد.

چون ابزار آماده شد؛ چشم را از سوراخ دور می‌کنیم؛ و سوراخ را مقابل جسم کدری قرار می‌دهیم. در این حالت، نوری از ماه که از روزنه گذشته، و از سوراخ نیز

عبور کرده است؛ بر روی جسم کدر ظاهر می‌شود؛ و چون روزنه به تدریج گرفته شود؛ نوری که بر جسم کدر است؛ مرتباً کوچک می‌شود؛ و اگر روزنه را با جسم کدری که دارای سوراخی است؛ بپوشانیم، به‌گونه‌ای که تنها بخش کوچکی از روزنه باز بماند؛ در این حالت؛ نوری که بر جسم کدر باقی می‌ماند؛ نوری است که بر روی خط راست از بخش باقی مانده روزنه تا سوراخ موجود در هدف A امتداد یافته است، و اگر این جسم پوشاننده حرکت داده شود؛ تا اجزای مختلفی از سطح ماه آشکار شود، نور نیز آشکار می‌شود و اگر خط کش نیز حرکت داده شود؛ تا بخش‌های دیگری از سطح ماه آشکار شود؛ یا خط کش به مکانهای دیگر منتقل شود نیز همین وضعیت تکرار خواهد شد.

ابن هیثم از این آزمایش نتیجه می‌گیرد که نوری که از ماه در هنگام تابش خورشید بر آن ظاهر می‌شود؛ مانند نوری است که از اجسام منیر خارج می‌شود. به این صورت که از هر نقطه‌ای از آن نوری به نقطه مقابل آن می‌تابد؛ و نه به مانند اجسامی است که نور از سطح آنها به روش بازتابش ظاهر می‌شود؛ زیرا اجسام منیر صورتی هستند؛ که از نقطه از آنها نور به نقطه‌ای در مقابل آن می‌تابد. امّا اجسامی که نور را بازتابش می‌دهند، این بازتابش از روی سطح آنها تنها از یک نقطه صورت می‌گیرد. و نور از همه سطح آنها بازتابیده نمی‌شود. ابن هیثم توجّه می‌دهد که این آزمایش را باید با رعایت جوانب احتیاط انجام داد، بنابراین او روزنه را به آرامی بازتر می‌کند؛ و خط کش را در هنگام تابش نور کاملاً ثابت نگه می‌دارد؛ و جسمی را که در پشت سوراخ است و نور بر آن ظاهر می‌شود بسیار نزدیک به سوراخ قرار می‌دهد. لازم است نور در این حالت به دقّت نگریسته شود؛ و برای رعایت جوانب احتیاط، این آزمایش در شبی انجام شود که ماه کاملاً پر باشد، زیرا نور ماه ضعیف است؛ و نوری که از روزنه گذشته و از سوراخ نیز عبور کرده است؛ بسیار ضعیف است. به نحوی که دقّت زیادی را طلب می‌کند.

انتشار کروی نور در محیط شفاف

یکی از نتایج بسیار مهمی که ابن هیثم از این آزمایش می‌گیرد؛ این است که نور از یک نقطه از سطح ماه در تمام جهات منتشر می‌شود؛ و نوری که از یک نقطه از ماه خارج می‌شود می‌توان در تمام نقاط سطح زمین مشاهده کرد؛ او چندین بار بر این بیان تأکید می‌ورزد؛ که نور هنگامی که از یک نقطه از منبع نور خارج می‌شود؛ در تمام جهاتی که ممکن است؛ در محیط شفّاف انتشار پیدا می‌کند. انتشار نور در همه جهات از توابع نظریه انتشار موجی نور است.

البته کشف انتشار کروی نور به کندی (۲۶۰ هجری قمری) باز می‌گردد؛ که معتقد بود سیال بصری از تمام نقاط سطح مردمک چشم در همه جهات انتشار می‌یابد؛ اقلیدس و بطلمیوس معتقد بودند که سیال بصری تنها از مراکز چشم خارج می‌شود. البته انتشار کروی نور را به طور کلی می‌توان از الهامات تاریخی نظریه پرتوهای بصری دانست؛ زیرا این پرتوها مخروطی تصور می‌شده‌اند و کندی بر همین پایه به تصور انتشار کروی نائل شده است.

نور ثانوی

آنچه این آزمایش نشان می‌دهد؛ ویژگی اجسامی است که ذاتاً نور دهنده (منیر) هستند و بر همین اساس، نوری که از ماه به زمین می‌رسد؛ نمی‌تواند از طریق بازتابش یا نفوذ باشد؛ و با نظربه این که او نور ماه را همان نور خورشید نمی‌داند و در عین حال ربطی بین نور تابیده از ماه به زمین و نور تابیده از خورشید به ماه قائل است؛ به نظریه خود در رابطه با صدور نور ثانوی می‌رسد؛ و با قاطعیت بیان می‌دارد: «هنگامی که نور خورشید به ماه می‌تابد؛ ماه در این حالت از خودش نورانی می‌شود؛ و نوری که از آن خارج و بر زمین گسترده می‌شود، نور خود اوست؛ و رنگ نورانی‌ای که از آن دیده می‌شود؛ منحصراً رنگ خود اوست؛ همان گونه که از اجسام منیر از خود نور ساطع می‌کنند.»

بخش چهارم

استدلال‌های هندسی ابن هیثم بر صیقلی نبودن سطح ماه

پیش از پرداختن به استدلال‌های هندسی ابن هیثم، چون او پس از بیان قضایایی از هندسه در مورد تصویر در آینه‌های کروی محدّب؛ به بیان قضایایی پرداخته است؛ که درک آنها نیازمند فهم دیدگاههای نجومی اوست که مبتنی بر نجوم بطلمیوس است؛ خصوصاً آن که ابن هیثم بسیاری از اندازه‌های نجومی و یا شاید همه آنها را از مجسطی بطلمیوس گرفته است. لازم است به اختصار به برخی از مسائل نجومی و تفاوت‌ها در تلقی از ساختار فضا توجه کنیم.

امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی، بشر توانسته است فرضیات خویش را در مورد شناخت کیهان منقّح ساخته و در گذر زمان نظریات گوناگونی را به محک آزمایشات دقیق علمی بزند؛ و اصلاحاتی اساسی را در برداشت خود از ترکیب جهان و ساختار نجومی عالم ارائه نماید. هرچند که هنوز نیز نظریه‌ای که قطعاً بتواند مدعی ارائه تصویر واقعی از جهان باشد، وجود ندارد. نظریه انفجار بزرگ (Big Bang)، آخرین نظریه نجومی‌ای است؛ که تا کنون در مقابل تجربیات ابطال مقاومت کرده است، و قرائن تجربی در موارد متعدّد حکم به صحّت آن داده است.

بر مبنای این نظریّه، جهان در ابتدا مولکولی بسیار چگال بوده است، که این مولکول در لحظه صفر زمان با انفجاری بزرگ، از درون منفجر شده، و پس از آن ساختار کنونی فضا مرکّب از ابعاد مکانی و بعد از زمان شکل یافته است. در این نظریه هیچ نقطه مشخصی از فضا به عنوان مرکز جهان یا مرکز کیهان به شمار نمی‌آید. بر این مبنا فضا پس از انفجار بزرگ اوّلیه همچنان در حال گسترش است؛ و درباره محدوده کیهان نیز این نظریه پاسخی در دست ندارد. قرائن و شواهد آزمایشگاهی فراوانی در دست است؛ که فرضیات این نظریه را مورد تأیید قرار می‌دهد. و لذا تا جایی که امکانات بشری اقتضا دارد؛ این نظریه تاکنون جای خود را به نظریات دیگر نداده است.

اما آنچه بشر امروزه از نظریات کیهان شناختی در دست دارد، حاصل تحولات شگرفی است که در طی قرون گذشته ایجاد شده است؛ گذر از تلقیات جهان شناختی بر مبنای زمین مرکزی و خورشید مرکزی دو نقطه عطف در این تحولات بزرگ به شمار می‌آیند.

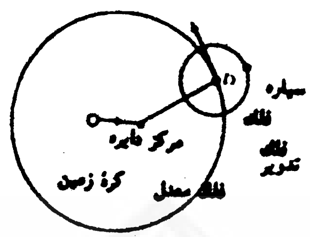
هیأت بطلمیوسی با نظریه زمین مرکزی:

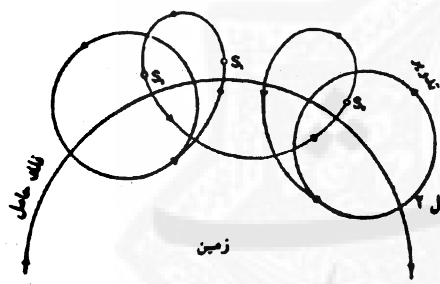
بر مبنای نظریه زمین مرکزی، جهان مرکّب از کرات هم مرکزی است، که کوچکترین آنها در مرکز جهان واقع است، کره زمین است، و مرکز کره زمین در واقع مرکز عالم نیز محسوب می‌شود. هر یک از اجرام آسمانی دیگر، بر روی مدار که در این ساختار نجومی از آن به «فلک» تعبیر می‌شود، در اطراف زمین در گردش است. اگر از فلک خورشید به دور زمین، آغاز کنیم، پس از آن فلک ماه است و مطابق با اندیشه این هیأت، در حد فاصل بین فلک‌های ماه خورشید ماده‌ای بدون رنگ، بو و اثر به نام «اتر» یا «اثیر» قرار دارد. تصور اثیر برای این بوده است که با تصور خلأ مقابله شود؛ زیرا جهان را از خلأ متنفر می‌دانسته‌اند؛ و بر همین اساس هیچ نقطه‌ای از جهان خالی تصور نمی‌شده است.

درست نقاط زیرین فلک ماه فلک هوا یا فلک آتش قرار دارد. آتش در این تعبیر همان هواست که در مجاورت فلک بالاتر و به دلیل گردش آن فلک و اصطکاک با هوا باعث گرم شدن و در نتیجه سوختن هوا و تولید آتش می‌شود.

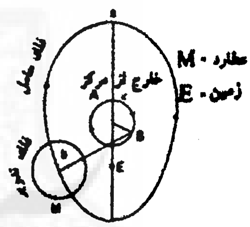
پس از فلک هوا؛ به مرکز عالم می‌رسیم، که منطبق بر مرکز زمین است. البتّه مراکز افلاکی که اجرام بر روی آنها حرکت می‌کنند، دقیقاً منطبق بر مرکز زمین نیست. و اولین کسی که به صورت مدوّن در این باره کار کرده است، کلودیوس بطلمیوس (۱۰۰ تا ۱۷۸ پس از میلاد)، است؛ که منجی اسکندرانی بوده است، ترکیبی دائره المعارف گونه از نجوم یونان درکتاب اصلی او المجسطی جمع آمده است، ترکیبی که با رصدها و مشاهدات تازه خود او تکمیل شده است. او توانست با استفاده از

فلک‌های معدّل[۴۲]، به همراه فلک‌های حامل[۴۳] و تدویر[۴۴] حرکت سیّارت را در دایره البروج با دقّت کافی محاسبه نماید[۴۵]





شکل ۲



شکل ۱

ابن هیثم استدلال‌های نورشناختی خود را مبتنی بر پذیرش این ساختار نجومی عرضه می‌دارد. بر این مبنا نور هنگامی که از خورشید خارج می‌شود؛ یا به سمت خورشید می‌رود؛ در محیط اتر که متعلّق به عالم افلاک و در نتیجه همگن و متشابه الاجزاست؛ شکسته نمی‌شود. اما پس از عبور از فلک ماه و وارد شدن به فلک هوا که مربوط به عالم تحت فلک قمر است؛ و در نتیجه یکنواخت نیست؛ شکسته می‌شود؛ و پس از شکست تدریجی درکره هوا به زمین می‌رسد، البته ابن هیثم برای راحتی انجام محاسبات هندسی، از شکست‌های متوالی نور صرف‌نظر و تنها یک

۴۲. فلک معدل (equant).

۴۳. فلک حامل (Deferent) بیضی یا دایره فرضی برگرداگرد زمین که بر روی محیط آن، هم یک جسم آسمانی و هم فلک تدویر آن، حرکت می‌کند.

۴۴. فلک تدویر (Epicycle) دایره‌ای که مرکزش بر روی دایره بزرگ‌تری حرکت می‌کند.

۴۵. لازی، جان، درآمدی تاریخی به فلسفه علم، ترجمه علی پایا، مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۱۳۶۲.

شکست هنگام وارد شدن به کرده هوا را منظور می‌نماید.

ابن هیثم به طور کلی دو حالت را به شکست نوری که از ماه به زمین می‌تابد در نظر می‌گیرد:

الف) مطابق شکل (۱)، نور پس از برخورد به ماه، وارد کره هوا شده و به زمین می‌رسد، و این مربوط به حالتی است که ماه در فضای بین زمین و خورشید واقع شده است.

ب) مطابق شکل (۲)، نور وارد کره هوا شده، شکسته شده و پس از شکست مجدّد، در هنگام خروج از کره هوا به کره ماه برخورد می‌کند؛ و پس از تابش نور از ماه، دوباره هنگام ورود به کره هوا شکسته می‌شود، و به زمین برخورد می‌کند.

پیشتر بیان کردیم که؛ روش‌شناسی ابن هیثم مبتنی بر این اصل است؛ که هر استدلال منطقی و فیزیکی را با استدلالی از هندسه ـ که یک علم قطعی است ـ پشتیبانی نماید. از نظر او مبنی بر این که ماه کروی محدّب است، و هیچ شکلی غیر از این نمی‌تواند داشته باشد نیز آگاه شدیم. حال با پذیرش این که ماه کروی محدّب است، به سراغ دلایل هندسی ابن هیثم می‌رویم، که او براساس آنها بر آن است که، سطح ماه صیقلی نیست و در نتیجه بازتابنده نور نیست.

می‌دانیم که تصویر در آینه محدّب کروی کوچکتر از جسم است؛ و این آینه سطحی کروی محدّب است؛ که صاف و صیقلی است، بنابراین اگر سطح ماه صیقلی باشد، باید آنچه که از سطح ماه دیده می‌شود، تصویری در آینه کروی بوده و بسیار کوچک‌تر از اندازه فعلی آن باشد.

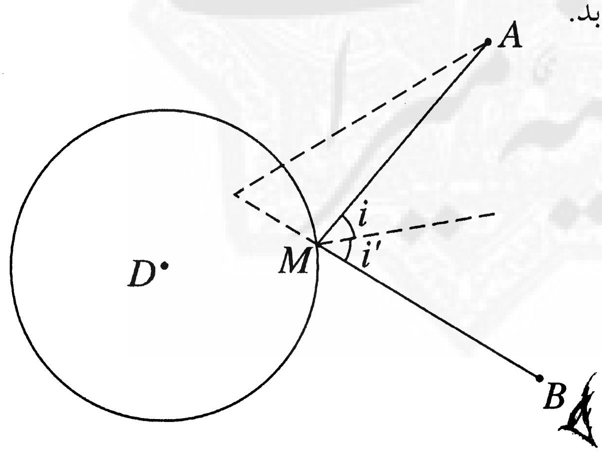
او ابتدا به اثبات چندین حکم در مورد آینه‌های کروی محدّب می‌پردازد؛ و آن گاه به ابتنای مباحث خود بر برخی قضایای فلکی هیأت بطلمیوسی و اندازه‌هایی که بطلمیوس در کتاب مجسطی آورده است، به تعیین محدوده، طول و عرض سطحی از ماه به صورت نورانی دیده می‌شود، بسیار بیشتر از آن چیزی است که در این محاسبات با فرض بازتابنده بودن سطح ماه به دست می‌آید، بنابراین سطح ماه

به عنوان یک سطح صیقلی که تنها بازتابنده نور باشد محسوب نمی‌گردد.

این استدلال‌ها به ترتیب در زیر بیان می‌شوند. برخی از این استدلال‌ها مقدمات استدلالهای دیگرند. پیش از پرداختن به استدلال‌های هندسی، لازم است نقطه انعکاس آن گونه که مراد ابن هیثم از این تعبیر است، تعریف شود.

نقطه انعکاس

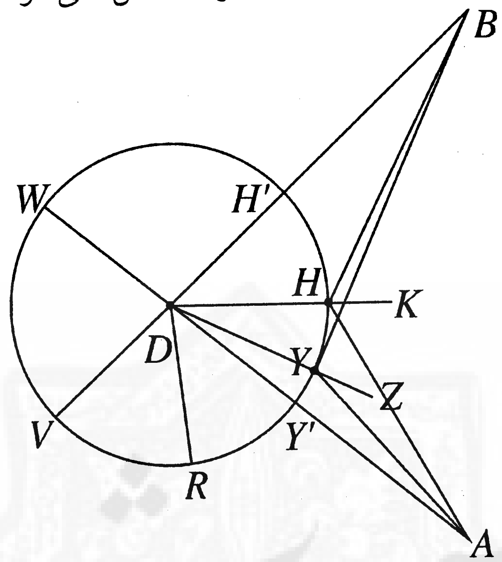
اگر دو نقطه A و B را در مقابل یک سطح بازتابنده داشته باشیم؛ و پرتوی از یکی از آن دو نقطه بگذرد و به نقطه‌ای مانند M بر روی سطح بازتابنده برخورد کرده و پس از بازتابش از نقطه دیگر بگذرد؛ ابن هیثم دو نقطه A و B را «دو نقطه متعاکس» یعنی دو نقطه عکس یکدیگر می‌نامد؛ و نقطه M را نقطه انعکاس نام می‌نهد؛ و در برخی اوقات از آن نقطه‌ای تعبیر می‌کند؛ که از آن نقطه یکی از نقاط مفروض به سمت نقطه دیگر بازمی‌تابد.



قضیّه ۱

دو نقطه مفروض در مقابل یک سطح کروی محدّب تنها از یک نقطه بر روی سطح، به سمت یکدیگر منعکس می‌شوند. و یا به بیان ابن هیثم: بین دو نقطه بیش

از یک خطّ بر دو زاویه مساوی از محیط دایره منعکس نمی‌شود.



بـرهـان

A و B دو نقطه متعاکس، و D مرکز آینه است. از هر یک از این دو نقطه خطّ مستقیمی رسم می‌کنیم؛ که از مرکز دایره عبور می‌کند؛ یکی BHV است؛ که دایره را در دو نقطه H و V قطع می‌کند، و دیگری AYW است، که دایره را در دو نقطه Y و W قطع می‌کند، H نقطه انعکاس است. برای اثبات این که انعکاس از نقطه دیگری ممکن نیست، فرض می‌کنیم این دو نقطه، از نقطه دیگری مانند Y نیز منعکس می‌شوند. DH و DY را رسم می‌کنیم؛ داریم: (طبق قانون بازتابش):

BHD = AHD :بنابراین AHK = BHK

طریقه مشابه: BYD = AYD و BYD < BHD و بنابراین: BYD < AHD و همچنین: AYD < AHD و این محال است زیرا: AYD > AHD

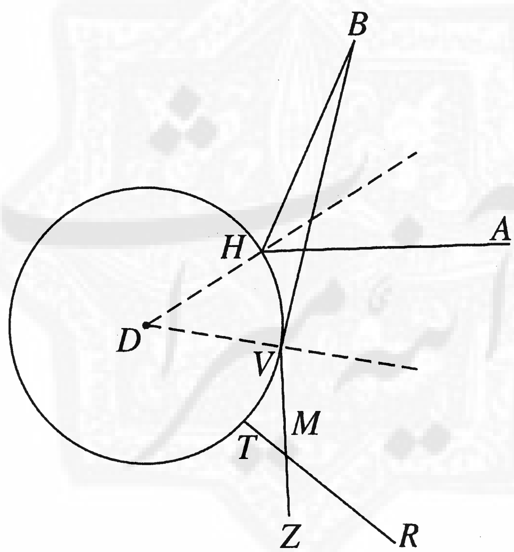
پس نقاط A و B از بیش از یک نقطه به سمت یکدیگرمنعکس نمی‌شوند، و آن نقطه نیز نقطه H است.

ابن هیثم از این قضیه نتیجه گیری می‌کند؛ که اگر از دو نقطه متعاکس یکی نقطه‌ای نورانی باشد، و در نقطه دیگر چشم قرار داشته باشد؛ چون محال است که دو نقطه

متعاکس از بیش از یک نقطه منعکس شوند، پس محال است که چشم با انعکاس از سطح آینه کروی محدّب، بیش از یک تصویر از نقطه مذکور داشته باشد.

قضیّه ۲

هرگاه از محدّب محیط دایره‌ای، دو خطّ مستقیم از دو نقطه به یک نقطه انعکاس یابند؛ هر نقطه‌ای که بین آن دو نقطه و بر قوسی غیر از قوس محدود به دو نقطه انعکاس دو خطّ، قرار داشته باشد، به آن نقطه انعکاس نمی‌یابد.



برهان

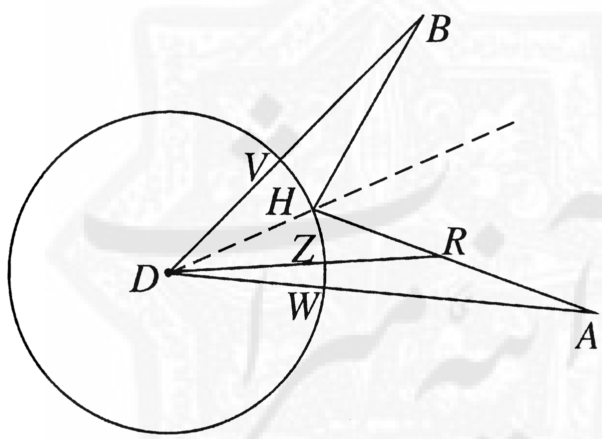
دو خط AH و ZV از نقاط H و V به نقطه B انعکاس یافته‌اند، و منظور ما این است که نقطه R که بین دو نقطه A و Z است، چون بر قوس HV قرار ندارد، به نقطه B انعکاس نمی‌یابد. ابن هیثم با برهان خلف بیان می‌دارد که:

فرض می‌کنیم که R از نقطه‌ای مانند T که بر آن قوس قرار ندارد به نقطه B انعکاس پیدا می‌کند و خطّ واصل R به T؛ ZV را در نقطه‌ای مانند M قطع می‌کند. نقطه M بنابه فرض، از T به B منعکس می‌شود، همچنین چون بر روی ZV است، از

V به B منعکس می‌شود، و این ناممکن است.

قضیّه ۳

هنگامی که از محدّب محیط دایره خطّی بین دو نقطه انعکاس یابد، و این خطّ دارای دو بخش مختلف باشد، نقطه انعکاس، قوسی را که بین خطوط مستقیم از دو نقطه به مرکز وجود دارد، به دو بخش تقسیم می‌کند، که بخش بزرگتر این قوس به سمت بخش بزرگتر خطّ منعکس است.



برهان

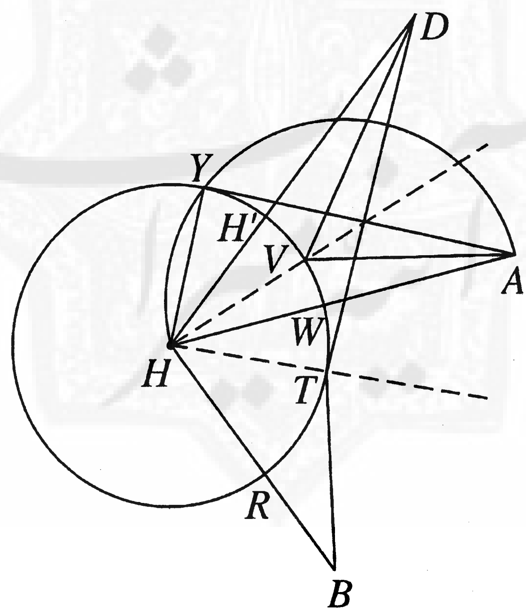
H نقطه انعکاس است، و خطّ منعکس بین نقاط A و B نیز AHB است، و AH از HB بزرگتر است، و D مرکز دایره است. AD محیط دایره را در W، و RD آن را در Z، و BD آنرا در V، قطع می‌کند؛ HR را از AH به اندازه BH جدا می‌کنیم. به راحتی ثابت می‌شود که: HDV = HDZ او چون RH < AH پس: HDZ < HDW و بنابراین HDW > HDV و در نتیجه کمان HW از کمان HV بزرگتر است.

قضیّه ۴

هر دو نقطه‌ای که در فاصله‌های مساوی از مرکز دایره‌ای باشد، و از محدّب

محیط دایره به نقطه سومّی باز بتابد، کمانی که بین خطوط و اصل از آن دو نقطه به مرکز ایجاد می‌شود، بزرگتر از کمانی است که دو نقطه انعکاس ایجاد می‌کنند.

برهان: بر طبق آنچه در قضیه پیشین گفته شد، نقطه انعکاس B به D حتماً بر روی کمان HWR قرار دارد. همچنین نقطه انعکاس B به D، نقطه H نیست؛ همچنین نقطه R نیز نیست. نقطه V یا نقطه‌ای بین H و V نیز نمی‌باشد. و امّا نقطه‌ای است، بر روی قوس VR بین دو نقطه V و R. امّا نقطه T را داریم، که همان گونه که از شکل پیداست، فاصله آن از H بیش از فاصله‌اش از V است، واضح است که دو زاویه DVH و DTH منفرجه هستند، و به سادگی ثابت می‌شود که: DTH < DVH



و: DVH = AVH و: DTH = BTH و بنابراین: AVH > BTH

پس چون بر وتر AV قوسی از دایره‌ای رسم کنیم، که زاویه‌ای مساوی با زاویه BTH را می‌پذیرد. این قوس محیط دایره اوّل را در نقطه‌ای مانند Y قطع مـی‌کند، به‌طوری که فاصله آن از W بیش از فاصله آن از V است و چون AY و YH را رسم

کنیم نتیجه می‌گیریم: AYH = BTH و در دو مثلث BTH و AYH، دو زاویه T و Y که منفرجه هستند با هم مساویند و: (شعاع دایره هستند) HT = HY و بنابه فرض: BH = AH بنابراین دو مثلث BTH و AYH متشابه هستند. بنابراین:

AHY = BTH و AHY > AHV و بنابراین: BHT > AHV

پس هرگاه هر یک از آنها به اندازه زاویه THA افزایش یا کاهش یابد، ثابت می‌شود که زاویه BHA بزرگتر از زاویه THV است، و بنابراین قوس RW بزرگتر از قوس TV است.

قضایای هندسی فلکی

قضایای یاد شده، مقدّماتی هستند، که ابن هیثم از آنها برای حلّ مسائل هندسی مربوط به نور ماه استفاده می‌کند.

همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید، نظر ابن هیثم در مورد چگونگی تابش نور ماه به زمین، مخالف دیدگاه ریاضیدانان است، که معتقدند نوری که از ماه به زمین می‌رسد، نور خورشید است که ماه به منزله یک سطح صاف و صیقلی آنرا بازتابش می‌دهد. او بر این اساس به تحدید حدود سطح نورانی ماه با این فرض که ماه بازتابنده نور خورشید است، می‌پردازد؛ و با براهین هندسی مساحت محدوده نورانی ماه، در صورت بازتابش نور از سطح آن را، مشخص می‌کند، و ثابت می‌کند که آن بخش کوچکی از سطح ماه است، و نه اندازه‌ای که ما اکنون از سطح ماه به صورت نورانی مشاهده می‌کنیم. تا در آخر نتیجه‌گیری نماید که ماه سطح صیقلی‌ای که تنها بازتابنده نور خورشید باشد، نیست.

او در ابتدا به بررسی وضع ماه نسبت به زمین و خورشید می‌پردازد؛ آنگاه مساحت؛ عرض و طول این سطح را تعیین می‌نماید.

تعیین وضع ماه نسبت به زمین و خورشید

ابن هیثم در این مقاله، بزرگترین مساحتی از سطح ماه راکه نور خورشید می‌تواند از آن، به نقطه‌ای بر روی زمین بتابد، اندازه‌گیری می‌کند؛ و با برهان ریاضی اثبات می‌کند؛ که آن بخش کوچکی از سطح ماه و نه به اندازه‌ای است، که ما از سطح نورانی ماه مشاهده می‌کنیم.

او معتقد است: آنها که می‌گویند نوری که از ماه بر زمین می‌تابد نور منعکس شده خورشید از سطح ماه است، و با قانون بازتابش سازگاری دارد، اشتباهی کرده‌اند که باید تصحیح شود.

یکی از ویژگی‌های روش ابن سینا این است که در هر موردی از بحث فرضهای خود را با نهایت دقت و با معین کردن محدوده هر فرض بیان می‌دارد. به همین دلیل به بررسی وضعیتی می‌پردازد که در آن امتداد پرتوهای مستقیماً تابیده از مرکز ماه به زمین خورشید را قطع نمی‌کنند، اما مهمّ این است، که او به این فرض قانع نیست؛ و به توضیح شرط لازم برای این بحث می‌پردازد، و به توضیح نیز اکتفا نمی‌کند، و به ارائه اثبات هندسی در این رابطه می‌پردازد.

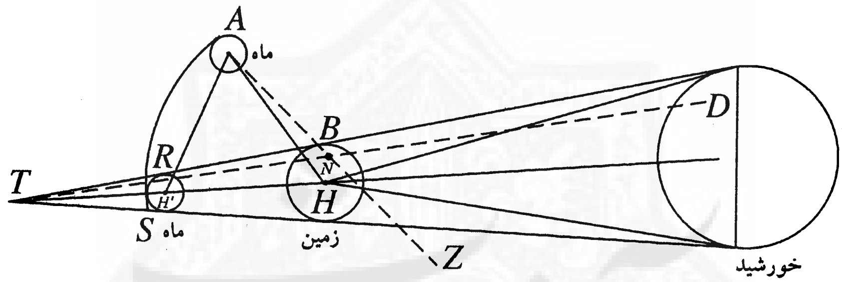
او با بیان زیر به شرح قضیّه‌ای هندسی ـ فلکی می‌پردازد:

هر خطّی که از مرکز ماه به سمت نقطه‌ای از نقاطی که بر سطح زمین، یا مماسّ با آن است، خارج شود، اگر ماه در بالای افق این نقطه یا بر روی آن، قرار داشته باشد، و فاصله مرکز آن از نقطه مقابل مرکز خورشید، از دایره عظیمه‌ای که از مرکز ماه و خورشید می‌گذرد؛ کمانی باشد که اندازه آن از اندازه کمانی که نصف قطر دایره الظِّلّ و همه قطر خورشید وتر آن است، کمتر نباشد، این خطّ اگر مستقیم خارج شود؛ به چیزی از جرم خورشید برخورد نخواهد کرد.

شاید در نگاه اول درک گفته او کار آسانی نباشد؛ به همین دلیل ابتدا به توضیح آن می‌پردازیم. منظور او از دایره عظیمه‌ای که از مرکز خورشید و ماه می‌گذرد؛ دایره‌ای است که خط راستی که از مرکز خورشید؛ ماه و زمین می‌گذرد بر روی آن،

کره آسمان را قطع می‌کند. و اصولاً هر دایره‌ای که عالم را نصف کند؛ دایره عظیمه نامیده می‌شود. و منظور او از فاصله بین دو نقطه بر روی قوس از محیط دایره زاویه‌ای است؛ که دو نقطه مذکور در مرکز این دایره ایجاد می‌کنند.

دایره مماسّ نیز محلّ برخورد مماسّ زمین با کره فلک ماه است و اعتبار مسیر حرکت ماه در اطراف زمین محیط دایره عظیمه در کره‌ای که مرکز آن مرکز زمین (یا مرکز کره آسمان) است و شعاع آن فاصله مرکز ماه از مرکز زمین است.



H مرکز زمین و A مرکز ماه است؛ و راستای شکل راستای مراکز و زمین است. T راس مخروط مماسّ است و فلک ماه در اطراف زمین کره‌ای به مرکز H و شعاع HA است؛ و این کره مخروط مماسّ را بر روی دایره قطع می‌کند؛ که مرکز آن H′ است؛ و نقطه S نقطه دلخواهی بر روی محیط آن است، و شعاع این دایره HS است؛ و H نقطه‌ای از مخروط در مقابل خورشید است. اگر زاویه AHH کوچکتر از زاویه‌ای که قطر خورشید در نقطه H ایجاد می‌کند نباشد؛ و زاویه SHH که شعاع دایره مماسّ در نقطه H می‌سازد؛ به آن اضافه شود پس خطّ مستقیمی که از A به نقطه‌ای بر روی زمین یا مماسّ بر آن مانند B می‌رسد؛ یا در مکان‌هایی که شب آن را می‌پوشاند؛ اگر این خط مستقیماً امتداد یابد به خورشید برخورد نمی‌کند.

برهان

HB را رسم می‌کنیم و از BT؛ BR را مساوی BA جدا می‌کنیم امتداد TB خورشید

را در D قطع می‌کند؛ زیرا این نقطه داخل مماس است. واضح است که هنگامی که ماه در نزد افق نقطه B باشد AB به کره زمین مماس است؛ و زاویه ABH قائمه است؛ اما هنگامی که ماه بالای افق B باشد؛ زاویه ABH منفرجه است؛ و هر دو حالت: $AH > HB$ و نقطه B در مماس فرض شده است؛ پس زاویه RBH کوچکتر از قائمه نیست پس: $RH > RB$

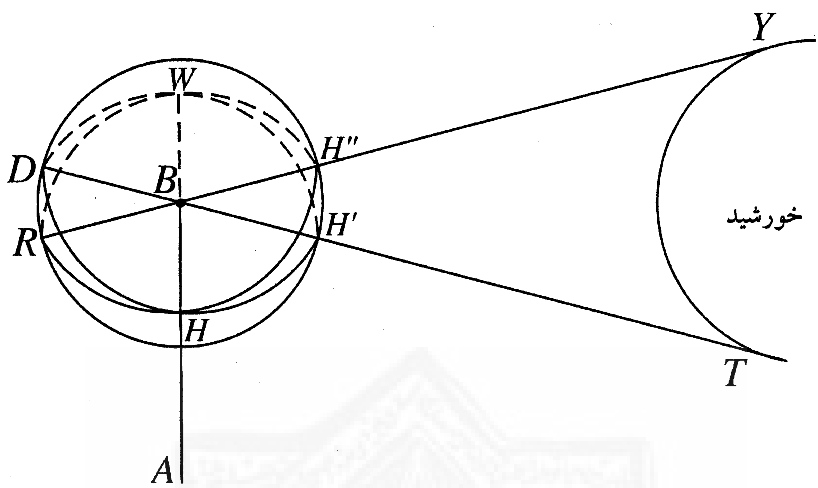
و چون $AB = BR$ و هر دو از AH کوچکترند و قاعده دو مثلث AHR و ABR یکی است؛ و آن هم AR است پس: $ABR > AHR$

و اما زاویه AHH از مجموع زاویه SHH و زاویه قطر خورشید در نقطه H می‌سازد؛ بزرگتر است بنابراین: (زاویه قطر خورشید در H) $< AHH - SHH$

و: $AHR > AHH - SHH$ برای این که BR داخل در دایره مخروط است؛ بنابراین زاویه ABR بسیار بزرگتر از زاویه‌ای است که قطر خورشید در نقطه H می‌سازد و چون AB را تا نقطه Z امتداد دهیم؛ و فرض می‌کنیم که در نقطه Z با خورشید برخورد می‌کند، زاویه BDZ از زاویه‌ای که قطر خورشید در H می‌سازد؛ بسیار بزرگتر است؛ و چون به خورشید برخورد می‌کند؛ و DZ از قطر خورشید بزرگتر است و این تناقض است. بنابراین امتداد AB به خورشید برخورد نمی‌کند.

قضیه

تعیین محدوده‌ای از سطح ماه که امکان انعکاس نور خورشید از آن سطح به طرف زمین وجود دارد. ابن هیثم با استفاده از این برهان که امتداد خط مستقیم واصل از مرکز ماه به زمین در همه حال خورشید را قطع نمی‌کند؛ به تعیین اندازه بخشی از ماه که بازتابش از آن صورت می‌گیرد می‌پردازد.



بـرهـان

نقطه B مرکز ماه است و وضعیت مفروض بر روی زمین را با A نشان داده‌ایم و فرض می‌کنیم که چون خطّ مستقیم AB را رسم کنیم؛ به ماه برخورد نمی‌کند؛ و دو خطّ مستقیم را رسم می‌کنیم که از خطّ مستقیم AB مـی‌گذرند؛ و از دو طـرف بـر خورشید مماسّ می‌شوند. یکی از آن دو بر روی دایره DHHWD و دیگری بر روی دایره DHHWR به ماه برخورد می‌کنند؛ و محیط‌های این دو دایره بر روی نقاط H و W به هم برخورد می‌کنند و نقاط AHBW بر روی یک خط راست هستند؛ پس هر نقطه‌ای از سطح خورشید که امکان انعکاس آن بر A وجود داشته باشد (بر طبق قانون بازتابش)؛ این که بازتاب آن بر راستای عمود بر سطح ماه باشد، یا بر راستایی که از خط AB می‌گذرد؛ و این نقطه بر آن است. در این حالت مساحتی کـه نـور خورشید می‌تواند از آن نقطه به A بازتابد، مساحت قطعه‌ای از سطح ماه است؛ که محدود به راستای دو دایره یاد شده است و چون خورشید بنا به فرض در یکی از دو طرف AB واقع است؛ پس باید در طرف قطعه HHWHH بـاشد؛ و از B خـط مستقیم BT را در راستای دایره HHW مماسّ با خورشید رسم می‌کنیم، به نحوی که محیط دایره را در H قطع کند؛ و همین طور از B خط مستقیم BY را رسم می‌کنیم؛ در

راستای HH؛ به نحوی که مماس با خورشید باشد و در نقطه H با محیط دایره برخورد کند. از مقدمات روشن می‌شود؛ که نقطه بازتابش T به سمت A حتماً بر روی کمان HH است؛ و همین طور نقطه انعکاس Y به سمت A حتماً بر روی کمان HH است؛ و به طریق مشابه هر نقطه دیگری مانند K را که بر سطح خورشید در نظر بگیریم؛ آن نقطه، از نقطه‌ای بر سطح ماه بازتابش می‌یابد که بر دایره عظیمه‌ای واقع است که یک طرف آن نقطه برخورد خطّ واصل از K به سمت مرکز ماه به سطح آن است، و طرف دیگر آن نقطه برخورد خط واصل از A به سمت مرکز ماه به سطح آن است، و امکان ندارد که نقطه انعکاس بر غیر از این کمان واقع باشد؛ و بر این اساس بازتابش نور خورشید از سطح ماه به نقطه A بر روی زمین تنها از قطعه‌ای از سطح ماه است؛ که بین دو راستای HHW و HHW در دو طرف خورشید است.

قضیه

اندازه عرصه مساحتی که امکان انعکاس از سطح آن وجود دارد.

ابن هیثم برای تعیین عرض مساحتی که نور از آن بازمی‌تابد نقاطی از خورشید را که مطابق شکل بین دو خطّ مستقیم BT و BY است در نظر می‌گیرد.

اگر فاصله بین دو مرکز ماه و خورشید در نزد مرکز زمین زاویه‌ای بسازد که از قائمه کمتر نباشد (معنای فلکی این سخن این است که ماه در اوقات استقبالات یا تربیعات است یا این که بیش از نصف وجه آن پر از نور است). پس از هر یک از دو زاویه‌ای که TB و YB در مرکز زمین می‌سازند؛ کمتر از یک زاویهٔ قائمه نیست؛ و هر یک از دو خط TB و YB بزرگتر از هر دو خطّ واصلی است؛ که از هر نقطه فرضی از خورشید به مرکز زمین می‌رسد.

شعاع ماه را با R و شعاع زمین را با F نشان می‌دهیم؛ و به محاسبات ابن هیثم در این رابطه می‌پردازیم که او نیز این محاسبه خود را به آنچه بطلمیوس در مجسطی آورده است؛ متکی کرده است.

اولاً) $F = 3.4R$

ثانیاً) فاصله خورشید از زمین = $1200F$

ثالثاً) قطر خورشید = $37.6R$

بنابراین: فاصله خورشید از زمین = $1200 * 3.4R < 4000R$

و بنابراین نسبت R به BT کمتر از ۲۵ صد هزارم

پس اگر قطر خورشید ۴۰۰۰ باشد قطر ماه ۲۱۰ است. (که البته با مقادیر داده شده این نسبت بین ۲۱۲ و ۲۱۳ است). پس اگر خط دارای مقدار ۳۴ دقیقه است (که البته این مقدار در مقاله ضوءالقمر ۲۴ ذکر شده است که قطعاً اشتباه است و به احتمال زیاد این اشتباه از ناسخ می‌باشد).

لازم به یادآوری است که ابن هیثم از مقادیر ذکر شده در مجسطی بطلمیوس استفاده کرده است و نسبت فاصله خورشید از زمین به شعاع زمین و همین‌طور نسبت قطر خورشید به قطر ماه در آن‌جا تقریباً ۰/۰۵ این نسبت‌ها در محاسبات امروزی است، اما چون این خطا در هر دو طرف یکسان است در نتیجه‌ای که ابن هیثم به دست آورده است خطایی وجود ندارد.

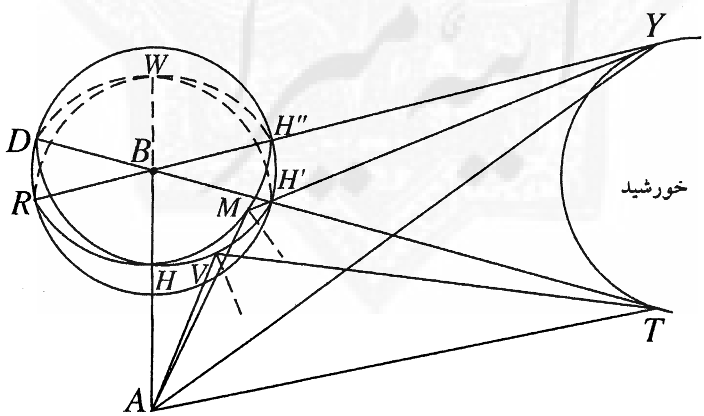
تعیین اندازه عرض مساحتی که بازتابش از آن سمت زمین صورت می‌گیرد.

اگر نقطه بازتابش T به سمت A را بر روی کمان HH با حرف L نشان دهیم و چون T از سطح کروی منعکس کننده به A دورتر است؛ مطابق آنچه از قبل می‌دانیم نقطه L کمان HH رابه دو بخش تقسیم می‌کند که بخش کوچکتر آن به سمت H است و بنابراین طول کمان HL کوچکتر از نصف طول کمان HH است و همین‌طور اگر نقطه بازتاب Y به سمت A را از کمان HH با حرف M نشان دهیم؛ طول کمان HM از نصف طول کمان HH کمتر است.

دو مثلث ABT و ABY به دلایل زیر متشابه هستند: AB در هر دو مشترک است و $BT = BY$ است زیرا هر دو مماسهای بر کره خورشیدند. پس زاویه $HBH = HBH$ و کمانهای $HH = HH$ و دو نقطه L و M در نقاطی با وضعیت یکسان بر روی دو

کمان هستند؛ و چون HLکمتر از نصف HHاست HMنیزکمتر از نصف HHاست و بر حسب محاسبه ابن هیثم کمان LMکمتر از ۱۷ دقیقه است. و هر نقطه دیگری مانند Kکه بر روی خورشید بین دو راستای BT و BY در نظر گرفته شود آن نقطه نیز به نقطه A بازتابش می‌یابد بر روی کمانی که محدود است به نقطه برخورد K به B و به H و زاویه‌ای که این کمان در نقطه B ایجاد می‌کند مساوی با زوایایی که هر یک از کمان‌های HH و HH در نقطه B ایجاد می‌کنند و طول این کمان برابر با طول هر یک از آن کمان‌هاست و نقطه بازتاب نیز وضعی شبیه همان نقاط L و M از آن دو کمان دارد پس بنابراین بر روی کمان LM از دایره عظیمه‌ای است که بر کره ماه است.

بنابراین نقاط بازتاب همه نقاطی از سطح خورشید که بین راستاهای خطوط BT و BY باشند؛ بر روی کمان LM است و از دو طرف این کمان تجاوز نمی‌کند؛ پس بنابراین کمان LM عرض محدوده‌ای است، که نور خورشید می‌تواند از آن نقطه به نقطه‌ای بر روی زمین بازبتابد.

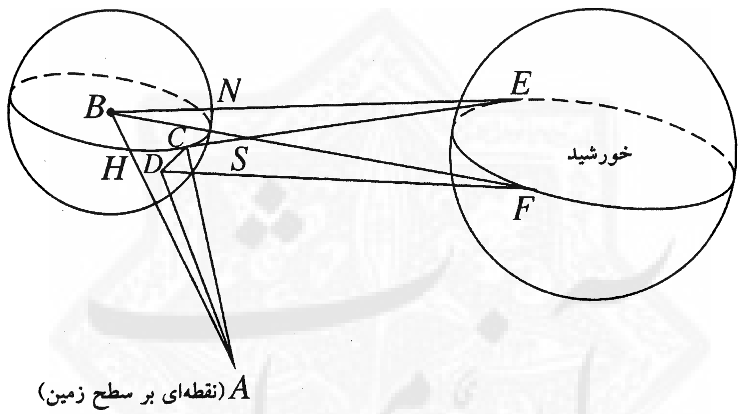


اندازه طول مساحتی از سطح ماه که نور خورشید می‌تواند از آن بازبتابد

برای به دست آوردن طول این مساحت خط مستقیم AB را رسم می‌کنیم؛ تا کره ماه را بر روی محیط عظیمه NSH قطع کند (شکل ۹) و در این راستا BE و BF را که از

دو طرف بر خورشید مماس هستند؛ رسم می‌کنیم اولی محیط دایره را بر روی N و دومی بر S قطع می‌کند؛ و همان‌گونه که در حالت قبل معین شد؛ کمان NS کمتر از ۳۴ دقیقه است؛ پس اگر زاویه ABE بزرگتر از زاویه ABF باشد؛ چون BE = BF است؛ از قضایای گذشته روشن می‌شود؛ که نقطه بازتاب E به A دورتر از نقطه بازتاب F به A است که اولی C و دومی D است؛ همچنین به طریق مشابه روشن می‌شود که CD کوچکتر از NS است؛ و بنابراین هر نقطه‌ای که بین دو خط BE و BF باشد و به A بازتاب یابد، از نقطه‌ای بر روی کمان CD انعکاس می‌یابد؛ و بنابراین نقاط بازتاب همه نقاطی از خورشید که بین دو خط BE و BF هستند؛ بر روی کمان CD است و از دو طرف آن تجاوز نمی‌کند؛ بنابراین این کمان CD محدوده طول مساحتی است؛ که انعکاس نور خورشید به زمین می‌تواند از آن صورت گیرد و طول آن از ۳۴ دقیقه تجاوز نمی‌کند. با این بیان ابن هیثم اثبات می‌کند که در اوقات استقبالات و تربیعات هرگاه خط مستقیم واصل از مرکز ماه به نقطه‌ای مثل A از سطح زمین یا مماس با آن باشد که به خورشید برخورد نکند؛ مساحتی از سطح ماه که نور خورشید می‌تواند از آن به نقطه‌ای مانند A بازبتابد؛ مساحت اندکی است؛ که طول آن از اندازه کمانی که در مرکز ماه زاویه‌ای به اندازه ۳۴ دقیقه‌ای ایجاد می‌کند بزرگتر نیست؛ و عرض آن نیز از زاویه‌ای بیش از ۱۷ دقیقه در مرکز ماه ایجاد نمی‌کند. پس اگر نوری که به زمین می‌تابد؛ به طریق بازتابش باشد؛ و از قوانین بازتابش تبعیت کند در نقطه A از ماه چیزی جز همین مساحت کوچک دیده نمی‌شود. در حالی که آنچه واقعاً مشاهده می‌شود؛ غیر از این است. در شرایط استقبال همه ماه نورانی دیده می‌شود و در شرایط تربیع نصف آن روشن دیده می‌شود و بلکه آنچه در آغاز از آن دیده می‌شود؛ و هلالی شکل است کمانی است که طول آن بسیار بیش از اندازه طولی است؛ که ما در اینجا محاسبه کردیم. از این محاسبات معلوم می‌گردد که سطح ماه صیقلی نیست و نور خورشید از طریق بازتابش از سطح ماه به زمین نمی‌رسد.

با قطع نظر از این که چه مقادیری به کار رفته و چه نتایجی به دست آمده است، روش ابن هیثم در این محاسبات مبتنی بر رویکردی کاملاً علمی و اقتاعی است و تمام همت خویش را مصروف این امر کرده است که یافته‌های علمی خویش را به طور کامل خردپذیر سازد و این راه درست اندیشیدن و استدلال کردن و پاسخ گفتن به نیازهای ذهنی و فکری است.



بخش پنجم

رنگ و نگاه ابن هیثم به آن

امروزه می‌دانیم که نور و رنگ هویتی تؤامان دارند و در واقع هر رنگی دارای نور مخصوص به خویش می‌باشد. اگر نور را موجی الکترومغناطیسی بدانیم که در محدوده بسامدی خاصی قرار دارد؛ که سیستم بینایی ما قادر به آشکار سازی آن است؛ خواهیم دانست که این دو امکان تفکیک ندارند. اما پیش از آن که ماهیت موجی نور شناخته شود، یکی از مواردی که همواره برای دانشمندان ایجاد ابهام می‌کرده است، نحوه رفتار نور در رابطه با رنگ‌ها بوده است، آنها می دیده‌اند که نور هنگامی که از منبع خود صادر می‌شود، هویت نورانی دارد اما پس از برخورد با سطح یک محیط ناگهان تغییر وضعیت داده، و سبب آشکار شدن رنگ می‌شده

است، رنگی که با رنگ اولیه نور منبع هیچ نسبتی نداشته است، بسیاری از نظریاتی که در مورد رابطه نور و رنگ ارائه می‌شده است؛ به سبب همین ابهام، دچار نارسایی هستند، در اینجا برای این که این ابهام در فهم متفکران از رنگ بهتر شناسانده شود؛ ابتدا به عنوان شاهد مثال نظر ارسطو به عنوان شاخص فرهنگ یونان باستان و ناصر خسرو به عنوان یکی از فلاسفه عالم اسلامی مورد بررسی قرار گرفته و سپس نظرات ابن هیثم را در مورد رنگ و رابطه نور با آن بررسی می‌کنیم؛ و برخی نقدهای وارد شده بر نظرات او را بیان می‌داریم.

نظر ارسطو درباره رنگ

ارسطو متعلق بینایی راشیء مرئی می‌داند، امّا شیء مرئی در نظر او؛ در اولین معنی رنگ است. مرئی‌های درجه دوم شب‌تاب‌ها هستند. نور فی‌نفسه مرئی نیست؛ بلکه شرط لازم برای مرئی شدن رنگ است. به عبارت دیگر نور فعلیّت برای شفافّیت نامتعیّنی است، که در اجسام شفافی مانند هوا و آب؛ موجود است. ولی رنگها شفافیت‌هایی با حدود متعیّن است، که در اجسام جای دارد و با فاصله از یکی از دو رنگ سیاه و سفید است، هر چه به رنگ سفید نزدیک شود شفاف‌تر، و هر چه به رنگ سیاه نزدیکتر می‌شود، از شفافیت آن، بیشتر کاسته می‌شود. رنگ سفید در نظر ارسطو مبیّن آتش است، که درخشان‌ترین اجسام است، و رنگ سیاه مبین خاک است، که عنصر تاریکی است.

این نگاه ارسطو را می‌توان تلقی جدیدی درباره نور دانست، که نور در آن، قدمی به سوی استقلال از جسم منیر برداشته است؛ زیرا فیثاغوریان معتقد بودند، رنگ همان سطح جسم رنگی است اما ارسطو رنگ را سطح خود جسم نمی‌داند و آن را حدی برای سطح جسم شفافّی که در آن است، می‌پندارد؛ همان طور که شکل را حدی برای جسم؛ از آن حیث که دارای بَعد است، می‌شمارد. ارسطو در این‌جا از ماهیت نور، هیچ بحثی به میان نمی‌آورد؛ زیرا نور را تنها عامل عمل رویت به شمار

می‌آورده است. آنها برای هر یک از حواس متعلقی قائل بوده‌اند، و متعلق حس بینایی نیز رنگ بوده است و برای نور موجودیتی خارجی قائل نبوده‌اند؛ لذا ارسطو در کتاب «درباره نفس»، در مبحث بصر و مبصرات بیشتر به موضوع رنگ می‌پردازد.

نظر ناصر خسرو درباره رنگ ماه

ناصر خسرو معتقد است که رنگ ماه آن است، که ما از آن در وقت کسوف خورشید یا خسوف ماه می‌بینیم. زیرا در این دو حالت خالی از نور است، و آن‌چه ما از آن می‌بینیم، رنگ خود ماه است. بر این اساس، از نظر ناصر خسرو، رنگ ارتباطی با نور ندارد، و سیاهی‌ای که از ماه در هنگام ماه‌گرفتگی یا خورشیدگرفتگی به چشم می‌رسد؛ رنگ واقعی ماه است.

اگرچه ناصر خسرو پس از ابن هیثم به قاهره رفته است، اما گویی از اندیشه‌های نورشناختی وی بی اطلاع بوده است.

اهمیت کار ابن هیثم در این است که نظریات ریاضی رابه واقعیات طبیعی پیوند داده است؛ و از مدل‌های فیزیکی برای توضیح نظریات انتزاعی استفاده کرده است. او سخنی را که برهانی کافی برای آن نداشته باشد؛ بیان نمی‌کند؛ لذا از پیش‌داوری در مورد رنگ ماه پرهیز می‌کند؛ و پس از آن که با براهین مختلف ریاضی و فیزیکی اثبات می‌کند که سطح ماه صیقلی نیست؛ به بحث رنگ ماه می‌پردازد و از براهین قبلی خود در مبحث نور ماه استفاده کرده و نتیجه‌گیری می‌کند که رنگ ماه رنگ نور خورشید نیست؛ که با بازتاب از سطح ماه به چشم رسیده باشد؛ و رنگ اجرام واسطه بین ماه و چشم نیز نمی‌باشد؛ پیش از این که نور ماه را در مقاله «ضوءالقمر» بررسی کنیم؛ به نظرات ابن هیثم در مورد رنگ می‌پردازیم.

انواع اجسام از نظر رنگ

از نظر ابن هیثم اجسام از جهت رنگ به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱ ـ اجسام شفّاف:

او از آنها به اجسام «مشفّه» یاد می‌کند. منظور او اجسامی هستند که نور در آنها نفوذ می‌کند، و او آنها را دارای خاصیتی می‌داند که از آن به «قوه مؤدیه للضوء» (:توان عبور نور) یاد می‌کند. «شفیف» خاصیّتی است که به واسطه وجود آن، نور می‌تواند در این اجسام نفوذ کند. اگر جسمی را بتوانیم کاملاً شفّاف تصوّر کنیم به نحوی که نور در آن نفوذ کند و از آن عبور نماید، این جسم هیچ گونه رنگی نخواهد داشت.

۲ ـ اجسام کدر:

او از آنها به اجسام «کثیفه» تعبیر می‌کند. اجسام کثیفه اجسامی هستند که نور در آنها نفوذ نمی‌کند، ولی دارای خاصیت پذیرش نور هستند که ابن هیثم از آن به «قوه قبول للضوء» (: نور پذیری) یاد می‌نماید، او کدر بودن اشیا را با تعبیر «کثافه» (:کدورت) نام می‌برد؛ که معنایی متّضاد با شفیف دارد. از نظر ابن هیثم نور در تمام اجزای جسم شفّاف نفوذ می‌کند؛ و جسم کدر نور را از خود عبور نمی‌دهد، بنابراین اگر جسم کدری نور را از خویش عبور دهد، به این معناست که به همان میزانی که نور را از خود عبور می‌دهد، شفّاف است.

همچنین جسم شفّاف نور را کاملاً از خود عبور می‌دهد، و به همین دلیل جسم کاملاً شفّاف قابل رؤیت نیست، و اگر جسم شفّافی دیده شود، به دلیل وجود میزانی ازکثافت یعنی کدورت در آن است. چنان که می‌دانیم، ارسطو منکر وجود برای نور است، و نور را تنها محمل فعلیّت یافتن رنگ می‌داند، و حرکت آن را منکر می‌شود، امّا، ابن هیثم برای نور و رنگ وجودهای مجزایی قائل است؛ و این در حالی است که تمام ویژگی‌های آنها را مانند یکدیگر می‌داند، او آن چنان که در مقاله اوّل المناظر بیان می‌دارد، معتقد است رنگ احساسی که چشم آن را ادراک می‌کند؛ چیزی غیر از نور آن است، امّا رنگ، به همراه نور به خطّ راست منتشر می‌شود. وی می‌گوید: «آشکار است که رنگها دارای حقیقتی هستند، و آن صورتی در جسم رنگی است، و چیزی نیست که بین چشم و نور ظاهر شود، بلکه همانند سرخی‌ای

است؛ که در صورت انسان به هنگام خجالت، و یا زردی‌ای که به هنگام ترس، آشکار می‌شود. «او با توضیح بیشتر در این باره می‌کوشد تا آشکار سازد سرخی ناشی از خجالت چیزی غیر از نور است، و به این وسیله تفاوتی را که بین نور و رنگ قائل است توضیح دهد. او در توضیح مقصود خود می‌گوید: «چهره انسان در حالت عادی رنگی ندارد، یعنی در چهره او سرخی مفرطی وجود ندارد، و وقتی خجالت‌زده می‌شود، در چهره او سرخی‌ای پدید می‌آید که قبلاً نبوده است، و این سرخی بر خجالت دلالت می‌کند، و کسی که او را در دو حالت دیده است، می‌داند، که این سرخی در حالت قبل وجود نداشته است؛ همه شرایط حالات اوّل و دوّم برابر است، و برای این سرخی دلیلی جز خجالت متصوّر نیست؛ و خجالت امری که از خارج اعمال شده باشد، یا متعلّق به نور باشد نیست، و متعلّق به ناظری که به این چهره می‌نگرد نیز نمی‌باشد، پس سرخی‌ای که در چهره انسان ظاهر می‌شود صورتی است در جسم آن؛ و نه چیزی که بین چشم بیننده و نور ظاهر شده باشد».

ابن هیثم در این جا به بیانی غیر علمی و فلسفی توسّل می‌جوید، و رنگ را که پدیده‌ای طبیعی است و برای آن باید به دنبال استدلال علمی بود؛ صورتی در جسم می‌شمارد، و برای این تعبیر یعنی «صورت» هیچ توضیح آشکاری نیز ارائه نمی‌نماید، هم مایه شگفتی است، و هم چنان که در ادامه خواهیم دید در راستای تلاش او برای جدا دانستن نور و رنگ است. او در جای دیگری در المناظر بیان می‌دارد: «احتمال دارد که هوا و اجسام شفاف صور رنگی را پذیرا شوند همان گونه که صور نورها را پذیرا می‌شوند، حال خواه نور در مجاورت این رنگ باشد، و خواه نباشد، و امّا تنها آن رنگی که به همراه نور باشد، برای چشم واضح و ظاهر می‌شود، زیرا در صورتی که جسم، نورانی نباشد، چشم قادر به دیدن آن نیست؛ و همچنین احتمال دارد که هوا رنگها را نپذیرد و در خود امتداد ندهد، مگر آن که نور به آن تابیده باشد». البتّه ابن هیثم امتداد رنگها به خطّ مستقیم راحتی در تاریکی مطلق نیز مجاز می‌شمارد.

نظر ابن هیثم در مورد وابستگی نور و رنگ

ابن هیثم به وجود رنگ مستقل از نور، اشاره می نماید امّا احتمال وابستگی رنگ به نور را نیز می‌توان از گفته او استخراج کرد. در مورد بینایی او شرط ملازمت نور و رنگ را می‌پذیرد، و می‌گوید که: اگر جسم در مکانی کاملاً تاریک باشد، و سطح جسم با هیچ نوری روشن نشود، و نوری از سطح آن به چشم نتابد، در این صورت رنگ آن جسم برای چشم آشکار نخواهد شد. ولی در عین حال، این امر را منافی حرکت بر خطّ راست رنگ نمی‌شمارد. او همچنین منکر این مسأله نیست که رنگ یک جسم، با اختلاف مقدار تابش نور به آن، متفاوت می‌شود؛ اگر نور ضعیف باشد، رنگ کدر است، و هر چه شدّت نور بیشتر می‌شود، شدّت تابش رنگ افزایش می‌یابد. ولی او این تفاوت را ناشی از اختلاف رنگ جسم نمی‌داند؛ و آن را مسأله‌ای شخصی و مربوط به شخص ادراک کننده می‌داند، و آن را متعلّق به رنگ جسم نمی‌شمارد. چنان که در مقاله اوّل‌المناظر بیان می‌دارد[۴۶]: «احتمال دارد که چشم، حقیقت رنگ را آن گونه که هست، در نیابد، زیرا او رنگ را به همراه نور در می‌یابد، و ادراک او به همراه اختلاف نوری که به جسم رنگی می‌تابد، متغیّر می‌شود، امّا رنگ دارای حقیقتی است که به واسطه اختلاف درک چشم نسبت به آن باطل نمی‌شود». ابن هیثم یکی از دانشمندان نادر دوران تمدن اسلامی است، که در مورد وجود ذاتی رنگ؛ دیدگاهی مخالف با جمهور فلاسفه آن دوران دارد، نظر مورد اتّفاق فلاسفه این بوده است، که رنگ دارای وجودی ذاتی نیست، و نور شرط وجود آن است، و بدون نور، رنگی وجود ندارد؛ و چون نور معدوم شود، رنگ نیز به همراه آن معدوم می‌گردد. در حالی که ابن هیثم به وجود رنگ و به حرکت بر خطّ راست آن، حتّی در تاریکی مطلق صحّه می‌گذارد.

نقد کمال‌الدین فارسی بر تفکیک ابن هیثم بین نور و رنگ

کمال‌الدین فارسی صاحب «تنقیح المناظر» بر ردّ نظر ابن هیثم این گونه استدلال

۴۶. ابن هیثم، المناظر، تصحیح عبدالحمید صبره، ص ۶۵.

می‌کند: «این سخن که بگوییم رنگ معدوم نشده، بلکه از چشم پوشیده مانده است، بی معنی است، زیرا اگر بگوئیم رنگ دارای حقیقتی است، که به حسّ در نمی‌آید، و هیچ دلیلی نیز بر وجود آن اقامه نگردد، حکم به وجود آن، تحکّم محض است، و حکم عقل این است که ما به وجود چیزی حکم نکنیم، مگر این که بر وجود آن دلیلی حسّی یا عقلی در دست داشته باشیم». او معتقد است که نور شرط وجود رنگ است، و نه فقط شرط دیده شدن آن به واسطه چشم».[۴۷]

علت توسّل ابن هیثم به این نظریه این است؛ که او می‌خواهد بین رنگ واقعی جسم و رنگی که به واسطه بازتابش درک می‌شود، تفاوت قائل می‌شود، مثلاً آنگاه که صفحه‌ای طلائی رنگ را در نور روز مشاهده می‌کنیم، رنگی که ما از آن می‌بینیم رنگ خود اوست، اما اگر در مقابل جسم سرخ رنگی که نور می‌تاباند، قرار گیرد، نقاطی از صفحه طلایی که رنگ نور آن جسم را بازمی‌تاباند، سرخ رنگ دیده می‌شود. پس این سرخی که از بخشهای بازتابنده به چشم می‌رسد، رنگ خود صفحه طلائی نیست. این؛ رنگی عارضی است؛ که به دلیل انعکاس بر آن عارض شده است، به گونه‌ای که چشم از محل بازتابش به نقطه دیگری از صفحه برگردد، آن رنگ زایل می‌شود، و چون دوباره به آن نقطه نگریسته شود، آن رنگ بازمی‌گردد، و این رنگ می‌تواند سبز یا هر رنگ دیگری باشد؛ بسته به جسمی که نور از آن به چشم می‌تابد.

منشا رنگ در نظر ابن هیثم

ابن هیثم رنگ را ناشی ازکدورت جسم یا به تعبیر خود اوکثافت آن می‌داند. او ایجاد رنگ راکارکثافتی می‌شمارد، که باعث ظهور نور عرضی در جسم می‌گردد، و به زعم او این رنگ بر همان راستایی حرکت می‌کند، که نور عرضی ساطع شده از جسم حرکت می‌کند. و از این‌جاست که معنی این سخن او که هر جسم کدری

۴۷. نظیف بک، مصطفی، الحسن بن الهیثم بحوثه و کشوفه البصریه، دارالکتب، قاهره ۱۹۴۲ م.

دارای رنگ است (کلُّ کثیفِ ذالون)، روشن می‌گردد. در حالی که نوری که با بازتاب درک می‌شود. نه به واسطه کدر بودن جسم کدر بر روی آن ظاهر می‌شود؛ بلکه به دلیل صیقلی بودن آن است که نور را در جهت معینی بازتابش می‌دهد. و مفهوم اصرار ابن هیثم در مقاله ضوءالقمر بر این که رنگ ماه از طریق انعکاس نیست بلکه رنگ خود آن است روشن می‌شود.

از تعبیراتی که ابن هیثم از آن در بحث رنگ استفاده می‌کند، کلمه «تقازیح» است. مطابق نظر کمال‌الدین فارسی در تنقیح‌المناظر این تعبیر لفظی است مأخوذ از قوس و قزح و معنای آن رنگهای مختلف مجاور یکدیگر مانند زردی و سبزی و قرمزی است. ابن هیثم این اصطلاح را نه فقط برای ظاهر رنگی رنگین کمان، بلکه برای هر چیزی که رنگهای مختلف نزدیک به هم نشان می‌دهد، به کار می‌برد. مثلاً رنگی که در بوقلمون ظاهر می‌شود. او استدلال می‌کند که این رنگها رنگهای حقیقی برای این اجسام نیستند، زیرا این رنگها ثابت نیستند، و بر حسب اختلاف اوضاع این اجسام تغییر و تبدیل می‌پذیرند. و اگر این اجسام در مکانهایی باشند، که نور ضعیفی در آنها وجود دارد، این تقازیح ناپدید می‌شود؛ و در آن شرایط است که رنگ حقیقی آن اجسام خود را نشان می‌دهد.

رنگ اجسام منیر

نظر ابن هیثم در مورد رنگ اجسام ذاتاً نورانی چیست؟ آیا او آنها را دارای رنگ می‌داند؟ و اگر این گونه است چه ارتباطی بین نور و رنگ آنها قائل است؟ در مقالات مختلف ابن هیثم در این رابطه سخن چندان روشنی یافت نمی‌شود، اما او همان گونه که در مورد اجسام کدر می‌گوید: «همین گونه‌اند اجسام ذاتاً نورانی (منیر) که نورهایشان شبیه صور آنهاست، و با رنگ‌هایشان شناخته می‌شوند». او به خورشید و آتش مثال می‌زند و می‌گوید: «نور خورشید نیز صورتی از آن است که از طریق

رنگ آن شناخته می‌شود؛ و همین‌طور نور آتش که صورتی شبیه به خود آتش دارد».[۴۸]

از این سخن او چنین دریافت می‌شود، که آنچه در اینجا در مقام رنگ است، خود نور است. و اگر این گونه باشد، آنچه که ابن هیثم در این باره بیان داشته است؛ مطابق با تلقّیات امروزین از پدیده رنگ قابل قبول است. او همچنین اشاره‌ای دارد به ابزاری به نام «دوّامه» که ظاهراً وسیله بازی بچه‌ها بوده است، و شیء چرخنده‌ای بوده است، که رنگهای مختلفی بر روی آن به ترتیب نقاشی شده و با چرخش سریع آن یک رنگ باهم ادغام شده، و رنگی به چشم می‌آمده، که با هیچیک از رنگهای اوّلیه مطابقت نداشته است. او تنها با این وسیله به مسأله امکان ادغام چند رنگ اشاره می‌کند، و نتیجه قابل توجّهی از این موضوع به دست نمی‌آورد. این در حالی است، که او در مواضع دیگر ادغام نورها را نفی کرده، و با مثالی از چند چراغ روشن، که در مقابل سوراخ کوچکی در یک اتاق تاریک است، می‌گوید نور هر چراغ پس از گذشتن از سوراخ، تصویر همان چراغ را بر دیوار اتاق ایجاد می‌کند؛ و چون یک چراغ دور یا خاموش شود، نور و تصویر همان چراغ در درون اتاق محو می‌شود. و از این موضوع نتیجه‌گیری می‌کند که نورها هنگام برخورد با یکدیگر با هم ادغام نمی‌شوند، و هر یک به راه خود بر خطّ راست ویژه خود ادامه می‌دهد.

رنگ ماه از نظر ابن هیثم

پس از این که نظر ابن هیثم را در مورد رنگ اجسام مختلف و ارتباط نور و رنگ با استفاده از نظریات او در «کتاب‌المناظر» دریافتیم، به نظر او در مورد نور ماه در مقاله ضوءالقمر برمی‌گردیم.

ابن هیثم در ابتدای این بحث بیان می‌دارد که در دو حالت رنگی که از یک جسم کدر غیر شفاف دیده می‌شود، رنگ خود آن جسم نیست، و در غیر از این دو

---

۴۸. ابن هیثم، المناظر، تصحیح عبدالحمید صبره، جلد اول، ص ۵۸.

صورت، رنگی که دیده می‌شود رنگ مخصوص آن جسم است این دو حالت عبارت است از:

۱ - در صورتی که نور از سطح آن جسم کدر بازتابیده شود.

۲ - در صورتی که شعاع بصری از سطح آن جسم به جسم دیگر بازبتابد.

از این دو بیان ابن هیثم معلوم می‌گردد، که در زمان او اندیشه پرتوهای نورانی و ایده شعاع بصری هردو در بین دانشمندان طرفدارانی داشته است؛ که او با توجه به شیوه علمی خود که تمام فروض منطقی مطرح را مورد بررسی و دقّت نظر قرار می‌دهد؛ فرض‌های مربوط به شعاع بصری را نیز مطرح ساخته است. او سپس می‌گوید که در صورتی که نور از سطح جسم کدر اندکی انعکاس یافته باشد، آنچه از رنگ که از سطح آن دیده می‌شود، علاوه بر رنگ مخصوص به خود آن جسم، رنگ منبع نور نیز می‌باشد. و این مقدّمه در واقع تأکیدی است بر آنچه که ابن هیثم در «کتاب‌المناظر» در مورد رنگ بیان داشته است، و ما پیش از این، آنها را مورد اشاره قرار داده‌ایم. او پس از این توضیح می‌گوید رنگ ماه از پنج حالت خارج نیست؛ این حالات چنین است:

الف) رنگ خود ماه در هنگام تابش خورشید بر آن است.

ب) رنگ خورشید است که از طریق بازتابش از سطح ماه به چشم می‌رسد.

ج) رنگ شعاع چشمی‌ای است که از سطح ماه به خورشید یا اجرام آسمانی دیگر بازمی‌تابد.

د) رنگ جسم واسطه بین چشم و ماه و خورشید است.

ه) ترکیبی از حالت‌های گفته شده است.

او اظهار می‌دارد که چه برای اجسام واسطه بین ماه، خورشید و چشم نقشی قائل باشیم و چه نباشیم، رنگ ماه یا رنگ خورشید است که از سطح ماه بازتابیده است و یا رنگ خود ماه است. این رنگ نمی‌تواند رنگ حاصل از بازتاب نور خورشید از سطح ماه یعنی نور خورشید باشد زیرا اولاً: در آن صورت باید ماه به

منزله یک نقطه کوچک دیده می‌شد. ثانیاً: آنچه از سطح ماه مشاهده می‌شد تصویری از خورشید می‌بود. او سپس توضیحاتی را که درباره بازتابی نبودن نور ماه داده بود، این بار برای رنگ ماه تکرار می‌کند و با بیان جملات زیر که می‌توان آن را ماحصل همه مباحث مقاله نور ماه دانست این مقاله را به پایان می‌برد: «پس نوری که از ماه به زمین می‌تابد، نوری است که هنگام تابش نور خورشید به ماه از خود ماه خارج می‌شود، همان‌گونه که نور از اجسام منیر می‌تابد، و همین طور رنگی که از آن می‌تابد، به روش بازتاب نیست، و بازتاب هیچ سهمی در آن ندارد، و رنگ جسم واسطه بین چشم و ماه نیز نیست، بنابراین رنگ ذاتی آن در هنگام تابش خورشید بر آن است، پس خورشید چون به ماه می‌تابد، به آن حالتی می‌بخشد که ماه از خود نورانی می‌شود و رنگ نورانی‌ای می‌یابد و این صورت تا هنگامی که خورشید نوری بر آن می‌تاباند ادامه می‌یابد، و مانند آن است که خورشید به صورتی که برای ماه مفید است، آن را به کمال خود می‌رساند».

سخن پایانی

آنچه در این رساله بدان پرداخته شد؛ روش علمی ابن هیثم در مقاله نور ماه بود که با استمداد از اندیشه‌های او در سایر آثار علمی‌اش مورد کاوش قرار گرفت. حاصل کار او در این مقاله در عمل به مقتضای روش علمی خود نتیجه‌ای کاملاً درست و واقعی بود. نتیجه‌ای که اگر چه صدها سال پس از او رصد شد و قابل رؤیت گردید؛ و بشر پس از اختراع تلسکوپ‌های قوی توانست نسبت به صیقلی نبودن سطح ماه اطمینان یابد؛ اما ابن هیثم با قاطعیت استدلال علمی به این نتیجه رسید که ماه سطحی صیقلی ندارد؛ و در صورت صیقلی و بازتابنده بودن باید شرایطی متفاوت داشته باشد.

او این روش ارزنده علمی را در همه فعالیت‌های علمی دیگر خویش نیز مراعات کرده است؛ و در هر یک از آنها به نتایج ارزنده‌ای دست یافته است. به نظر می‌رسد

موقعیت ممتاز او در بین دانشمندان دوره اسلامی حاصل همین پای‌بندی به استدلال توأمان فیزیکی و هندسی است. او با اطمینان به نفس و با ژرف اندیشی پدیده‌های طبیعی را از منظر ریاضیات موشکافانه مورد بررسی قرار داده و از حداکثر ظرفیت‌های علمی آن روزگار در راستای تبیین علمی بهره برده است. از دیگر ویژگیهای منحصر به فرد او عدم خلط میان مباحث علمی و فلسفی و عدم اکتفا به باورهای به ظاهر راضی کننده‌ای است که پایه‌های علمی متقنی ندارند. او با وارد کردن چند عامل غیر علمی و ارائه شبه برهان باعث انحراف مسیر علم و رسیدن به نتایج سست و بی‌اساس نمی‌شود. بلکه می‌کوشد همه باورهای بی‌پایه‌ای را که توانسته‌اند از فضای اجتماعی سوء استفاده کرده و به عنوان تلقیاتی جهان شناختی معرفی شوند باطل کند؛ و در مسیر ابطال باطل خود از روش‌های غیر علمی، کوته بینانه و خلاف اخلاق بپرهیزد؛ چیزی که به نظر می‌رسد ضرورت همیشه جوامع علمی است. بسیاری که امروز به این دانشمند با یک هزاره فاصله می‌نگرند؛ با غور اندیشه‌های بلند او احساس طراوت می‌کنند. این از ویژگیهای نگاه عالمانه است که از قالب‌های زمانی فراتر می‌رود و در گستره تاریخ گسترش می‌یابد.

منشأهای درمان دوایی و غذایی در دورهٔ اسلامی

سامی خَمارنَه
عضو سابق انستیتوی اسمیتسونِ واشینگتن

ترجمهٔ: هوشنگ اعلم
عضو هیأت علمی بنیاد دایرة المعارف اسلامی

چکیده. ـ منابع درمان دوایی و غذایی در دورهٔ اسلامی گوناگون بود: تأثیراتی از کشورهای خاور دور (چین) و مرکزی (هند و ایران)، علاوه بر ریشه‌های بومی در ممالک مفتوحه‌ای که تمدنهای قدیمتری در آنها شکوفا شده بود ـــ مثلاً در عراق، سوریه، فلسطین و مصر. امّا میراث پزشکی یونانی بیش از همه، در تکوین، توجیه نظری (تئوریک) و تعیین سمت و سوی درمان طبّی در دورهٔ اسلامی مؤثر افتاد. این فرایند در سدهٔ نهم م. به پربارترین مرحلهٔ خود رسید، که بیشترین سهم در آن را دانشمندان، پزشکان و نیز مترجمان عیسوی نسطوری‌ای داشتند که هم یونانی و هم عربی می‌دانستند، و برای بالا بردن سطحِ سلامت و دانش، تحت توجّهات خلفاء یا بعض دانشپروران فعّالانه کار می‌کردند. بیماریشناسی اَخلاطی یونانی اساس آموزه‌های درمانی آنان بود. به منظور اعادهٔ تعادل میان «اَخلاط چهارگانه» و، درنتیجه، اعادهٔ تندرستی، «طبایع» و «دَرَجات»ی برای داروها و خوراکیهایی که در درمان بیماریهای ناشی از غلبهٔ خِلطی بر اَخلاط دیگر بود، معیّن کردند.

استنتاجهای نویسندهٔ این مقاله مبتنی بر مطالعهٔ مخطوطات اصیل و اَسناد تاریخی مربوط به سده‌های میانه است.[۱]

در سده‌های میانه، بویژه از سدهٔ نهم تا پایان سدهٔ سیزدهم، معیارها و اصول درمان دارویی و غذایی در تألیفات طبّی عربی در دورهٔ اسلامی سامان یافت. بیشتر این معیارها و اصول نتیجهٔ تجارب و مشاهدات شخصی و یا برگرفته از اطلاعات

۱. [در این مقاله، تاریخها همه به تقویم میلادی است.]

مکتوب و شفاهی تمدنهای پیش از ظهور اسلام بود. مجموع این اطلاعات به قوای خوراکیهای درمانی، داروها، زهرها و به شیوه‌های تأثیر اینها بر تن آدمی هم در حال صحّت و هم در حال بیماری معطوف بود. تألیفات عربی دربارهٔ «مُفردات پزشکی» [داروهای ساده]، کُنّاشهاو قراباذینهایی که به دست ما رسیده است شمار شگرفی (بیش از ۱۲۰۰ تا) از داروهای بسیط را ذکر و وصف کرده‌اند که پیش از دورهٔ اسلامی ناشناخته بود. از طریق نفوذ ترجمهٔ بعض این تألیفات عربی به غرب، چندین تا از این داروهای بسیط تا روزگاران نو در دارونامه‌ها و قراباذینهای غربی، مذکور و مستعمل بود.

در این مقاله، خواهیم کوشید که مبادی پزشکی دورهٔ اسلامی را تعیین و توضیح کنیم. امیدواریم نتیجه‌گیریهای ما که مبتنی بر بررسی مخطوطات اصیل عربی در بارهٔ داروشناسی و پزشکی بوده است، عواملی را تبیین کند که به بنیانگذاری و پیشبرد دانش موّاد درمانی‌ای که پزشکان دورهٔ اسلامی توصیه و استعمال کرده‌اند، کمک نمودند.

دورهٔ قدیم عربی (۵۷۰ ـ ۸۰۰ م)

تقریباً یک قرن پیش از گسترش امپراتوری اسلامی، نهضتی دینی، اقتصادی و فرهنگی در سدهٔ ششم در عربستان پدید آمد. شعر، فنّ بلاغت و موسیقی رونق گرفت و به طور محسوسی از اوضاع و احوال اولیّهٔ فائق بر جزیرة العرب، فراتر رفت. نظرات و اطلاعاتی ابتدایی و ناقص در بارهٔ قیافه‌شناسی، جغرافیا و هواشناسی عوامانه شفاهاً جریان داشت که عموماً مبتنی بر آگاهیهای محلّی و نیز بر مشاهدهٔ دقیق ستارگان در هوا و آسمانِ بیشتر صافِ عربستان بود[۲].

در این دوره، صومعه‌های معروف مسیحی و همچنین زیارتگاههای یعقوبی و

۲. الیعقوبی، تاریخ، نجف، ج ۱، ۱۹۶۴، ص ۳۳۰ ـ ۳۴۰. نیز سعید بن احمد الأندلسی، طبقات الأُمَم، قاهره، بی‌تا.، ص ۶۳ ـ ۷۵؛ و جُرجی زَیدان، تاریخ التمدّن الاسلامی، قاهره، ج ۳، ۱۹۳۱، ص ۱۰ ـ ۳۶.

نسطوری مراکزی هم برای درمان جسم و جان در عربستان، سوریه، عراق و بخشهای دیگر «هِلال خَصیب» بود. بسیاری از اهالی به صومعه‌هایی چون اَبّون، بُصْرا، العَلیٰ، اَیّوب، حَمیم، قَیّارَة، یونِس (نزدیک موصل کنونی)، بَوَنّا، سَعید، سَمْعان، صَیْدْنایا، قُرَّة، کَلَب (یاکَلْب یاکَلِب)، اللُّج، مَعْلولا، میماس، نَجْران و هِنْد، بویژه به آنهایی که نزدیک چشمه‌های آب معدنیِ دارای خواصّ درمانی، دایر شده بود، می‌رفتند[۳].

با وجود چند پزشک کارآزموده، تازیان در دورهٔ جاهلیّت (پیش از ظهور اسلام)، عمدتاً به طبّ عامیانه، فالگیری، طلسمات، تعاوید و «عَیافَه» (تفأل از پرواز پرندگان) متوسّل می‌شدند. اما دین اسلام این گونه کارها را ممنوع ساخت. بعلاوه، خلفاء و حاکمان با اِعزاز و اکرام متطبّبان فاضل و حاذق و با تأیید فواید درمان دارویی، حرفهٔ پزشکی را حمایت می‌کردند. در نتیجه، درمان دارویی و آموزش پزشکی به‌تدریج رونق و رواج یافت. از پیامبر اسلام روایت کرده‌اند که خداوند برای هر «داء» (مرض)ی «دواء»ی آفریده است، و این که حضرت محمّد (ص) به مؤمنان امر کرد که به هنگام ضرورت، به درمان پزشکی توسّل جویند. بدینسان، توصیه‌های شفاهیِ او عامل بزرگی در فتح باب برای انکشاف و ارتقای طبابت در سده‌های میانه گردید.

منشأهای خاوری

با شروع گسترش اسلام، فتوحات تازیان بویژه در شمال آفریقا، جنوب اروپا و آسیای مرکزی موقعیت استراتژیک عربستان و اهمیت آن را به عنوان مرکز بازرگانی بالا برد[۴].

۳. شوکت شَطّی، تاریخ الطب، دمشق، ۱۹۶۰، ص ۷۵ ـ ۸۱؛ یاقوت حَمَوی، مُعجم البُلدان، چاپ ف. وستنفلد، لایپزیگ، ج ۱، ۱۸۶۶ ص ۳۸۳، ۶۳۶، ۶۳۶؛ و ج ۳، ص ۵۱؛ زکریّا القزوینی، آثار البلاد، بیروت، ۱۹۶۰، ص ۱۹۵ ـ ۱۹۸، ۳۶۹ ـ ۳۷۳، و ۲۵۵ ـ ۲۶۸.

۴. جُرجی زیدان، العرب قبل الاسلام، بیروت، بی تا.، ص ۳۴ ـ ۳۹، ۲۰۳ ـ ۲۲۸، ۲۶۰ ـ ۲۶۱؛ و Ph. Hitti, *History of the Arabs*, London, 1958, pp. 3-7.

راجع به تأثیر چین بر تحول پزشکی دورهٔ اسلامی اندک چیزی نوشته شده است. مع ذلک، شواهد موجود بر امکان مبادلات دورادورِ افکار و اطلاعات، گرچه غالباً به طور غیر مستقیم، میان این دو تمدن از سدهٔ هشتم تا سدهٔ چهاردهم دلالت می‌کند. مثلاً، از صنعتگران چینی در ماوراء النهر تازیان فن کاغذ سازی را آموختند. این صنعتْ نگارشِ متنهای پزشکی و غیر پزشکی، بالتَّبع، انتشار دانش و مبادلات فرهنگی را تسهیل کرد[۵]. تازیان روش سرامیک‌سازی چینیان را فراگرفتند. بدینسان انواع عدید ظرفهای چینی به عنوان آوندهای نگهداری داروها و لوازم دیگر در بیمارستانها و در داروفروشیهای خصوصی در سراسر جهان اسلام به کار برده شد[۶]. پس از سدهٔ دوازدهم، تازیان تکنیک ساخت سفالینه‌های لعابی و شیشه‌های مینایی را به صنعتگران غرب منتقل کردند. دیگر این که بر اثر نفوذ کشورهای خاوری، نوشته‌های صوفیانه و بهداشتی، تعویذات، کیمیاگری، هیپنوتیزم (= القای خواب مصنوعی) و رواندرمانی به اندیشهٔ دینی در اسلام راه یافت[۷]. مع ذلک، این تأثیرات بر سر راه پژوهشهای علمی بدیع و اصیل و تجربه‌کاریهای داروشناختی در زمینهٔ درمان و پژوهش طبّی موانعی به وجود آورد.

نفوذ و تماسها از جانب هند و ایران مستقیمتر و بسی گسترده‌تر از تأثیرات چینِ دوردست بود. چندین پزشک برای طبابت و چندین دستیار داروسازی برای کمک

۵. ابن الندیم، الفهرست، قاهره، ۱۹۲۹، ص ۳۸؛

Charles Singer *et al.* (eds.), *A History of Technology*, Oxford, vol. 2, 1956, pp. 188-9; and George Sarton, *Introduction to the History of Science*, Baltimore, Md., vol. 1, 1927, pp. 451 and 783.

6. M. S. Dimand, *A Handbook of Muhammadan Art*, New York, 2nd ed., 1944, pp. 204-9; R.L. Hodson, *A Guide to the Islamic Pottery of the Near East*, London, 1933, pp. 1-10; Singer *et al.* (eds.), *id.*, pp. 285-87 and 303-4; Arthur Lane, *Early Islamic Pottery*, London, 1937, pp. 3-7; and David Talbot Rice, *Islamic Art*, New York, 1965, pp. 36-42.

7. K. Chimin Wong and Wu Lien-Teh, *History of Chinese Medicine*, Tientsin (China), 1932, pp. 50-7 and 60-7.

به تهیه و استعمال داروها میهن خود به قصد بغداد و مراکز اسلامی دیگری ترک کردند. بعض آنان در بیمارستانهای نوبنیاد در پایتختهای کشورهای اسلامی به طبابت پرداختند. بعلاوه، چند متنِ مربوط به مواد دارویی، زهرشناسی، بیماریها و زایمان زنان، جرّاحی و بهداشت از سانسکریت به عربی ترجمه شد. این ترجمه‌ها بر درمان پزشکی سخت تأثیرگذاشت و به افزایش شمار موادّ دارویی دورهٔ اسلامی کمک کرد[۸]. مثال خوبی در این خصوص ترجمه‌ای است با عنوان <کتاب شاناق دربارهٔ سُموم و تِریاقات>. در مقدمهٔ عربی آن چنین می‌خوانیم که این کتاب «بسیار ارزشمند» شامل «اَسرار»ی است که حکمای هندی کشف کردند، و شاهان ایشان این تألیف را در خزاین خود پنهان و دور از دسترس پسران و نزدیکترین ندیمان خود نگاه می‌داشتند.

«این کتاب حاوی اوصاف همهٔ زهرها و شیوهٔ کشف آنها به وسیلهٔ باصره و لامسه بود و نیز از روی علائم و آثاری که پس از چشیدن و بلعیدن زهر و رسیدن آن به معده پدید می‌آمد. همچنین به تفصیل در بارهٔ نشانه‌های عجیب خوراکیها و آشامیدنیهای مسموم، و پوشیدنیها و فرشها و بسترهای زهرناک و نیز اَدهان و اَکحالِ زهرآلود بحث می‌کرد... همچنین تریاقی برای همهٔ زهرها و گزش مارها...، و داروهایی ضعیف کننده (بیمار کننده)، خواب‌آور و بیهوش کننده را ذکر می‌کرد... این کتاب را پزشک هندی Minkah از سانسکریت به فارسی ترجمه کرد و بعدها ابوحاتِم بلخی آن را برای یحیی بن خالد بن بَرمَک (وزیر خلیفه هارون الرشید) استنساخ کرد. سرانجام العباس بن سعید الجوهری آن را برای مأمون، خلیفهٔ عباسی، به عربی درآورد.»[۹]

---

۸. ابن الندیم، همان، ص ۳۴۵ - ۳۵۲، ۳۵۵ - ۳۵۶، ۳۹۲، ۴۳۸ - ۴۳۹، ۴۵۰ - ۴۵۲؛ ابن القفطی، تاریخ الحکماء، چاپ یولیوس لیپرت، لایپزیگ، ۱۹۰۳، ص ۲۱۵ - ۲۱۷، ۲۶۵ - ۲۶۷، ۲۶۵ - ۲۶۶؛
G.P. Stivastava, *History of Indian Pharmacy*, Banaras, 2nd ed., 1954, pp. 234-53; and N.H. Keswani, "Evolution of Surgery", *The Medicine and Surgery* (New Delhi), vol. 1 (Feb., 1962), pp. 1-9.

۹. کتاب السُّموم شَناق (= Chanakya) را یولیوس روسکا (Julius Ruska) با ترجمه و تفسیر خود درج ۴ (برلین، ۱۹۳۵، ص ۱ - ۱۵۲) کتابِ
Quellen u. Studien zur Geschichte der Naturwissenschaften u.d. Medizin
←

از ایران نه فقط پزشکی هند بلکه عناصری از فرهنگ بومی ایرانی و سریانی نیز به تمدن اسلامی - عربی راه یافتند. هم از پزشکان و هم از مکاتب پزشکی در مراکزی چون اِدِسا (اورفا)، دیاربَکر و جُندی شاپور جریانهایی فکری برمی‌خاست که به شکل‌گیری تعلیمات پزشکی و طبابت علمی در دورهٔ اسلامی کمک کرد[۱۰].

تأثیرات سرزمینهایی که سپاهیان مسلمان تازه در هلال خصیب و شمال آفریقا فتح کرده بودند باز هم بزرگتر از تأثیرات پیش‌گفته بود زیرا در عمق تار و پود جامعهٔ عرب نفوذ کرد. در واقع، همهٔ نواحی مزبور با فرهنگهای غنی سابقشان زود جزو لاینفکّ امپراتوری جدید شد. اهمیّت چنین میراثی را نویسندگان در نشرات مستند و محقّقانهٔ عدید خود نشان داده و دستاوردهای فنّی، علمی و حرفه‌ای این تمدنهای قدیم را تبیین کرده‌اند. به سبب فضای محدود این مقاله ناچار به ذکر فقط چند مورد اکتفاء می‌کنیم، مثلاً: کنتنو چهره‌ای از درمان طبّی در بین‌النهرین را ارائه کرده است[۱۱]؛ برستد و دیگر مترجمانِ پاپیروسهای پزشکی بر دانش ما در بارهٔ حرفه‌های بهداشت و درمان در مصر باستان بسیار افزوده‌اند[۱۲]؛ لیک آشکار ساخت

→

به چاپ رساند. چندین نسخهٔ خطی این کتاب در بغداد، دمشق و قاهره وجود دارد (نسخهٔ قاهره، ش ۵۹۴ مجموعهٔ طبّ طلعت، نیز از ترجمهٔ فارسی متن سانسکریت به عربی ترجمه شده است).

۱۰. Matti I. Moosa در مقالهٔ بسیار سودمند خود، <«بررسیهایی در ادبیات سریانی»>، مندرج در مجلّهٔ *The Muslim World*، ۵۸ (۱۹۶۸)، ص ۲۱۶ - ۲۱۷، شروع ترجمه‌های سریانی از تألیفات فلسفی و پزشکی یونانی را در ترجمه‌ها و معارف دورهٔ اسلامی تأثیر کردند، توضیح داده است. نیز ر.ک. به Cyril Elgood, *A Medical History of Persia and the Eastern Caliphate*، کیمبریج، ۱۹۵۱، ص ۴۵-۵۶؛ و Max Meyerhof *The Background and Origins of Arabian Pharmacology*, "Ciba Symposia", 6 (1944), pp. 1848-55.

11. Georges Contenau, *La medecine en Assyrie et en Babylonie*, Paris, 1938, pp. 35-45, 75-91, 130-163, 177-189.

12. James H. Breasted, *A History of Egypt...*, New York, 1912; id., *The Edwin Smith Surgical Papyrus*, Chicago, 1930; Cyril P. Bryan, *The Papyrus Ebers*, New York, 1931, pp. 15-40.

چگونه درمان دارویی مصریان باستان بر پزشکی یونانیان اثر گذاشت[۱۳] و گالیونگی نکات تاریک بسیاری را در بارهٔ کاربرد سحر و جادو در طبابت، در بارهٔ اخلاق حرفه‌ای و تخصّصهای پزشکی در مصر باستان روشن کرد[۱۴].

فُربْز بررسی بیشتری در بارهٔ خوراکیها، آشامیدنیها، موادّ آرایشی و دستورهای ترکیب و تهیّهٔ اینها در ادوار قدیم انجام داد[۱۵]، و براکبنک کاربردهای قدیم حُقنه، بادکَش گذاری، زالو اندازی و تزریق داروها برای درمان در روزگاران قدیم را بررسی کرد[۱۶].

تازیانِ کشورگُشا از فرهنگهای شایع در مصر، ایران، عراق و سوریه استفاده کردند: در مصر، قبطیها بر معارف سیطره داشتند، و در آن سه کشور دیگر، مسیحیان سریانی[۱۷].

میراث یونانی در پزشکی دورهٔ اسلامی

مع ذلک، بزرگترین و پایدارترین تأثیرات بر پزشکی دورهٔ اسلامی از سنّت

---

13. Chauncey D. Leake, *The Old Egyptian Medical Papyri*, Lawrence (Kansas), 1952, pp. 34-45, 52-56, and 68-75.

14. Paul Ghalioungui, *Magic and Medical Science in Ancient Egypt*, London, 1963, pp. 17-40 and 138-60; *id.* and Z. el-Dawakly, *Health and Healing in Ancient Epypt*, Cairo, 1965.

15. R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, Leiden, 1955, pp. 6-29, 50-70 and 91-102.

16. William Brockbank, *Aneient Therapeutic Arts*, London, 1954, pp. 14-15, 18-21, 69-72 and 118-9.

۱۷. برای مساهمات قبطهای مصری ←
Walter C. Till, *Die Arzneikunde der Kopten*, Berlin, 1951, pp. 13-108.

برای تأثیر بین‌النهرین ←
Martin Levey, *Chemistry and Chemical Technology in Ancient Mesopotamia*, Amsterdam, 1959, pp. 7-8, 135-155 and 163-164.

برای پزشکی سریانی ← مقدمه، ترجمه و تفسیر تلخیص سریانی (سدهٔ ششم) از بعض آثار جالینوس که E. A. Wallis Budge در ۲ جلد منتشر کرده است (اکسفرد، ۱۹۱۳)، موسی، مقالهٔ «Syriac Literature»، در مجلهٔ *Muslim World*، ۵۸ (۱۹۶۸)، ص ۳۱۷ - ۳۳۰.

پزشکی یونانی و عمدتاً از طریق ترجمهٔ مجموعهٔ آثار بُقراطی، نوشته‌های دیوسکُوریدس، جالینوس، اُریباسیوس و بولُس آجانیطی بود. این میراث بسیار ارزشمند به گذاشتن بنیادهای پایدار برای پزشکی دورهٔ اسلامی و تحکیم و توسیع مبانی توفیقات محسوس در همهٔ جنبه‌های پیشه‌های بهداشت، شامل استانداردها و تعمیمات جدید در بارهٔ درمان دارویی و بهداشتی، کمک کرد.

از سدهٔ پنجم تا اواخر سدهٔ نهم، دانشمندان نسطوری و یعقوبی نوشته‌های یونانی در بارهٔ پزشکی و داروشناسی را از یونانی به سریانی ترجمه کردند. این فعالیت، آموزش پزشکی و طبابت را در سراسر خاور نزدیک احیاء کرد. پس از سقوط سلسلهٔ بنی اُمیّه (۶۶۱ - ۷۵۰)، نخستین خلفای عباسی (۷۵۴ - ۹۰۲) علاقه‌ای راستین به ایجاد و تشویق فعالیتهای روشنفکرانه در قلمرو خود، نشان دادند. ترجمه‌هایی به عربی (از ترجمه‌های سریانی یا مستقیماً از یونانی) انجام گرفت، و دیری نگذشت که عربی زبان مشترکِ عملاً همهٔ رشته‌های علم، ادبیات و فلسفه گردید و مدّت سه قرن وسیلهٔ مشترک مفاهمهٔ دانشمندان جهان اسلام باقی ماند[18]. تحت توجهات و تشویقات حکمرانان و بعضی حامیان دانش‌دوست، فعالیتها، ترجمه‌ها و تعلیم پزشکی به شکلی بسیار مؤثر عمدتاً به وسیلهٔ این دانشمندانِ سُریانی‌گو انجام گرفت.

دورهٔ حُنَین و بنیانگذاری طبابت دورهٔ اسلامی

در مدت سلطنت خلیفهٔ عباسی، مأمون (۸۱۳ - ۸۳۳)، ستارهٔ بخت حُنَین بن

18. Ibn al-Nadīm, *Fihrist*, pp. 415-22; Casimir Petraitis in *The Arabic Version of Aristotle's Meteorology*, Beirut, 1967, pp. 11-13 and 18-26, Comments on the pre-Ḥunayn period oftranslators. See Martin Plessner, "Diskussion über des Corpus Medicorum Graecorum", *19th Intern. Congress, Hist. of Med.* (Basel, 1954), New York, 1966, pp. 238-48; De Lacy O'Leary, *How Greek Seince passed to the Arabs*, London, 1940, pp. 12-29, 34-36, 48-52, 73-75, 95-100, 161-70; M. Meyerhof, "Science and Medieine", *The Legaey of Islam*, 1952, pp. 311-22.

اسحاق عِبادی (۸۰۹ - ۸۷۳)، در نتیجهٔ فعالیتهای پزشکیِ درخورِ ستایش او، درخشیدن گرفت. سارتُن او را «یکی از بزرگترین دانشمندان و شریفترین مردانِ روزگار خود» خوانده است[۱۹]. وی و شاگردان و دستیارانش مهمترین نوشته‌های طبی یونانی موجود را به عربی ترجمه کردند و سهم تجارب و مشاهدات شخصی خود را به میراث یونانی افزودند[۲۰]. از نوشته‌های بقراطیِ مربوط به پرشکی که به عربی ترجمه شد، می‌توان اینها را ذکر کرد: الطبّ القدیم، کتاب البُلدان و المیاه و الأهویة، کتاب آبیذیمیا، سوگندنامه (با تغییراتی در عبارات اوّلِ آن تا با معتقدات مسیحیان و مسلمانان مطابقت داشته باشد)، کتاب الغِذاء، کتاب الأخلاط، کتاب الفصول[۲۱] و کتاب طبیعة الانسان[۲۲]. همچنین در یکی از رساله‌ها خود، در چهل و هشت سالگی آن آثار جالینوس راکه به سریانی و عربی ترجمه شده بود، فهرست کرده است[۲۳]. این فهرست نشان می‌دهد که مهمترین بخش آثار جالینوس به عربی

---

19. Sarton, *Introduction*, vol. 1, pp. 611-12. Seea lso F. Wüstenfeld, *Geschiehte der Arabischen Aerzte und Naturforscher*, Göttingen, 1840, pp. 26-29; L. Leclere, *Hist. de ea méd. arabe*, vol. 1, Paris, 1876, pp. 152-3.

20. Giuseppe Gabrielli, "Ḥunayn ibn Isḥāg", in *Isis*, 6 (1924), pp. 282-92; M. Meyerhof, "New Light on Ḥunayn Ibn Ịshaq and His Period", in *Isis*, 8 (1926), pp. 685-725; S. Hamarneh, *Bibliography on Medicine and Pharmacy in Medieval Islam*, Stuttgart, 1964, pp. 60-61.

21. For editons and translations of the genuine works of Hippocrates see the English translation by Francis Adams, 2 vols., 1849; French and Greek texts, *œuvres complètes d'Hippocrate*, by Émile Littré, 10 vols., Paris, 1839-61; *Hippocrates opera*, ed. H. Kuchlewein, 2 vols., Leipzig, 1894-1902; and the English and Greek texts, *Hippoerates*, by W.H.S. Jones *et al.*, 4 vols., London, 1923-31.

22. Ed. and Engl. tr. by J.N. Mattock, Cambridge, 1968.

۲۳. به نوشتهٔ ابونصر اسعد بن الیاس بن المَطْران (متوفی ۱۱۹۱) در بُستان الأطبّاء (بخش ۲، برگ ۲۵، نسخهٔ خطی عربی شمارهٔ A8، کتابخانهٔ ملی پزشکی)، حنین این رساله را در چهل و هشت سالگی (حـ ۸۵۷) تکمیل کرد. این رساله را G. Bergsträsser (گ. برگشتسر) با عنوانِ

Ḥunain ibn Isḥâq über die syricohen und arabischen Galen-ubersetzungen

←

ترجمه شده و از آن پس رواج یافته بود.

ابن قطران در بستان الأطباء خود بخشی را به ذکر نامهای مترجمان آثار پزشکی بجز حُنین اختصاص داده است. نخست اسحاق بن حنین، را یاد کرده، که مترجمی فصیح و بلیغ بود. دیگری سِرجیس الراسی (منسوب به رأس العَین، شهری میان حرّان و نَصیبین در شمال عراق) است «که بهترین ترجمه‌هایش آنهایی بود که حنین اصلاح کرده بود». دیگری ایّوب الرّهاوی که سریانی را بهتر از عربی می‌دانست. دیگری شاگرد حنین، حُبَیش بن الحَسَن، که مترجمی توانا و کارآمدِ همطراز حنین و اسحاق بود. حُنین او را مترجمی با استعداد و مبرّز ولی «قدری غفلت‌کار» می‌دانست. دیگری عیسی بن یحیی که استادش، حنین، او را به‌عنوان مترجم و مصنّفی خوب و توانا ستوده است. دیگری یحیی بن البِطْریق، که مترجمی ضعیف بود که نه با عربی و نه با یونانی کاملاً آشنا نبود. سرانجام، ابن المطران عَبد یَشوع بن نَهریر را ذکر کرده، که اسقف موصل بود و چندین کتاب را برای دوستِ پزشکِ خود، جِبریل بن بَخْتیَشوع، ترجمه کرد[۲۴].

دانشمندان مذکور و همکاران و دستیارانشان نه فقط در ترجمهٔ متنها از یونانی و سریانی سهیم بودند بلکه آثاری هم به عربی تألیف کردند. نوشته‌هایشان در بارهٔ درمان پزشکی و نیز در بارهٔ اثر رژیمهای غذایی، داروها و زهرها شایستهٔ وارسی و ارزیابی دقیقی است. مساهمات آنان مبانی علمی و استدلالی داروشناسی دورهٔ

→

ویرایش و ترجمه کرد و تعلیقاتی بر آن نوشت (لایپزیگ، ۱۹۲۵). نیز ←

Galeni de simplicium medicamentorum temperamentis ac faeultatibus, in C.G. Kühn, *Galeni opera omnia*, Leipzig, 1826, vol. 11, pp. 379 to vol. 12, p. 377, followed by Galen's *De compositione medicamentorum secundum locos.*

۲۴. ابن مطران، بُستان، بخش ۲، برگهای ۲۵ ـ ۲۸. مقایسه کنید با ابن الندیم، فهرست، ص ۳۴۱ ـ ۳۶۹ و ۴۱۴؛ ابن القفطی، تاریخ، ص ۱۱۸، ۱۶۱ ـ ۱۶۶ و ۲۶۷؛ و ابن أبی اصیبعة، عیون الأنباء، چاپ قاهره، ج ۱، ۱۸۸۲، ص ۱۶۸ ـ ۲۰۳.

اسلامی را فراهم کرد[۲۵]. همهٔ انشعابات سپسینِ مؤلفان مسلمان ریشه در فعالیتهای پزشکی و ادبی این نهضت سدهٔ نهم دارد.

از جمع پزشکان بزرگ آن دوره من فقط چند چهرهٔ شاخص را ذکر خواهم کرد. یوحَنّا بن ماسَوَیه (۷۷۷ ـ ۸۵۷) به خاطر فعالیتهایش به‌عنوان پزشک، مؤلف و مترجم در پایتخت عبّاسیان، بغداد، مقامی والا داشت. نخستین کسی بود که یک مدرسهٔ خصوصی پزشکی در بغداد دایر کرد و رئیس بیمارستان دولتی این شهر گردید[۲۶]. نوشته‌های او در بارهٔ قولنج، درمان دارویی، داروهای مُسهل، طبّاخی، «سنونها» (داروها و گَردهای مخصوص دندانها)، انواع سَردَرد، درمان خوراکیهای مُضرّ، وکاربردهای ماء الشعیر است[۲۷]. در الکُنّاش المُشَجَّر الکبیر (حاوی ۸۰ فصل)، با استفاده از شیوهٔ «تَشجیر» [مانند انشعاب ساقه‌ها از تنهٔ اصلی درخت و ساقه‌های فرعی از ساقه‌های اصلی]، بیماریها، نشانه‌های افتراقی و درمان آنها را تشریح کرده است[۲۸]. رسالهٔ کوتاه جواهر الطیب المفردة او، در بارهٔ مواد خوشبوی ساده/بسیط نیز درخور توجّه است[۲۹]. این متنها نه فقط بر عربی نویسانِ سپسین بلکه ترجمهٔ لاتینی

۲۵. برای تعریف داروشناسی قدیم و قرون وسطی و تحول آن به مقامی علمی ←

C.D. Leake, "The Scientific Status of Pharmacology" in *Soience*, 134 (1961), pp. 2069-71.

۲۶. ابن الندیم، فهرست، ص ۴۲۵ و ۴۵۴؛ ابن جُلجُل، طبقات الأطباء و الحکماء، چاپ ف. سَیّد، قاهره، ۱۹۵۵، ص ۶۵ ـ ۶۶؛ ابن أبی اصیبعة، همان، ص ۱۷۵ ـ ۱۸۳؛ و کارل بروکلمان، *GAL*، ج ۱، لیدن، ۱۹۴۳، ص ۲۶۶ و تکملهٔ آن، ج ۱، ص ۴۱۶.

27. *Le livre sur l'eau d'orge (Mā' al-sha'īr)*, ed. & tr. Paul Sbath, in *Bull. de l'Inst. d'Égype*, 19 (1937), pp. 5-27 (ms. of the Sbath collection).

نسخهٔ دیگری هم از این رساله وجود دارد: مخطوطهٔ ش ۲۳۶ در مجموعهٔ «طب، تیمور» در قاهره. برای تفصیل بیشتر ←

M. Levey, "Ibn Māsawaih and his Treatise on Simple Aromatic Substances", in *Journ. Hist. Med. and Allied Sciences*, 16 (1961), pp. 394-410.

۲۸. من میکروفیلم (ش ۳۰۱۷) نسخهٔ خطی این کتاب را در کتابخانهٔ Barakat Tabbunak اتّحادیّهٔ عرب در قاهره، که پزشکی به نام علی بن ابوالفتوح القُرَشی در ۵۹۷ هـ (۱۲۰۱ م) استنساخ کرده، بررسی کردم.

۲۹. این رساله را پُل سبات P. Sbath ویرایش و به فرانسه ترجمه کرده است (در *Bulletin Inst. Egypte*، ۱۹ ←

آنها بر پزشکان و معلّمان اروپایی نیز تأثیر گذاشت[۳۰].

همکار او، علی بن سَهْل رَبّن طبری (متوفی در حدود ۸۶۰)، راکه به سهم خود نامدار بود، از موطن او آمُل (در ایران) به دربار خلیفه در سامرّاء به‌عنوان پزشک و رجُل سیاسی فراخواندند. فردوس الحکمة او، که در ۸۵۰ به انجام رسید، نخستین و بزرگترین دایرة المعارف پزشکی و علوم طبیعی و فلسفه بود که تا آن زمان به عربی نوشته شده بود[۳۱].

در ۳۶۰ فصل این کتاب، به‌واسطهٔ آشنایی با سُریانی (و محتملاً یونانی) از مؤلفان یونانی نقل کرده و فصل کاملی مُقتبس از تألیفات و حکیمان هندی (اَشتنگهْوادا Aštangahvāda، نیدانا Nidānā و نوشته‌های چَرَکا Charakā و سُشروتا Sušrūtā) بر کتاب خود افزوده است. طبری همچنین شماری از داروهای هندی و ایرانیِ عموماً ناشناخته را ذکر کرده است[۳۲]. وی مؤکّداً به متطبّبان توصیه کرده که اولویّت را به تجویز رژیمهای غذایی محدود بدهند و فقط آن داروهای بسیطی را به کار برند که آزموده شده و سودمندی آنها مجرَّب است. وی روان‌درمانی را هم

→

(۱۹۳۷)، ۵ - ۲۷. نسخهٔ دیگری از آن به نشانی «طب تیمور ۲۳۶» در قاهره هست. برای تفصیل بیشتر ←
Martin Levey," Ibn Masawaih and his treatise on simple aromatic substances", in *Jour. Hist. Med. and Allied Sciences*, 16 (1961), pp. 394-410.

30. J.C. Sournia and G. Troupeau, "Bibliographies critiques de Jean Mésué et Mésué le Jeune", in *Clio Mediea*, 3 (1968), pp. 109-16; Leclere, *Histoire*, vol. 1, pp. 105-11; and Abūl-Faraj Gregorios Barhebraeus (d. 1286), *Tarih moḫtaṣar al-duwal*, ed. Anṭūn Sālihānī, Beirut, 1958, pp. 131-44.

۳۱. فردوس الحکمة را محمد زُبَیر صِدّیقی ویرایش و با مقدمه‌ای چاپ کرده است (برلین، ۱۹۲۸). نیز ←
Browne, *Arabian Medicine*, pp. 37-46, and Hamarneh, *Bibliography* 1964. pp. 106-7.
نسخه‌ای از حفظ الصحّة طبری به شمارهٔ ۵۷۸ در کتابخانهٔ Bodleian موجود است.

۳۲. عنوانهای این ۳۶۰ فصل را مایرهوف در این مقالهٔ سودمند خود ترجمه کرده است:
"'Alī aṭ-Ṭabarī's *Paradise of Wisdom*", *Isis*, 16 (1931), pp. 6-54.
من نسخهٔ Arund Or. 41 این کتاب را نیز در بریتیش میوزیوم (موزهٔ بریتانیا) بررسی کردم.

توصیه کرده است، چنانکه می‌گوید بعض بیماران از شنیدن سخنان تشویق‌آمیز، حالشان بهتر می‌شود یا از شنیدن خبر بَد در بارهٔ بیماری خود، حالشان بدتر می‌گردد. داستان آموزگاری را ذکر می‌کند که، گرچه از تندرستی بهره‌مند بود، زن خود را سرزنش می‌کرد چرا توجهی به کسالتِ او نمی‌کند، در صورتی که احساس او نتیجهٔ اشارات شیطنت‌آمیز شاگردان او به رنگ‌باختگی موهوم چهرهٔ او بود[۳۳].

در جُندی شاپور در جنوب غربی ایران، هموطن و معاصر طبری، سابور/ شاپور بن سَهْل (متوفی ۸۶۹)، الأقْراباذین الکبیر را در داروهای مرکّب، مقدار استعمال و کنش درمانی آنها تألیف کرد، که نخستین دارونامه به عربی برای استفادهٔ پزشکان، داروخانه‌های بیمارستانی و دکانهای خصوصی «عطّاری» بود. با هر نسخه‌ای، سابور بیماریهایی را که آن نسخه درمان می‌کند، و مقادیر و روشهای استعمال داروهای مربوطه را ذکر کرده است. تأثیر بزرگ این اقرابادین را بر تحوّل داروسازی و دارودرمانی دورهٔ اسلامی در قرون وسطی نمی‌توان انکار کرد[۳۴].

ابو یوسف یعقوب بن اسحاق الِکنْدی، معروف به «فیلسوف عرب» (متوفی در حدود ۸۷۴)، چندین رساله در بارهٔ بعض مسائل پزشکی نوشته است: در بارهٔ داروها و رژیمهای غذایی، داروهای مُسهل، پادزهرها، درمان جُذام، گزش سگِ هار، نقرس، دلْ درد، تبها، وَرَمِ طِحال[۳۵]. ابن القفطی (متوفی ۱۲۸۴) اقرابادینی شامل نسخه‌های برگزیده و مجرَّب را نیز به کِنْدی نسبت داده است. ظاهراً ابن الندیم (متوفی ۹۹۵) تألیف مذکور را نمی‌شناخته است[۳۶]. کِنْدی در این تألیف روشهای

---

۳۳. طبری، فردوس الحکمة، چاپ صدّیقی، ص ۵ ـ ۷ و ۵۳۷ ـ ۵۴۰.

34. Hamarneh, "Sābur's Abridged Formulary, the First of Its Kimd in Islam", in *Sudhoffs Arehiv*, 45 (1961), pp. 247-60; id; "The Rise of Professional Pharmacy in Islam", *Medical History*, 6 (1962), 59-63.

۳۵. ابن جلجل، طبقات، ص ۷۳ ـ ۷۴؛ ابن سعید، طبقات، ص ۵۹؛ ابن أبی اصیبعة، عیون، ج ۱، ص ۲۰۶ ـ ۲۱۴؛ و Hamarneh, Al-Kindī, A Ninth-century Physician, Philosopher, and Scholar", *Medical History*, 9 (1965), pp. 828-42.

۳۶. ابن الندیم، فهرست، ص ۳۷۱ ـ ۳۷۶؛ ابن القفطی، تاریخ، ص ۳۷۰ ـ ۳۷۲.

تهیه و مقادیر مصرف داروهای مرکّب موصوف را با دقّت بیان کرده است. ارجاعاتی در متن این کتاب حاکی از اقتباسهای فراوان از نوشته‌های یونانی، سریانی، هندی، عربی و کُردی و از طبّ عوام است[۳۷].

پزشکی، استانداردهای حرفه‌ای و دارودرمانی دورهٔ اسلامی در آثار حنین و همکاران او به اوج خود رسید و باب پیشرفتهای بزرگی در این زمینه‌ها گشود. مساهمات آنان علاقه به این موضوعات را پدید آورد و روشهای سیستماتیک و خِرَدْ پذیرای برای درمان و آموزش پزشکی بنیان گذاشت؛ الگوهایی برای نظریه‌پردازیها و آزمایشها، اصولی برای داروشناسی و قواعدی برای اخلاق حرفه‌ای وضع کرد، که نه فقط در جهان اسلام بلکه، پس از ترجمهٔ آثار مربوطه به لاتینی در سده‌های دوازدهم و سیزدهم، در اروپا هم پذیرفته و رایج شد[۳۸].

ظاهراً حنین آموزش پزشکی خود را در بغداد در سیزده یا چهارده سالگی در دورهٔ خلافت مأمون (۸۱۳ - ۸۳۳) شروع کرد. به مکتب خصوصی پزشک دربار، ابن ماسویه، پذیرفته شد، اما پس از مناقشهٔ تندی با معلّمش، آن مکتب را ترک کرده با شور و شوق، مطالعهٔ پزشکی خود را عمدتاً به زبان یونانی در جای دیگر ادامه داد[۳۹]. در جُست و جوی متنهای پزشکیِ بیشتر و بهتر به کشورهای همسایه هم سفر

---

37. *The Medical Formulary or Aqrābādhīn of al-Kindī*, tr. M. Levey with a study of its materia mediea, Madison (Wisconsin), 1966.

متن ترجمه شده ظاهراً مشتمل بر فقط گزیده‌هایی از نسخه‌ای قدیمتر، جامعتر و بهتر است. مثلاً، در متن ارجاع به فصلی در بارهٔ «اَقراص» شده است که در خود متن یافت نمی‌شود.

38. Aldo Mieli *et al., La science arabe et son rôle dans l'évolution scientifique mondiale*, rev. by A. Mazaheri, Leiden, 1966, pp. 214-48; C. H. Haskins, *Studies in the History of Medieval Sciences*, Cambridge, Mass., 1924, pp. 6-17, 131-3 and 137-8; G. Sarton, *Galen of Pergamon*, Lawrence (Kansas), 1954, pp. 88-92; Schipperges, "Handschritenstudien in spanischen Bibliothecken zum Arabismus des latinischen Mittelalters", *Sudhoffs Archiv*., 52 (1968) pp. 3-29.

۳۹. سرگذشت حنین را ابن القفطی به طرز بسیار جالبی حکایت کرده (تاریخ، ص ۱۷۱ - ۱۷۷) و ابن أبی اصیبعة ←

کرد. در حدود هفده سالگی، دوتا ازکتابهای جالینوس را برای پشتیبان و مشوّق خود، جبریل بن بَخْتیَشوع، به سریانی ترجمه کرد: یکی فی أصناف الحُمّیات و دیگری، فی القُویٰ الطبیعیّة[۴۰]. همچنین ترجمهٔ عربی شاگرد و همکارش، اِصطِفَن بن بَسیل، از پنج بخشِ فی هَیولیٰ الطبّ پِدانیوس دیوسْکُریدِس را وارسی و اصلاح کرد[۴۱]. پیش از آن، تعداد بسیاری از نوشته‌های بقراطی و آثار جالینوس را ترجمه کرده بود[۴۲]. ترجمهٔ کتاب دیوسکُوریدس (دیسقوریدوس) برگیاهشناسی و گیاهْ درمانی در جهان اسلام و نیز بر تحول و توسعهٔ ترکیبات دارویی و شناخت ویژگیهای ظاهری داروهای خام تأثیر بسیار عمیق و ماندگاری داشت.

در بارهٔ ترجمه‌های عالی حنین، که مطابق با مقتضیات استانداردهای جدید ادبی است، بسیار گفته‌اند، امّا به نوشته‌های خود او، که بالغ بر سی اثر است،

آن را (عیون، ج ۱، ص ۱۸۵ - ۲۰۰) تأیید کرده است. نیز ←

Gotthelf Bergsträsser, *Ḥunain ibn Isḥāq und seine Sehule*, Leiden, 1913.

۴۰. بعدها حنین کتاب اوّلی را به تشویق و درخواست ابوالحسن احمد بن موسیٰ شاکر در حدود ۸۵۴، و دوّمی را به تشویق و سرپرستی اسحاق بن سلیمان به عربی نیز ترجمه کرد.

۴۱. ترجمهٔ عربی تقریباً کامل تألیف شهیر دیوسکریدس رواج گسترده‌ای داشت و چندین نسخهٔ خطی آن هنوز موجود است (مثلاً، در استانبول، ایاصوفیا ۱۰۲۹ و ۳۷۰۳ - ۳۷۰۴). دو دانشمند اسپانیایی، César E. Dubler و Elias Terés، آن را ویرایش و به اسپانیایی ترجمه کرده و با یادداشتها و تعلیقاتی به چاپ رسانده‌اند (در ۶ ج، تِطوان و بارسلون، ۱۹۵۲ - ۱۹۵۷). نیز ←

C.E. Dubler, "Diyuskūridis", *Encyelopaedia of Islam²*, vol. 3, Leiden, 1967; Leclerc, "De la tradvction arabe de Dioscoride", *Jour. Asiatique*, 9 (1867), pp. 5-16; Meyerhof, "Die Materia Mediea des Dioskorides bei den Araben", in *Quellen u. Studien zur Gesch. d. Naturwissenschaften u. Medizin*, 3 (1933), pp. 72-80; Sarton, *Introduction*, vol. 1, pp. 258-60; and Hamarneh, *Bibliography*, pp. 43-44.

42. I.A.U., *'Uyūn*, vol. 1, pp. 197-200; Wüstenfeld, *Geschlohite*, pp. 26-29; Gabrieli, "Ḥunayn", *Isis*, 6, pp. 287-92; S. Strohmier, "Hunayn b. Iṣhak al-'Ibādi", *EI²*, vol. 3, Leiden, 1967; Brockelmann, *GAL*, vol.1, Leiden, pp. 224-27, and *Suppl.*, vol.1, pp. 366-69; Meyerhof in "New Light on Ḥunain", *Isis*, vol. 8, pp. 692-702, eists 129 works of Galen translated by Ḥunayn.

چندان توجهی ننموده‌اند. در تصنیفات خود، حنین نه فقط مطالب نوشته‌های طبّی یونانی و سریانی را تلخیص و رده‌بندی و تنظیم کرده، بلکه تفسیرها و مشاهدات و ملاحظات خود را به آنها افزوده است. بدینسان او مجموعهٔ سامانمندی را پدید آورد که مؤلفان عربی نویسِ سپسین نظریات، مُسلَّمات و تقریرات خود را بر آن بنیان گذاشتند. در اینجا کافی است که برای نشان دادن مساهمهٔ حنین در زمینهٔ پزشکی، مختصراً سه اثر او را ذکر کنیم.

نخست رسالهٔ کوتاه او در بارهٔ حفظ و ترمیم دندانهاست، که نخستین رسالهٔ مستقل شناخته شده در این موضوع است. در این تصنیف، می‌گوید هر کسی که بخواهد سلامت دندانهای خود را تأمین کند، باید نکات زیر را رعایت کند:

۱) از تعفّن خوراکیها و آشامیدنیها در معده بپرهیزد.

۲) از تحریک مکرّر به قَیء (استفراغ) باید پرهیخت، خصوصاً که بیمار معده‌اش بیش از حد تُرش بکند [به اصطلاح امروزی، دچار hyperacidity باشد].

۳) از جویدن صمغها و چیزهای دیگری چون انجیر و خرمای خشک جویدنی بپرهیزد، و از شکستن چیزهای سِفت با دندان اجتناب کند.

۴) از خوردن میوه‌های ترشی که دندانها را «کُند» می‌کند، بپرهیزد.

۵) از خوردن آب بسیار سرد یا یخ، خصوصاً پس از خوردن غذای بسیار گرم، بپرهیزد.

۶) از خوردن غذاهایی که زود فاسد می‌شوند (مثلاً لبنیات و ماهی نمکسود) بپرهیزد.

۷) دندانها را چنان تمیز کند که صدمه‌ای به لثه‌ها نرسد، و در وقت ضرورت داروهای مخصوص بهداشت به کار بَرَد.

بیشتر این دستورها در دندانپزشکی جدید پذیرفته شده است. حنین دستورهایی نیز برای تهیهٔ «سَنونها» (داروهای مخصوص دندانها) و برای تقویت دندانها و لثه‌ها داده است، و بخشی را به «کِرم خوردگی» دندان و دیگر بیماریهای

دندانها و به درمان اینها اختصاص داده است[۴۳].

دوّمی کتابی است حاوی ده مقاله در بارهٔ چشم (کتاب العَشْر مقالات فی العَین)، که نخستین تألیف کامل، سیستماتیک و مصوّر چشم‌پزشکی است که به ما رسیده. این کتاب را برای کحّالان (چشم پزشکان)ای نوشته، که لازم بود پیش از اقدام به درمان مناسب برای فلان یا فلان بیماری چشم، تشریح و فیزیولُژی چشم را بدانند. وی چنین توضیح می‌دهد: «تسکین درد یا عارضهٔ هر اندامی فقط با اعادهٔ آن اندام به حال عادیش میسّر می‌شود. شناخت کُلّ هر اندام از شناخت اجزاءِ مُرکّبهٔ آن حاصل می‌شود. لهذا هرکه بخواهد طبیعت چشم را بداند، باید اجزای تشکیل دهندهٔ چشم را بشناسد، و آنگاه باید وظیفه و عمل هر جزء، چرایی خلقت و شکل آن را بداند، و این که کجا شروع و کجا ختم می‌شود، موضعش در چشم کجاست و وظیفه و اهمیت فیزیولوژیکی آن چیست». مثلاً، حنین بر نیاز به درک وظیفه و کار مغز برای فهم وظیفه و کار چشم تأکید می‌کند. چهار مقالهٔ آخر این کتاب مربوط به خواص و قوای عمومی داروهای ساده و مرکّبی (چه حیوانی و چه معدنی) است (از قبیل «شیاف»ها و «کُحل»ها) که در چشمْ درمانی به کار می‌روند، روشهای تهیه و استعمال آنها. نسخه‌هایی عمدتاً برگرفته از منابع یونانی در اینجا گنجانده شده است[۴۴]. این تألیف به‌طور کلّی بر نوشته‌های سپسین در بارهٔ چشم پزشکی در دورهٔ اسلامی تأثیر بسیار داشت. مثلاً، رازی (۸۶۵ ـ ۹۲۵) تلخیصی به سیاق و سبک خود از بیشتر این ده مقاله فراهم کرد، و علی بن عیسی و چشم پزشکان سپسین نیز مکرّراً از آن نقل کرده‌اند[۴۵].

۴۳. من نسخهٔ خطیِ فی حفظ الأسنان موجود درکتابخانهٔ ظاهریّه در دمشق را بررسی کرده‌ام (حَمارنه، <فهرست نسخه‌های خطی پزشکی ظاهریّه>، ص ۲۲۷ ـ ۲۲۹). ابن مطران در بستان الأطباء، برگ ۲۷، تألیف دیگری از حنین، <دل دردها و درمان آنها> (شامل دو مقاله)، را ذکر می‌کند.

۴۴. م. مایرهوف این تألیف را ویرایش و با عنوانِ The Book of the Ten Treatises on the Eye ترجمه کرده و با مقدمه‌ای بسیار سودمند و واژه‌نامه‌هایی به چاپ رسانده است (قاهره، ۱۹۲۸).

۴۵. همو، مقدمهٔ همان کتاب. نیز ← Julius Hirschberg & J. Lippert, *`Alī b. ʿĪsā Errinerungsbuch für Augenärzte*, Leipzig, 1904, and Hamarneh, *Index of Arabic Manuscripts on Medicine and Pharmacy at the National Library*, Cairo, 1967, pp. 33, 50-57 and 58-59.

تألیف سوّمی حنین که در اهمیت کمتر از دو کتاب مذکور نیست، المسائل فی الطبّ لِلمتعلّمین است که برادرزاده‌اش، حُبَیش آن را تکمیل کرد. این کتاب به صورت پرسش و پاسخ است ــ سبکی که خود حُنین آن را در نوشته‌های عربی پزشکی ابداع کرد. ترجمهٔ لاتینی این کتاب به *Isagoge Johannitus* معروف بود[۴۶]. حنین، به پیروی از مآخذ یونانیِ خود، در این کتاب» صناعت طب را به دو بخش کرده است: تئوری و عمل. از سوی دیگر، صناعت طب را به سه بخش کرده: بررسی احوال و شرایطی طبیعی که هرگاه منقطع یا متوقف یا حذف شود، مورث بیماریها و نشانه‌های اینها می‌گردد. حنین آنگاه احوال و شرایط طبیعی را به هفت گروه فرعی تقسیم می‌کند: عناصر چهارگانه (هوا، خاک، آتش و آب)؛ مزاجها (گرم، سرد، خشک و تَر)؛ اَخلاط چهارگانه (خون، بلغم، صفراء و سوداء)؛ اندامها یا عضوها (اصلی: مغز، دل، جگر و بیضه‌ها؛ و اعضای تابعه یا غیر اصلی)؛ قُویٰ (یا قوّتهای حیوانی و روانی طبیعی)؛ وظایف اعضاء؛ و «ریحهای» (= روحهای حیوانی و روانی طبیعی)[۴۷]. سپس از شش اصل کلّی بحث می‌کند، که اگر متعادل نگه داشته شوند، مایهٔ تندرستی و اگر نامتعادل و نابهنجار گردند، سبب بیماری می‌شوند. این شش اصل عبارتند از: هوایی که تنفّس می‌کنیم؛ چندی و چونی خوراکیها و آشامیدنیها؛ کار و استراحت؛ خواب و بیداری؛ استعمال حُقنه‌ها و داروهای قی‌آور؛ و تأثیرات روانی. خلاصه استدلال می‌کند که «حفظ تعادل این شش اصل کلّی مایهٔ حفظ تندرستی است».

پس از آن، حنین روشها و مقرّرات مربوط به تعیین مقدار خوراک (دُز) داروها را

---

۴۶. من دو تا از چندین نسخهٔ خطی موجود این کتاب را بررسی کردم: نسخهٔ Or. 5725 موزه بریتانیا و نسخهٔ ش. ۲۰۰۳۶ کتابخانهٔ پزشکی دانشگاه قاهره. نیز ← Albert Dietrich, *Medicinalia Arabica*, Göttingen, 1966, pp. 30-44; Hamarneh, *Ẓāhiriyah Catalogue*, pp. 63-73.

۴۷. نوشتهٔ حنین با فصلهای مربوط به لزوم و روشهای تهیهٔ داروهای مرکّب به پایان می‌رسد. تکملهٔ حُبیش با شرح چهار «اَوقات» (مراحل) بیماریها آغاز می‌یابد: مرحلهٔ آغازین، افزایش، بحران و کاهش، و با بحثهایی در بارهٔ تبها و بول به پایان می‌رسد.

بیان می‌کند و توضیح می‌دهد چرا بعض داروها به دُزهای کم و بعض دیگر به دزهای بزرگتر داده می‌شوند. این مقررات شامل هم داروهای بسیط و هم داروهای مرکّب می‌گردد. برای تهیهٔ یک داروی مرکّب، باید دُز دقیق هر یک از اجزای ترکیب را بگیرند و سپس آنها را مخلوط کنند. حنین هشت قاعده برای آزمایش «قوّت» هر دارو بیان کرده است، به این شرح:

۱) دارو نباید حاوی هیچ خصلت اکتسابی و عَرَضی (تصادفی) باشد.

۲) باید برای درمان یک بیماری واحد و نه یک بیماری مرکّب به‌کار رود.

۳) باید برای درمان دو بیماری متضاد به کار رود.

۴) «قوّت » دارو باید معادل «قوّت» بیماری منظور و به نسبت متساوی با آن باشد.

۵) پزشک باید کنش فوری تبرید یا تسخین فلان دارو را ملاحظه کند یعنی باید ببیند آیا فلان دارو پس از تسخین، تبرید می‌کند یا بالعکس؛ در هر دو مورد، این کنش جنبهٔ عَرَضی دارد.

۶) پزشک باید ملاحظه کند آیا فلان دارو در هر بیماری‌ای که به کار رود، سبب همان کنش تبرید یا تسخین می‌شود یا نه، تا بتواند خاصیت طبیعی دائمی را برای فلان بیماری پیشنهاد کرده بدینسان احتمال بروز اثرات عَرَضی را منتفی سازد.

۷) پزشک باید کنش فلان دارو را بر تن (چه تن آدمی چه جانور دیگر) فرد مخصوصی تأیید کند، و نه بر تن فرد دیگری؛ ممکن است که واکنش تن فلان فرد نسبت به آن دارو با واکنش تن دیگری متفاوت باشد. مثلاً، اگر ما دریافتیم که شوکران تن آدمی را تبرید می‌کند، شاید نتوانیم بگوئیم که همان اثر را برای بدن سار (پرنده) و غیره دارد.

۸) باید میان داروهایی که با لخاصّیه تن را تبرید یا تسخین می‌کنند و رژیمهای غذایی‌ای که مادّهٔ بدن را افزایش می‌دهند و سبب رشد آن می‌شوند، فرق گذاشت.

برای کشف قُوا و خواص داروها، حنین این پنج قاعده را توصیه کرده است:

۱) تندی یا کُندی استحالهٔ فلان دارو در تن؛
۲) تندی یا کُندی انجماد فلان دارو؛
۳) طعم دارو حاکی از چیست؛
۴) بوی دارو حاکی از چیست؛
۵) و رنگ آن بر چه دلالت می‌کند.

به گمان من، حنین نخستین پزشک عربی بود که استفادهٔ صحیح از داروهـای مرکّب را توجیه کرد. در کتاب مذکورِ المَسائل فوریّت سفارش یا آمایش داروهـای ترکیبی از جانب بسیاری از پزشکان را در شش مورد زیر توجیه کرده است:

۱) برای درمان بیماریهای مزاجی غیر عادی و عدم تعادل اَخلاطی که غالباً در تن و به طُرق و نسبتهای مختلف روی می‌دهد؛

۲) در زمینه‌ها و حالاتی که در آنها دارو به کار می‌رود؛

۳) برای اصلاح داروهای تلخ و نامطبوع؛

۴) برای تقلیل اثر زیانکار یک داروی قوی با افزودن اجزای مـلایمتری بـه آن دارو؛

۵) برای مقاومت در برابر بیماریهایی که اثرات گوناگون و متضاد دارند، و غلبه بر آن بیماریها؛

۶) امکانْ دادن به پزشک که از داروهای لازم برای مبارزه با بیماریها به محض ظهور نخستین علایم بیماریها استفاده کرده علاج آن را تسریع کند (و نه این که منتظر بروز کامل بیماریها شود). بدینسان، حتی پیش از این که بیماریها قویّاً و با عواقب شدید و خطرناک به بدن حمله‌ور شوند، پزشک آماده مبارزه با بیماریها خواهد بود.

داستانی که مسعودی در مُروج الذّهب نقل کرده روشها، کاربرد و فلسفهٔ اندیشه و عمل پزشکی در سدهٔ نهم را بخوبی نشان می‌دهد. به روایت مسعودی[۴۸]، خلیفه

۴۸. علی بن الحسین المسعودی، مُروج الذهب و معادن الجوهر، ج ۲، قاهره، ۱۳۰۳ / ۱۸۸۶، ص ۲۵۸ ـ ۲۶۱. [آنچه
←

الواثق (۸۴۲ - ۸۴۷)، که حامی و مشوق دانشمندان، پزشکان و فیلسوفان بود، از آنان که در مجلس او بودند این سؤال را کرد: «کیفیّت ادراک معرفت طب و مأخذ اصول آن چیست؟ از راه ادراک حسّی، یا قیاس و سنّت یا عقل؟ یا از طریق استماع روایات و سنّتها؟» در مجلس خلیفه حکیمان برجسته‌ای حضور داشتند: (ابن) بختیشوع، ابن ماسویه، میخائیل، حنین و سَلْمَوَیه. ایشان برای خلیفه توضیح دادند که به سبب نفوذ پزشکی یونانی، بعض پزشکان عقیده‌مندند که تجربه کلید درک صناعت درمان است و اعتقاد واثق دارند که فلان تجربه، هر چند بار تکرار شود، نتیجهٔ واحدی را تحت شرایط و احوال گوناگون خواهد داد. این گروه بر این باورند که هر تجربه از این چهار طریق حاصل می‌شود:

۱) آثار فلان تجربه بر انسان، چه در حال تندرستی و چه در حال بیماری؛

۲) جهت یا راستای اراده یا تفکّر؛

۳) تسرّی نتایج یک تجربه از یک بیماری به بیماری دیگری از همان نوع؛ و همچنین

۴) انتقال کنش آن از اندامی به اندامی دیگر.

دانشمندان حاضر در مجلس خلیفه چنین ادامه دادند: «پزشکان دیگری شیوهٔ روشمند (متُدیک) را برای آموختن پزشکی اتخاذ کردند. ایشان موضوع ارزش تحقیق در بارهٔ بیماریها و علل بِلافصل بیماریها را مورد سؤال قرار دادند، و بر نیاز به تعیین قواعد عمومی برای درمان تأکید می‌کردند. تحقیق در طرز عمل داروها بر بیمار و بیماری را با ملاحظهٔ شرایط موجود لازم می‌دانستند، و مصرّاً می‌گفتند که هیچ دو حالت متضادی نمی‌تواند در یک مورد و در یک زمان در بیماری وجود

→

نویسندهٔ این مقاله از گزارش مبسوط مسعودی تلخیص و نقل کرده ناقص، نادرست و گاهی نامفهوم است علاقه‌مندان می‌توانند به متن کامل عربی آن در چاپ جدید و بسی بهترِ Charles Pellat ، بیروت، ج ۴، ۱۹۷۳، پاراگرافهای ۲۸۵۷ - ۲۸۶۱، ص ۳۷۷ - ۳۷۹؛ مراجعه کنند. ـــ مترجم].

داشته باشد. به عبارت دیگر، وجود یکی به معنای عدم دیگری است. معتقد بودند که بدنهای جانوران (شامل انسان) در اثر تغییر زیستگاه، هوای محیط، مقدار و نوع ورزش بدنی («ریاضت») و استراحت، خوراکیها و آشامیدنیها، خواب و بیداری، تخلیهٔ فضولات بدن و نیز اثرات هیجانات و حالات روانی (غم، ترس، خشم و جز اینها)، تغییر می‌کند. دیگر این که تأکید می‌کردند که پزشکان و دانشجویان پزشکی باید طبع و وظایف بدن و اعضای آن را در حال بیماری و تندرستی ملاحظه کنند و در مدّ نظر بگیرند.

در ارتباط با رژیم غذایی و دارودرمانی، بعض حکیمان اهمّیت رنگها، مزه‌ها، بویها و قوام داروها و درجهٔ عمل اینها (مثلاً، تبرید و اِسخان) بر بدن را خاطرنشان می‌کردند، اما بعض دیگر اصرار می‌ورزیدند که بهترین شواهد برای ارزیابی طبع رژیمهای غذایی و داروها را باید در کنش اینها، با صَرفِ‌نظر از مزه و رنگ، در بدن انسان یافت. این نظرات که با انشعاباتی در دورهٔ قرون وسطای اسلامی رونق داشت به اروپا نیز منتقل شد و تا روزگاران نو بر تفکّر و آموزش و عمل پزشکی (طبابت) حاکم بود[۴۹].

۴۹. ← این مقالهٔ بسیار جالب:

Melvin P. Earles, "Early theories of the mode of action of drugs and poisons", *Annals of Science*, no. 2, 17 (1961-63), pp. 97-110.

ادلهٔ ریاضی ابو یعقوب کندی بر نفی جهان نامتناهی*

عباس طارمی
دانشجوی کارشناسی ارشد فلسفه علم دانشگاه صنعتی شریف

مقـدمـه

جهان هستی، متناهی است یا نامتناهی؟

فلاسفه یونان باستان پاسخهای متفاوتی بر این سؤال داده‌اند، مثلاً ذیمقراطیس که به وجود خلاء و ذرات تجزیه‌ناپذیر شناور در آن معتقد بود، جهان را نامتناهی میدانست.

حال آنکه فیثاغورس و پیروان او به جهان متناهی اعتقاد داشتند و بر این باور بودند که جهان نامحدود نمی‌تواند غایت داشته باشد و بالنتیجه ناقص خواهد بود.

این نظر فیثاغورسیان در افکار افلاطون و ارسطو نیز انعکاس تام داشت.

ارسطو مخصوصاً مدافع سرسخت جهان متناهی بود و این اندیشه را با دلایلی فلسفی مطرح می‌کرد.

در عصر تمدن اسلامی نیز ابویوسف یعقوب بن اسحاق کندی (۱۸۵ - ۲۵۲ هـ. ق) فیلسوف بزرگ اسلامی نظر ارسطو را پذیرفت ولی با دلایلی مبتنی بر منطق ریاضی به اثبات آن پرداخت.

در این مقاله پس از مروری بر اندیشه گذشتگان دربارهٔ جهان متناهی به تحلیل براهین کندی می‌پردازیم.

---

*. نگارنده از راهنمایی‌های ارزنده آقای دکتر جعفر آقایانی چاوشی سپاسگزاری می‌کند.

۱ ـ دلایل ارسطو درباره تناهی عالم

ارسطو بر آن است که گرچه وسعت عظیم عالم مادی بـه انـدازه‌ای است کـه تصورش برای انسان مشکل است با این وجود نمیتوان نتیجه گرفت که ضرورتا این امتداد واقعی هیچ نوع انتهای واقعی نداشته باشد. ارسطو قائل به نفی بی نهایت بالفعل است و وجود جسم بی نهایت بالفعل را مستلزم نوعی تناقض می‌داند.

یک امتداد نامحدود بالفعل مقتضی وجود واقعی هیئتی است که هیچ حـد و مرزی نداشته باشد در حالی که هرگونه هیئت طبیعی علیرغم بزرگی آن ناگزیر از آن است که محصور در سطحی بوده و بوسیله سایر هیئت‌های موجود محدود شده باشد در غیر اینصورت فضایی برای سایر هیئت‌ها باقی نمی‌ماند[۱].

بصورتی مشابه ارسطو اظهار می‌دارد که در مورد کل عالم مادی نیز ممکن نیست فکر کنیم که از امتداد بی نهایت بالفعل برخوردار است و نظریه بی نهایت بودن عالم طبیعی که بوسیله ملیسوس الثایی بیان شده را رد و انکار می‌کند[۲].

استدلالهای ارسطو بر نفی جسم بی نهایت بالفعل مبتنی بـر نـظریه جـهات و عناصر چهارگانه فیزیکی وی می‌باشد که به شیوه برهان خلف بیان میکند. چنانکه در طبیعیات چنین می‌آورد که:

«اگر فرض شود که جسم نامتناهی مرکب است، عناصری از آنها ترکیب شده است که یا نامتناهی‌اند یا متناهی. حال اگر یک عنصر نامتناهی است و عنصر یا عناصر دیگر متناهی، در آن صورت اولی (عنصر نامتناهی) دومی (عنصر یا عناصر متناهی) را محو می‌کند و حال آنکه برای دو عنصر محال است که نامتناهی باشند زیرا یک عنصر نامتناهی مساوی کل جسم خواهـد بـود، دربـاره عـناصر مـتناهی ترکیب چنین عناصری یقینا یک جسم نامتناهی نخواهد ساخت.»[۳]

خلاصه از دیدگاه ارسطو جهان متناهی می‌باشد[۴].

---

۱. زروتاس و گرین وود ـ «بی‌نهایت ریاضی» ـ ترجمه مختاری گرگانی ـ در کتاب فلسفه ریاضی، تهران ۱۳۵۹ ـ ص ۱۵۲.

۲. همان ـ ص ۱۵۲.

۳. کاپلستون ـ تاریخ فلسفه ـ ج ۱ ترجمه دکتر مجتبوی تهران ۱۳۶۸ ـ ص ۳۷۰.

۴. در این مورد به طبیعیات ارسطو ترجمهٔ مهدی فرشاد صص ۱۱۶ ـ ۱۱۵ مراجعه شود.

۲ ـ نامتناهی در تفکر مسیحی

تفوق و برتری خیر بر سایر معانی در تفکر یونانی موجب آن گردید که افلاطونیان وجود را تابع خیر سازند. در حالی که مسیحیان بر خلاف آنان به حکم وحی الهی در «سفر خروج» تفوق را از وجود می‌دانند و خیر را تابع وجود می‌شمارند. خدا به سبب این که کامل است وجود ندارد بلکه به سبب این که وجود دارد کامل است و همین فرق اساسی باعث آن می‌گردد که نفس کمال خدا را دال بر آن بگیریم که باید کل حدود را از خدا سلب کرد و به عدم تناهی او قائل شد.

کمال خدا چون کمال وجود است تنها به معنی تمامیت نیست بلکه به معنی مطلق یعنی عدم تناهی است[۵].

اگر خیر ارجح شمرده شود مستلزم قبول حدود است و به همین سبب بود که یونانیان باستان عدم تناهی را بمعنی عدم کمال می‌گرفتند. برعکس، وجود برای اینکه در شأن خدا باشد از خیر گرفته می‌شود. چون وجود فاقد هیچ چیز نمی‌تواند باشد لازم می‌آید که کامل باشد و خیر خود جنبه‌ای از وجود بشمار می‌رود. بدین ترتیب ازکمال وجود تنها تمامیت آن لازم نمی‌آید بلکه جمیع حدود طرد می‌گردد و با همین سلب حدود عدم تناهی به معنای ایجابی آن برای وجود حاصل می‌شود[۶].

بدین معنی عدم تناهی یکی از صفات اصلی خدا در عقاید دینی مسیحیان است و بعد از وجود همین صفت است که معنی خدای مسیحی را از تصوراتی که دیگران دربارهٔ خدا دارند تمیز می‌دهد[۷].

متألهان مسیحی در قرون وسطی جملگی در این باره متفق بر آن بودند که اثبات وجود خدا با اثبات وجود نامتناهی هر دو یکی است و این بی شبهه بدان معنی است که، تا وجودی که نامتناهی باشد اثبات نشود وجود خدا به ثبوت نمی‌رسد. از

---

۵. اتین ژیلسون ـ روح فلسفه قرون وسطی ـ ترجمه ع. داوودی، تهران ۱۳۷۰ ـ ص ۸۰.
۶. همان.
۷. همان ص ۸۱.

همین‌رو دونس اسکاتس می‌گوید: «آیا در بین کائنات شیئی وجود دارد که آن را بتوان نامتناهی دانست»[۸].

جواب به این سؤال منحصر بود به وجود و خدا و از نظر شرع مسیحی امر دیگری مانند جهان مادی نمی‌توانست نامتناهی باشد زیرا همه چیز محاط و محدود است و تنها خداست که نامتناهی و محیط بر جهان است.

در اواخر قرون وسطی متفکرینی جسور با رویکردی فیثاغوری و با تأکید بر تفسیر ریاضی جهان، جهان را یک منظومهٔ بی نهایت دانستند که هر چیزی در آن واجد نسبتی ریاضی است. که از جمله آنان می‌توان به راجربیکن، لئوناردو، نیکولای کوزایی و برونو اشاره کرد[۹].

اینان کسانی بودند که راه را برای اندیشه جدید دربارهٔ نامتناهی بازکردند. و راز این گشایش در این بود که جهان را شامل اعراض و اجسام نمی‌پنداشتند بلکه اعداد و نسبت‌های ریاضی را مایهٔ پیوند اشیاء دانستند.

۳ ـ نامتناهی در تفکر جدید

آنچنانکه مورخ و فیلسوف فرانسوی الکساندرکویره به زیرکی دریافته، از مختصات تفکر جدید و دوره تجدید حیات فرهنگی یکی انهدام تصوری است که ذهن بشری ازکل کائنات (cosmos) داشته، یعنی انهدام عالم متناهی که شامل سلسله مراتب منظم ارسطویی است و جانشین کردن جهان (univers) به جای آن، که جهانی است یکپارچه و منظم به سبب وحدت عناصر متشکله و متحدالشکل بودن قوانین آن، و دیگری هندسی وکمی کردن مکان (espace) یعنی جایگزین کردن تصور مکان انضمامی با مکان انتزاعی و متجانس هندسهٔ اقلیدسی[۱۰].

---

۸. اتین ژیلسون ـ روح فلسفه قرون وسطی ـ ترجمه ع. داوودی، تهران ۱۳۷۰ ـ ص ۸۲.

۹. ادوین آرتوربرت ـ مبانی مابعدالطبیعی علوم نوین ـ ترجمه عبدالکریم سروش، تهران ۱۳۶۹ ـ ص ۴۵.

۱۰. دکتر کریم مجتهدی ـ نگاهی به فلسفه‌های جدید و معاصر در جهان غرب، تهران ۱۳۷۷ ـ ص ۷۴ بنقل ازکتاب ←

در نظر ارسطو، مکان امری نیست که همه اشیاء و اعیان ممتد به آن محتاج یا متکی باشند. یعنی چیزی نیست که اشیاء آنرا را اشغال کنند. مکان عبارتست از سطح حائل بیان شی محاط و محیط (حاوی و محوی) و جز به جا و حیز چیزی نیست و صرفاً در داخل جهان و به شرط اشیاء قابل تصور است و خارج از عالم موجود نه خلأست نه ملأ. و خودش هم ماده‌ای است ذواعراض نه امری هندسی لذا در نظام فکری او باید به نحوی هندسه اقلیدسی در درون جهان غیر اقلیدسی قرار گیرد[۱۱].

تجدید حیات نوافلاطون گری و پیشرفتهای ریاضی در عصر کپرنیک که در نجوم وی به اوج خود رسید موجب آن شد که بر نحوه تفکر ارسطویی و عادات به آن غالب آید و به این تفکر رهنمون گردد که اعیان خارجی و نسبت‌های آنها، جوهراً ریاضی است و از این پس بود که مکان مادی، متعلق به حوزه هندسه و بلکه عین آن گردید و حرکت اجسام هم رفته رفته با کارهای کپلر و گالیله به یک مفهوم خالص ریاضی مبدل گشت و در نتیجه جهان واقعی چیزی نیست جز حرکاتی در زمان و مکان هندسی که به روش ریاضی می‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد[۱۲].

در این میان دکارت در پی آن بود که نظام طبیعت و مطالعه امور جسمانی را به یک نظام هندسی محض فروکاهد. وی با قائل شدن به امتداد که جوهر اجسام را تشکیل می‌دهد، عالم را عالمی هندسی و ریاضی می‌گیرد اما در مباحثاتش با هانری مور به یکی از مشکلات فلسفه خود اعتراف می‌کند یعنی دربارهٔ آنچه لاحد می‌داند و آنچه را که نامتناهی تلقی می‌کند. به نظر او فقط خدا به نحو ایجابی نامتناهی است و در مورد گسترش جهان و تعداد اجزای قابل تقسیم ماده، او

←

A.Koyre تحت عنوان:

Etudes d'histoire de la pensee philosophique, paris, 1961.

۱۱. آرتوربرت ـ (ص ۸۴ و نیز مرجع قبلی ص ۷۴.

۱۲. همان ـ ص ۷۴ و ۷۵.

اعتراف می‌کند که نمی‌تواند آنها را بطور مطلق نامتناهی تلقی کند و دربارهٔ آنها اصطلاح لاحد را بکار می‌برد[۱۳]. یعنی اینکه جهان به معنایی محدود است ولی در عین حال نهایت ندارد. دکارت با صراحت بیان می‌کند که برایش مشکل است که برای جهان قائل به مرز و نهایتی بشود ولی در ضمن می‌گوید که نمی‌تواند جهان را نامتناهی بداند زیرا خداوند از لحاظ کمال نامتناهی است و در این مورد ترجیح می‌دهد که لفظ «لاحد» را به کار برد نه اصطلاح نامتناهی[۱۴].

روشن است که دکارت بحق نامتناهی ریاضی و هندسی عالم را از نامتناهی وجودی وکمالی خدا متمایز ساخته و عقیده مور بر قبول امتداد غیر جسمانی[15] را درباره خدا قبول نمی‌کند.

هانری مور فیلسوف افلاطونی کمبریج با قبول اصول علمی رایج عصر خود اما با دغدغه دینی قائل به مکان و فضای نامتناهی است که محل تجلی ذات ربوبی است و نظر خویش را چنین بیان می‌کند:

«من مبرهن ساخته‌ام که این بعد نامتناهی که مکان (فضا) می‌نامندش، فی الحقیقه جوهر است، آنهم جوهری غیر جسمانی. یعنی موجودی است روحی. ظهوری است مشوش و نارسا از ذات ربوبی یعنی تجلی ذات اوست نه افعال او و حیات او[۱۶].»

آیزاک برو (۷۷ ـ ۱۶۳۰) معلم و دوست نزدیک نیوتن نیز در این باب به آراء دینی استناد می‌نماید. وی بر آن است که فضا را موجودی مستقل از خداوند دانستن، خلاف شرع است. همچنین برای ماده وسعت بی نهایت قائل بودن، خلاف کتاب مقدس است. لیکن با کشف نسبت واقعی میان فضا و خدا، می‌توان قائل به وجود عینی برای فضا گردید. خداوند قادر است که ورای این جهان، جهان‌های دیگری بیافزاید و لذا وجود باری از وجود ماده اوسع است و مراد ما از

۱۳. مجتهدی ـ ص ۲۴.

۱۴. همان ـ ص ۲۷.

۱۵. آرتوربرت ـ ص ۱۲۸.

۱۶. همان ـ ص ۱۳۹.

فضا همین قدرت و وسعت عظیم محضر ربوبی است. اگر این وجود مستند به خدای شریعت رااز فضا بگیریم دیگر نمی‌توان آن را امری ذی وجود دانست و جز قوهٔ محض و ظرفیت محض و جز تمکن پذیری محض نسبت به ابعاد نخواهد بود[۱۷].

با این وصف برو، رویکرد دینی و الهی مور درباره زمان و مکان را می پسندد و معتبر می‌شمارد. یعنی او هم معتقد است که زمان و مکان، به منزلهٔ دو موجود مطلق و حقیقی، همان حضور و بقاء ربوبی‌اند و لاغیر.

لکن برو دلبستهٔ نحوهٔ دیگری از رویکرد هم هست، یعنی رویکرد تحصلی علم ریاضی، از این دیدگاه، زمان و مکان دیگر دو موجود واقعی نیستند بلکه فقط حکایت از عظم بالقوه و استمرار بالقوه می‌کند[۱۸].

از نظر وی «خدایی نامتناهی» «وحی دائم» وجود دارد که وجودش محیط بر عالم و موجب مکان است و حیات و بقایش سابق بر خلق اشیاء متحرک و موجب زمان است. اندراج زمان و مکان در ذات تغییرناپذیر نامتناهی الوهی است که آنها را چنین ثبات و وضوح می‌بخشد. زمان «جاری به جریانی یکنواخت» یا «فی حد ذاته مستقل از حرکت» و یا کمیتی مطلق و مستقل از هرگونه مقدار و مقیاس است. بنابراین زمان و مکان جز قوهٔ محض چیزی نیستند و دو موجود نامتناهی، متجانس و مطلق‌اند که از معرفت بشر و حرکت و اجسام، استقلال تام دارند[۱۹].

نیوتن به تأسی از استاد خویش برو فضا و زمان را دو موجود نامتناهی می‌دانست که گواه حضور همه جایی و بقای ازلی باری تعالی هستند.

۴ ـ براهین کندی درباره عدم تناهی عالم

کندی در برخی از نظرات سعی در نزدیک کردن نظرات افلاطون و ارسطو دارد و گاهی نظرات فیثاغوری و اسکندرانی در افکار او تأثیر نهاده اما اساساً مشایی و

۱۷. آرتوربرت ـ ۱۴۷.
۱۸. همان ـ ص ۱۵۱.
۱۹. همان ـ ص ۱۵۲ و ص ۲۰۰.

ارسطویی است و فعالیت عمده او شرح آراء و افکار ارسطوست با این ویژگی که او تحت تأثیر عقاید فیثاغوریان معتقد است که ریاضیات مقدمه ضروری فلسفه و اهتمام او به تحدید مطالب و بیان ریاضی‌وار آنها گویای این مسئله است[۲۰].

چنانچه خود گوید: «از توسعه بحث در مورد حل مشکلات فلسفی خودداری کرده است» و در رسائل خود اهتمام فراوانی به تحدید و تعریف و توضیح فنی دارد و در این مورد بیشتر نقش استادی را دارد که به دقت علاقه بیشتری نشان می‌دهد تا به غور و تعمق در معماهای فلسفی.

کندی عقیده نفی جسم بی نهایت بالفعل و تناهی عالم را از ارسطو اخذ نموده و براهینی بر آن آورده است که یکی از ویژگیهای این براهین ارائه آنها به شیوه اصل موضوعی (Axiomatic) میباشد.

علیرغم ادعای نویسنده مقاله «منطق ریاضی و کندی» - ابراهیم قارو استاد دانشگاه اردن - که وی را از پیشروان منطق ریاضی دانسته[۲۱] بایستی اذعان داشت که در عین حال که کار کندی ارزشمند است اما بیش از این نمیتوان گفت که کار وی در واقع تحدید و تدقیق استدلال و اثبات اوست که البته براساس روش ریاضی تنظیم شده و مبتنی بر «سازگاری» یک سیستم ریاضی است. اما روشن است که مبدع سیستم اصل موضوعی و ارائه دهنده یک سیستم ریاضی سازگار برای اولین بار اقلیدس است و برای کندی که برای ریاضیات اصالتی خاص قائل است پیروی از او برای هرچه دقیق‌تر کردن براهین‌اش از اهمیت خاصی برخوردار است. البته بکارگیری روش اصول موضوعی در براهین فلسفی و استدلال به شیوه ریاضی افتخاری است که برای کندی محفوظ می‌باشد.

روش کندی برای اثبات روش غیر مستقیم و برهان خلف است بدین نحو که ابتدا وجود جسم بی نهایت را فرض گرفته سپس از مقدمات به این نتیجه می‌رسد

---

۲۰. حناالفاخوری و خلیل الجر - تاریخ فلسفه در جهان اسلامی - ترجمه عبدالمحمد آیتی - تهران ۱۳۷۷ - ص ۳۷۶.

21. I Garro. "al-kindi and Mathematical logic" *logic Rev.* No. 17-18p. 146.

که وجود آن مستلزم تناقض می‌باشد[۲۲].

ویژگی ابتکاری استدلال کندی نسبت به براهین ارسطو علاوه بر اینکه از اصول موضوع منطقی بهره می‌گیرد آن است که از استدلال او مبتنی بر عناصر چهارگانه فیزیکی و نظریه جهات ارسطویی نیست بلکه براساس «خواص ریاضی» اشیاء است که با صورت بندی منطقی براهین وی در قسمت بعدی این مقاله به آن خواهیم پرداخت. این امر موجب شده است که گرچه براهین ارسطو کهنه شده و با فیزیک جدید سازگاری ندارد ولی ادله کندی با استفاده از خواص ریاضی اشیاء و بکارگیری شیوه اصل موضوعی از کهنگی و اندارس بدور مانده است.

وی با بکارگیری اصل تجانس استدلال خود را تعمیم می‌دهد و مراد از اندازه‌های متجانس اندازه‌هایی است که تحت جنس واحد قرارگرفته و برهم جنس خود منطبق می‌شود با این اصل براهین کندی برای اندازه‌های خط، سطح و جسم تعمیم می‌یابد.

براهین کندی در چهار رساله از مجموعه آثار وی که محمد عبدالهادی ابوریده منتشرکرده با عناوین ذیل آمده است:

۱ ـ کتاب الکندی فی الفلسفه الاولی

۲ ـ رساله الکندی فی ایضاح جرم العالم ـ الی احمد بن محمد الخراسانی

۳ ـ رساله الکندی فی مائیه[۲۳] مالایمکن ان یکون لانهایه‌له و ماالذی یقال لانهایه‌له

۴ ـ رساله الکندی فی وحدانیه اللّه و تناهی جرم العالم

صورت بندی منطقی براهین کندی[۲۴]

کندی در براهین خود از اصول موضوعی استفاده می‌کند که برخی از آنها را

---

۲۲. برای نمونه مراجعه کنید به استدلال وی در رسائل الکندی الفلسفیه ـ رسالهٔ فی ایضاح تناهی جرم العالم ـ ص ۱۸۶ و ۱۸۷.

۲۳. بمعنای ماهیت.

۲۴. در این بخش از مقاله «کندی و منطق ریاضی» از ابراهیم قارو استاد دانشگاه اردن استفاده شده است.

همچون حقایق بدیهی و برخی دیگر را بعنوان قضیه اثبات می‌کند قبل از اینکه به نحوه اثبات او از این اصول بپردازیم اصول موضوعه او را با علائم ریاضی صورت بندی نموده و علاوه بر علائم مرسوم منطق ریاضی از علائم زیر نیز استفاده میکنیم.

a برابر با b است	$a = b$
a بزرگتر از b است	$a > b$
a کوچکتر از b است	$a < b$
a اضافه میشود به b	$a \cup b$
a کسر میشود از b	a / b
a می‌شمارد b را	$a ! b$
a جزیی از b است	$a \subset b$

اصول موضوعی که کندی در چهار رساله مذکور برخی از آنها را می‌آورد عبارتند از:

اصل A: (معرفی تساوی) $\sim (a > b \vee b > a) \rightarrow a = b$

[الاعظام المتجانسه التی لیس بعضها اعظم من بعض (رساله فی ایضاح - ص ۱۸۵]

اصل B: $a = b \rightarrow |a| = |b|$

|a| برابر است با اندازه a بطوری که b,a متجانس‌اند.

[و المتساویه ابعاد مابین نهایاتها واحده، بالفعل و القوه (رساله فی وحدانیه - ص ۲۰۱)]

اصل C: $a = b \rightarrow a \cup c > b$

[وکل الاجرام المتساویه اذا زید علی واحد منها جرم، کان اعظمها، وکان اعظم ماکان من قبل ان یزاد علیه ذلک الجرم (رساله فی وحدانیه - ص ۲۰۱)]

اصل D: $a|b < a$

[ان کل شی ینقص منه شیء فان الذی یبقی اقل مما کان قبل ان ینقض منه (رساله فی مائیه ـ ص ۱۹۴)]

اصل E: $a|b \cup b = a$

[وکل شیء ینقص منه شیء فانه اذا مارد الیه ماکان نقص منه، عاد الی الموضع الذی کان اولاً (رساله فی مائیه ـ ص ۱۹۴)]

اصل F: (معرفی بی نهایت) $I(a) \Leftrightarrow \sim F(a)$

[و ذوالنهایه لیس لانهایته له (رساله فی وحدانیه الله ـ ص ۲۰۱)]

(I معرف نامتناهی و F معرف متناهی است)

اصل G: $F(a) \wedge F(b) \rightarrow F(a \cup b)$

[وکل جرمین متناهی العظم، اذا جمعاً، کان الجرم الکائن عنهما متناهی العظم، و هذا واجب فی کل عظم وکل ذی عظم (رساله فی وحدانیه ـ ص ۲۰۱)]

اصل H: $a < b \rightarrow \exists c: (c \subset b \wedge a\,!\,b \vee a\,!\,c \wedge c < b)$

[فاذا کان شیئان احدهما اقل من الاخر، فان الاقل یعد الاکثر و یعد بعضه، و ان عدکله فقد عد بعضه (رساله فی ایضاح ـ ص ۱۸۵)]

اصل I: $I(a) \wedge I(b) \rightarrow \sim (a > b \vee b > a)$

[لایمکن ان یکون عظمان متجانسان لانها لها، احدهما اقل من الاخر (رساله فی ایضاح ـ ص ۱۸۵)]

علاوه بر این کندی اصول دیگری را در میان براهینش بعنوان قضیه اثبات میکند:

براهین کندی را می‌توان به دوگونه تقسیم کرد:

۱ ـ اثباتهایی که میتوان آنها را مدل نظری نامید همچون وقتی که موجبات انتخاب اصول را با بازگرداندن حقایق ریاضی درباره اشیاء و تحویل آن به یک همان گویی منطقی ارائه می‌دهد. یعنی با ارائه یک نمونه فیزیکی و نتیجه‌گیری از آن با استفاده از خواص ریاضی اشیاء و تحویل آن به امر بدیهی.

۲ـ اصل موضوعی، که در این حالت قضایای بدیهی جهت اثبات عباراتی درباره اشیاء مورد استفاده قرار میگیرد مانند اصل G همچنانکه خواهد آمد.

در اثبات اصل A پس از معرفی یک مثال که نه $a < b$ و نه $b < a$ نتیجه می‌گیرد که a مساوی b است.

او با دادن یک «نمونه» از یک اصل، مسئله را به خواص ریاضی یک واقعیت فیزیکی تحویل داده و بدینوسیله برهان منطقی و بدیهی خود را با رسیدن به یک تناقض تمام میکند.

در اثبات اصل c هم همان روش دنبال می‌شود و آن بستگی دارد به این واقعیت که $a \subset b \to a < b$ اصول D و E هم به همین صورت اثبات می‌شوند. این دو اصل تنها در رساله سوم (فی مائیه مالایکمن ان یکون لانهایه له و ما الذی یقال لانهایه له) استفاده شده‌اند.

اصول I, H, G در رساله دوم (فی ایضاح تناهی جرم العالم) بر اساس مدلهای خطی اثبات شده است که در اینجا برای نمونه اثبات اصل G را می‌آوریم (مثال و اثبات):

«خط c را به اندازه $|a|$ داریم، خط d را در امتداد خط c به اندازه $|b|$ می‌کشیم. بنابراین $cd = |a \cup b|$ اثبات اصل بر اساس یک تناقض ارائه می‌شود.

فرض کنید $F(a) \wedge F(b)$ و از اینرو $F(|a|) \wedge F(|b|)$ ولی $F(|a \cup b|)$ متناهی نباشد، یعنی $I(|a \cup b|)$ پس بر اساس اصل F خواهیم داشت $I(cd)$.

اگر $C = |a|$ را از cd جدا کنیم و همچنین $d = |b|$ را از آن جدا کنیم. از cd چیزی باقی نمی‌ماند بنابراین $F(cd)$ و این یک تناقض است بنابراین اگر $F(a) \wedge F(b)$ پس $F(a \cup b)$.»

کندی با استدلالهای مشابه اصول H و I را با استفاده از چند حقیقت شهودی (در فهرست اصول نیامده) درباره اندازه‌های متناهی و نامتناهی اثبات میکند که آنها

عبارتند از:

$$a \subset b \vee I(b) \rightarrow F(a)$$

$$F(a) \wedge a = b \rightarrow F(b)$$

و نیز از اصل F و چند اصل دیگر استفاده می‌کند.

اصل H در اثبات اصل I، با ارائه مثالی از دو خط a-b و c-d استفاده می‌شود. بدین‌صورت که

$$I\ (a\text{-}b) \wedge I\ (c\text{-}d) \wedge a\text{-}b > c\text{-}d$$

او با بکارگیری اصل H نشان می‌دهد که $\exists h\text{-}w \subset a\text{-}b$ بنابراین $F(h\text{-}w)$ همچنانکه اگر $h\text{-}w = c\text{-}d$ پس $F(c\text{-}d)$.

در رساله‌های اول و چهارم او یادآور می‌شود که اثبات اصل I با ملاحظه حالت خطی کافی نیست از اینرو استدلال بهتری را بصورت ذیل ارائه میدهد:

اگر $a < b$ و $I\ (a)$ پس $|c| = |a|$ که براساس اصل H داریم: $c \subset b$

$$c < b \rightarrow F\ (c) \rightarrow F\ (|c|) \rightarrow F\ (|a|) \rightarrow F\ (a)$$

این استدلال شامل موارد غیر خطی نیز می‌شود.

اثبات کامل نظریه اصلی کندی بصورت زیر می‌باشد

فرض کنید: $\exists a, I\ (a)$

اگر $b \subset a$

بنابراین: $F\ (b)$ آنگاه دو حالت داریم:

الف) $F\ (a|b)$ ب) $I\ (a|b)$

اگر (الف)، پس براساس اصول E و G داریم:

$F\ (a|b \cup b)$ و چون $a|b \cup b = a$ بنابراین $F\ (a)$.

اگر (ب)، پس براساس اصل D داریم: $a|b < a$ با بکارگیری اصل I (عکس نقیض آن) داریم: $F\ (a)$.

بنابراین وجود یک جسم نامتناهی منجر به یک تناقض شده و نظر ما اثبات می‌گردد.

متن نمونه استدلال کندی که در رساله فی ایضاح تناهی جرم العالم آمده را به تقریر مصحح آن ابوریده در اینجا می‌آوریم:

والدلیل یتلخص فی انـالو و تـصورنا مـن هـذا الجـرم الذی لانـهایه له، جـزواً محدوداً، کان الباقی: إما متناهیاً فکان الکل متناهیاً بحسب المقدمه الرابعه (اصل G: الاعظام المتجانسه التی کل واحد منهما متناه، جملتها متناهیه

$$(F(a) \wedge F(b) \rightarrow F(a \cup b)$$

و إما نامتناهیاً، و هنا اذازید علیه ما فصل منه بالوهم، کان الحاصل کماکان اولاً، تعنی لامتناهیاً؛ لکنه بعد الاضافه اکبر منه قبلها، طبقاً لما یثبته فی المقدمه الثالثه (اصل I: لایمکن أن یکون عظمان متجانس لانهایه لها، احدهما اقل من الأخر.

$$(I(a) \wedge I(b) \rightarrow \sim (a > b \vee b > a)$$

و اذن فاللامتناهی اکبر من اللامتناهی ـ و هذا خلاف[۲۵].

نمونه‌ای دیگر از استدلال کندی را می‌توانید در ضمیمه مقاله ملاحظه بفرمائید.

نتیجه‌گیری:

چنانکه دیدیم کندی همانند ارسطو جهان را متناهی می‌پنداشت، امّا بر خلاف فیلسوف بزرگ یونان، که این پندار را با براهین فیزیکی مدلل میکرد، او تنها به دلایل ریاضی توسل می‌جست.

استدلال فیزیکی ارسطو، با پیدایش نظریات جدید، امروزه اعتبار خود را از دست داده است، حال آنکه ادله کندی، که مبتنی بر ریاضیات است همچنان بقوت خود باقی است.

حتیٰ فلاسفه غربی که چند قرن بعد از کندی با این مسئله مواجه گردیدند از

۲۵. رسائل الکندی الفلسفیه ـ رساله فی ایضاح تناهی جرم العالم ـ ص ۱۸۵ و ۱۸۶.

پاسخی منطقی بدان عاجز ماندند و شیوه متکلمان را در پیش گرفتند یعنی مسئله را با باورهای مذهبی درهم آمیختند.

ضمیمه ـ استدلال الکندی فی لایمکن ان یکون جرم لانهایه له

انه ان امکن ان یکون جرم لانهایه له فقد یمکن ان یتوهم منه جرم محدود الشکل متناه ـ کره او مکعب او غیر ذلک من المتناهیات فان کان جرما لانهایه له، و توهم منه جرم المحدود، فاما ان یکون اذا فردمنه ذلک الجسم المحدود، متناهیا او نامتناهیاً.

فان متناهیاً فان جملتها متناهیه، لانه قد تبین ان الاعظام التی کل واحد منها متناه جملتها متناهیه فیجب من ذلک ان یکون الذی لانهایه له متناهیه و هذا خلف لایمکن.

و ان کان یعدان افراد منه الجرم المحدود ـ لانهایه له، فهو اذا زید علیه ایضا مالانهایه له فانه یعود کحاله الاول، و قد تبین مماقدمنا کل جرمین یضم احدهما الی الاخر، فانها جمیعاً مجموعین اعظم من کل واحد منها مفردا، فالذی لانهایه له و المحدود المزید علیه جمیعاً اعظم من الذی لانهایه له وحده، و هما جمیعاً لانهایه لهما، فقد صارمالا نهایه له اعظم ممالانهایه له اذن، و قد اوضمنا فیما قدمنا انه لایمکن ان یکون جرم لانهایه لاعظم من جرم لانهایه له، و ان کل عظمین متجانسین ـ لیس احدهما اعظم من الاخر متساویان. و قد تبین انه لامساوله، فهو مساو فی العظم له لامساو فی العظم له و هذا خلف لایمکن فلیس یمکن ان یکون جرم لانهایه له.

فجرم الکل لیس یمکن ان یکون لانهایه له، فجرم الکل و اذن متناه و کل جرم یحصره الکل متناه.

(رسائل الکندی الفلسفیه ـ ص ۱۹۳ و ۱۹۴)

دستور ساخت ماشین فلوت‌زن از آپولونیوس

نوشتهٔ کمال شهاده، دونالدهیل و ریچارد لورچ
ترجمه و تلخیص از بهزاد طالبی
دانشجوی کارشناسی ارشد فلسفه علم دانشگاه صنعتی شریف

مقـدمـهٔ مترجم

کاربرد علم در زندگی روزمره سابقه طولانی دارد. من‌باب مثال دانشمندان یونان باستان با اختراع وسایل مکانیکی، بعضی از مشکلات زندگی را حل می‌کردند. برخی از این اختراعات در کتابهای هرون اسکندرانی نیز آمده است.

قسمتی از این رساله‌ها در عصر تمدن اسلامی به زبان عربی ترجمه گردیده، که از آن جمله دستور ساخت ماشین فلوت‌زن می‌باشد که در یک متن عربی، به آپولونیوس نسبت داده شده است. از عنوان «نجار» که برای آپولونیوس ذکر شده نتیجه می‌شود که این شخص همان هندسه‌دان معروف یونانی است. چراکه قدما «نجار» را به معنی «هندسه‌دان» بکار می‌برده‌اند.

از این متن عربی که از زبان یونانی ترجمه گردیده است تاکنون چهار نسخهٔ خطی در کتابخانه‌های لندن پاریس، نیویورک و دمشق موجود است. البته لازم به ذکر است که گرچه این دستگاه بنام دستگاه فلوت‌زن نامیده شده است، ولی در عمل تنها یک نت را می‌تواند بنوازد و در مورد اینکه چگونه این فلوت می‌تواند نتهای مختلف را اجرا کند در رساله مذکور توضیحی داده نشده است.

ساخت ماشین فلوت‌زن بوسیله آپولونیوس نجار

متن عربی که برای ساخت ماشین فلوت‌زن در این مقاله آمده در چهار دستنوشته موجود است که سه تا از آنها کامل هستند و در نسخه‌های قدیمی همراه با رساله‌ای دیگر دربارهٔ ساخت ساعتهای آبی منسوب به ارشمیدس قرار دارند. این نسخه‌ها عبارتند از:

1. British Library, London, Add. 23, 391, folios 2lr-2sr
2. Bibliothe 'que Nationale, Paris, Catalogue by G. de slane, No. 2468, P. 437, folios 39v-42v.
3. Public Library, New York, Indo Persian, Spencer Collection, MS2, Risala-I HakTm Muhammad, folios 18r-20V.

اینها، سه دستنوشته‌ای هستند که برای تهیه متن عربی منقح و انتقادی در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین دستنوشتهٔ دیگری وجود دارد که به هنگام تهیهٔ این مقاله مورد بررسی قرار گرفت و آن نوشته‌ای است مربوط به قرن پانزدهم که در دانشگاه بیروت موجود میباشد. اصل دستنوشته بنظر می‌رسد که ناپدید شده است و ما تنها به چند عکس با کیفیت پایین از آنها دسترسی داشتیم. تا آنجا که از عکسها، سه صفحه از متن و دو تا از تصاویر داخل متن مشخص بود، این نسخه، رونویس دقیقی از دستنوشتهٔ لندن بوده است. و لذا بنظر می‌رسید که هرگونه تلاشی برای بازیابی این متن نمیتواند چیزی اضافه بر دستنوشته‌های مورد مطالعه برای ما داشته باشد.

در تهیهٔ متن حاضر ما به اصول زیر وفادار بوده‌ایم:

۱. هنگامیکه دستنوشته‌ها در موردی با هم توافق داشته‌اند، ما همان صورت را پذیرفته‌ایم.

۲. در مواقعی که دستنوشته‌ها تفاوت داشته است، ما صورتی را انتخاب کرده‌ایم

که بهتر از همه با معانی متن همخوانی داشته و یا صورتی که در دو تا از سه دستنوشته آمده است.

۳. مواردی که داخل کروشه قرارگرفته است در هیچیک از دستنوشته‌ها نیست.

هیچ کوششی برای بازیابی متن اصیل از طریق تصحیح انجام نشده است تا محققین بعدی با متن اصلی برخورد داشته باشند. همچنین در مقالهٔ حاضر قطعه‌ای از نسخهٔ موجود درکتابخانهٔ دمشق به شمارهٔ MS, 4871 آمده است که مجموعه‌ای است از آثار علمی و فلسفی که تنها نیمی از یک صفحه در این نسخه به ماشین آپولونیوس اختصاص یافته است و شرحی مختصر و در بعضی موارد مخدوش از دستگاه است.

ازکارهای مهم دیگری که دربارهٔ این رساله صورت گرفته است، یکی ترجمهٔ آلمانی ویدمن[1] و دیگری خلاصهٔ انگلیسی[2] است از فارمر. دربارهٔ ترجمهٔ آلمانی ویدمن باید قدری با احتیاط سخن گفت. زیرا مشخصاً قسمتی در متن وجود دارد که بنظر می‌رسد عمداً بوسیلهٔ ویدمن مورد توجه قرار نگرفته است تا عملکرد دستگاه قابل قبولتر شود و همچنین یک تصویر مهم نیز حذف شده است.

در این مقاله پس از ارائه متن منقح عربی، ترجمه‌ای از این متن را بدست داده و سپس به تحلیل آن خواهیم پرداخت.

1. E. Wiedemann, *Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. III* reprinted in E. Wiedemann, *Aufsätze zur arabischen Wissenschafts-geschichte*, Hildesheim-New York 1970, vol. I, pp. 59-104. Originally Published in 1905.

E. Wiedemann, "Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. XXXV. Über Musikautomaten", *Aufsätze* vol. II, pp. 47-56. Originally Published in 1914.

2. H. G. Farmer, *The Organ of the Ancients from Eastern Sources*, London 1931.

متن منقح و انتقادی رساله

الرموز: مخطوط باريس: س

مخطوط نيويورك: ك

مخطوط لندن: ن

صنعة آلة الزمر[3] لأبلنيوس النجار الهندسي

نتخذ صندوق مهندم مزفت أو مرصص من داخله كله، طوله[4] أربعة أذرع في عرض أربعة أشبار في ارتفاع شبرين و نصف[5] و يحجب من وسطه بحجاب جاف[6] من جميع نواحيه، فيصير حينئذ خزانتين و يتّخذ في كل خزانة ثقب[7] مفتوح أربعة أصابع مضمومة مهندمة[8] في مثلها ويتّخذ لكل ثقب منها باب مهندم[9] يقع في حومات تنهدم[10] حتى لا يخرج من الهواء مقدار حبة[11]، ويكون كل باب بنرمادجة[12] من داخل معلقة على كل باب مع[13] أرض الخزانة، و نتّخذ في ثلثي ارتفاع كل خزانة سهم على محورين شبيه بعمود الميزان، ويكون أحد رأسيه موازياً لطبق الباب الذي وصفناه. ويكون في هذا الرأس الموازي لطبق الباب الذى و صفناء. و يكون في هذا الرأس الموازى لطبق الباب ثلاث سلاسل معلق بها طرجهارة و كأنها كفّة ميزان معلقة، و يكون في أسفل الطرجهارة رزّة و فيها عمود و في طرف العمود رزة أخرى ثابتة في وسط الطبق و يكون في الطرف الآخر من السهم رمّانة[14] رصاص [و يكون

۳. صنعة آلة الزامر: صفة الزامرن.
۴. طوله: غير واردة في ن.
۵. في ارتفاع شبرين و نصف: في ارتفاع شبر و نصف ك.
۶. و يحجب من وسطه بحجاب جاف: و يحجب في وسطه حجاباً جافاً س.
۷. ثقب: بيت ن.
۸. مهندمة: غير واردة في ن.
۹. ويتخذ لكل ثقب منها باب مهندم: ويتخذ لكل ثقب باب من هذه الأبواب من داخل مهندمة ن.
۱۰. تنهدم: فتنهدم ن.
۱۱. مقدار حبة: مقياس حبة ن.
۱۲. بنرمادجة: نرمادجة س.
۱۳. مع في س.
۱۴. رمانة: زمانة، وردت في ن مراراً أي بنطقة على الراء.

وزنها أيضاً بمثل][15] حتى إذا مالت ارتفع الرأس الآخر من السهم، فترتفع الطرجهارة و يرتفع العمود، و يرتفع الطبق، فيكون الباب حينئذٍ قد الفتح و ارتفع قدر ثلاث أصابع مضمومة[16] و أكثر قليلاً. هذا قدره و قدر العمود، ثم يعمل[17] في الخزانة الأخرى كذلك سواء. و تكون الطرجهارة[18] إذا امتلت ماء تميل و تنجذب إلى أسفل فينطبق الباب، [و تتكي الطرجهارة على العمود و يتكى العمود على الطبق الذي هو الباب][19] فيشتد انطباقه لكي لا يخرج من الهواء شيء، و ترتفع الرمانة الرصاص من الجانب الآخر، هذا إذا كانت الطرجهارة ملأى ماء، فإذا لم يكن فيها شيء مالت الرمانة الرصاص فارتفعت الطرجهارة و الفتح الباب. و يكون في كل طرجهارة ثقب دقيق في أسفلها قريبِ من موضع الرزة. فاحكم هذا غاية الإحكام و زفت الخزانتين لئلاّ يخرج منه شيء من الهواء ثم أطبق الخزانتين من فوق إطباقاً محكماً كهيئة ما عملت بباقيها فيكون حينئذٍ صندوق مصمت ليس يُعلم ما فيه من داخل، و تكون له قوائم قدر شبر و نصف فكأنه صندوق لايشک فيه، ثم اتّخذ فوق هذا الصندوق حوله كله بقدر أربع أصابع داخلة منه حجرة و اتخذ في سقفي الخزانتين اللذين هما[20] طبق الصندوق، بابين نافذين بإزاء الطرجهارتين سواء حتى إذا دخل في البابين شيء، وقع في جوف الطرجهارتين سواء و تكون هذه الأبواب كأن بداخلها بيوت صغار في أواسطها[21] أثقاب، أعني ثقب في سطح كل باب و يركب على كل ثقب أنبوب عدل ليدخل إلى الطرجهارة و لايسرق شيئاً من الهواء. فليكن الصندوق اب و البابين اللذين ينطبقان بهندام و فيهما[22] الرزتين كک و العمودين اللذين في الرزتين ل ل، و الطرجهارتين ه ه، و المحورين و و، و الرمانتين ر ر و بيتي العدل ط ط و أنبوبتي العدل ح ح، [و هذه صورة ذالک][23].

۱۵. الجملة بين الحاصرتين غير واردة في س.
۱۶. مضمومة: مفتوحة س.
۱۷. يعمل: و يعمل ن.
۱۸. و تكون الطرجهارة: و يكون وزن الطرجهارة ن.
۱۹. الجملة: و يجمل عليه العمود و الطرجهارة فيشتد... وردت في س.
۲۰. اللذين هما: الذى هو ن.
۲۱. اواسطها: اوساطها س.
۲۲. و فيهما: اللذَيْن فيهما ن.
۲۳. الجملة بين الحصارتين [ ] غير واردة في س.

ثم اتّخذ من فوق عند طبق الخزانة أبواب تنطبق و يرتفع على كل ثقب مما وصفناه الذي هو العدل باب نرمادجة[۲۴] قضيب طويل محدود، فإذا كان الباب مطبق كان أصل القضيب المتّصل بالباب مرتفع عن وجه طبق الخزانة [و الطرف الآخر البراني من القضيب ساقط على وجه الخزانة][۲۵] الذي هو طبق الصندوق فافهم ما وصفنا. فإذا فعلت هذا بالبابين و أحكمت ذلك إحكاماً جيداً فقدتم عملك لأن كل ما بعد هذا تبع له[۲۶]. وليكن البيتان اب و البابان د د و القضيبان ه ه و الأنبوبان ح ح، ثم اتّخذ في الخزانتين أنبوبين قائمين في أطرافها نافذين و عليها أنبوب آخر معارض. و في طرفي الأنبوب المعترض للأنبوبين، بابين في داخل (يعملان) على عمل أبواب النضاحات[۲۷] التي يقال لها باب المدفع، و يكون في وسط الأنبوب المعترض للأنبوبين أنبوب طوله كطول الناي و هو الذي يخرج منه الصوت، و يثقب كما يثقب الناي و تركب على رأسه الحبّة[۲۸] فإذا فرغت من هذا كلّه و أحكمته، فاتخذ على الحجرة دولاب برحاب الرحا الرومي أو الرحا المولد القائم في سفود و هو الأبرار[۲۹] و في هذا الأبرار الذي في الرحا[۳۰] دوارة مثل رحا الماء سواء، يديرها[۳۱] الماء. و الدوارة تكون ذات أسنان قليلة لتبطئ حركتها، لكي يبطىء دخول الماء. وليكن السفود عدده مثل عدد أسنان الدوارة سواء. ويكون موضع نصب السفود فيما بين البابين سواء. ثم اتّخذ فوق هذه الحجرة، التي فيها الدولاب [ويكون الدولاب مرتفع من وجه الخزانة قدر ذراع فاتخذ حينئذٍ فوق الدولاب][۳۲] خزانة للماء تسع ما شئت و يكون لها ثقب إذا فُتح بثيونه انصب الماء على الرحاب. [وليكن الدولاب دوليكن الماء مرتفع عن وجه الخزانة قدر ذراع فإذا انصب الماء على الرحاب دار الدولاب و

---

۲۴. نرمادجة: بنامادجه ن.

۲۵. الجملة بين الحاصرتين [ ] غير واردة في س.

۲۶. له: غير واردة في س.

۲۷. أبواب النضاحات: أبواب الرصاصات س.

۲۸. الحبة: هي القسم الذي يوضع في الفم من الناي.

۲۹. الأبرار: الأبراز ن.

۳۰. الرحا: البرجات ن.

۳۱. يديرها: التي يديرها ن.

۳۲. الجملة بين الحصارتين [ ] غير واردة في س.

لايكون دوره سريعاً جداً بل يكون][۳۳] بقدر ذلک حتى يكون معتدل الدوران. ثم اتّخذْ في أسفل السفود عند أسفله نصف دائرة صفيحة يكون وسطها عند ثخن البابين[۳۴] اللذَيْن فيهما الصفير و تكون هذه النصف دائرة إذا دارت دخل أولها الذي عند قطرها[۳۵] تحت القضيب الذي هو الباب. فإذا مرت النصف دائرة قليلاً، رفعت القضيب، فإذا ارتفع القضيب ارتفع الباب و دخل الماء من تحت الباب من موضع ارتفاعه وصار إلى البيت الصغير الذي فيه أنبوب العدل و ارتفع فدخل في أنبوب العدل فانصب في الطرجهارة و الماء ينصب[۳۶] بسرعة و الدولاب يتحرک بإبطاء و مالت الطرجهارة و انطبق الباب الأسفل و اتكأ عليه العمود واتكت الطرجهارة على العمود و اختنق الهواء و طلب الخروج[۳۷] فلم يجد مخرجاً إلاّ من الأنبوب، فدخل في الأنبوب حتى صار إلى عطفه ففتح باب المدفع المعلّق عليه من داخل، و مرّ مستوياً فوافى الباب الآخر فدفعه فأغلقه فرجع إلى المنتصف من الأنبوب فخرج من الأنبوب المعترض الذي فيه الزمّارة فزمّر.

فافهم ما وصفنا، فلا يزال يزمر والنصف دائرة تدور بإبطاء تحت القضيب رافعة له و الباب مرفوع لارتقاع القضيب، و لا يزال كذلک و الماء يجتمع في الخزانة حتى إذا تمّ دور النصف دائرة و خرجت جميعها من تحت القضيب، سقط القضيب على وجه أرض الخزانة كما كان أولاً. فانطبق الباب و انقطع الماء، و بدأ طرف الدائرة يدخل تحت القضيب الآخر فارتفع وارتفع الباب و دخل (الماء) إلى أنبوب العدل الآخر في البيت الصغير المصنوع مثل الأول و صار الماء إلى الطرجهارة. فإذا امتلأ فعل مثل فعل الأول سواء و حدث الزمر مثل حدوث الأول متّصلاً به لاينقطع، فلايزال هكذا ما دام الماء يدخل و يخرج ليكون على الدائرة و على نايى موضع

۳۳. الجملة بيت الحاصرتين [ ] غير واردة في ن.

۳۴. عند ثخن البابين: عند نصف ثخن البابين ن، ک.

۳۵. دخل أولها الذي عند قطرها: الذي دخل أولها عند قطرها س.

۳۶. ينصب: و هكذا ينصب س.

۳۷. الخروج: المخرج ن.

لمخرج الريح م ه و على بابي المدفع د د و على مدخل الهواء من الصندوقين اب و هذه صورة الدولاب و نصف الدائرة و المدفع[۳۸].

ثم إن البيت الأول إذا انصب فيه شيء من الماء بدأالماء يخرج من الثقب الذي فيه. فإذا خرج الماء خفّت الطرجهارة و جذبتها الرصاصة[۳۹] التي في الطرف الآخر من السهم فارتفعت الطرجهارة و ارتفع العمود و انفتح الباب فخرج الماء من الخزانة كلّه و تفّرغت ولا تزال الخزانة الأخرى تعمل حتى يبلغ وقتها و تبدأ الأولى التي كانت تفرّغت تعمل ثم تَفْرَغُ هذه، ولا تزال هذه الآلة تعمل ماكان لها ماء[۴۰].

ترجمه دستنوشته

ساخت ماشین فلوت‌زن بوسیلهٔ آپولونیوس

جعبه‌ای در اندازه مناسب که دارای طول ۴ ذراع، پهنای ۴ وجب و عمق ۲/۵ وجب باشد و بوسیله قیراندود شده باشد را تهیه می‌کنیم. در وسط این جعبه یک جداکننده قرار می‌دهیم که تمام گوشه‌های آن مسدود باشد و به این وسیله جعبه را به دو محفظه تقسیم می‌کنیم. در هر محفظه یک سوراخ بطول دقیقاً ۴ انگشت بسته ایجاد می‌کنیم و برای هر سوراخ یک شیر به اندازه مناسب تعبیه می‌کنیم که دقیقاً در داخل سوراخ قرارگیرد به نحوی که ذره‌ای هوا از آن عبور نکند. هر شیر لولایی به درون دارد که شیر را به کف محفظه متصل می‌کند. در دو سوم ارتفاع هر محفظه میله‌ای را روی دو محور شبیه به میله ترازو قرار میدهیم. یکی از دو انتهای میله در راستای پوشش شیری است که آنرا وصف نمودیم. در این انتها، که در راستای پوشش شیر است. سه حلقه وجود دارد که یک کاسه از آنها معلق است و مانند کفه معلق ترازو میباشد. زیر کاسه یک بست فلزی وجود دارد که متصل به یک میله عمودی است و انتهای دیگر میله عمودی هم بوسیلهٔ یک بست به مرکز در شیر

۳۸. و المدفع: غير واردة في ن.

۳۹. الرصاصة: هي الرمانة الرصاصية.

۴۰. في ن و ک فقط كان الختام جملة تتضمن الحمدلله و الصلاة على النبي محمد و آله.

متصل است.

در انتهای دیگر میله یک «وزنهٔ تعادل» قرار گرفته است، بگونه‌ای که وقتی این وزنه به طرف پایین حرکت می‌کند، طرف دیگر میله به طرف بالا می‌آید و بنابراین کاسه هم بالا می‌آید و میلهٔ عمودی هم بالا می‌آید و نتیجتاً در شیر برداشته می‌شود. بنابراین در نتیجهٔ این عمل شیر به اندازهٔ ۳ انگشت بسته، باز می‌شود. سپس ما دقیقاً همین کارها را برای محفظهٔ دیگر هم انجام می‌دهیم. زمانیکه کاسه با آب پر می‌شود، به سمت پایین حرکت می‌کند و در نتیجه شیر بسته می‌شود. کاسه روی میله عمودی قرار می‌گیرد و میله مهار هم روی پوشش قرار میگیرد که همان شیر است. بنابراین شیر محکم بسته می‌شود و هیچ هوایی از محفظه خارج نمی‌شود. «وزنهٔ تعادل» به طرف بالا حرکت می‌کند ـ و این زمانی است که کاسه پر از آب است ـ لیکن وقتیکه در کاسه چیزی نیست، «وزنهٔ تعادل» به طرف پایین حرکت می‌کند و کاسه بطرف می‌آید و در نتیجه شیر باز می‌شود. در هر کاسه یک سوراخ کوچک در زیر کاسه نزدیک به بست فلزی وجود دارد.

این اعمال را باید با دقت انجام دهید. محفظه‌ها باید بوسیلهٔ قیر اندود شود تا هیچ هوایی از آنها خارج نگردد. سپس بالای هر دو محفظه باید مثل سایر قسمتهای آن پوشانده شود. در اینصورت مثل جعبه‌ای خواهد شد که هیچکس نمی‌داند داخل آن چیست و ۱/۵ وجب طول خواهد داشت، گوئیکه بدون شک یک جعبه است.

سپس در بالای این جعبه و دور محیط کامل آن، یک حفره باندازه چهار انگشت در داخل جعبه تعبیه کنید. روی سقف محفظه‌ها، دو شیر نصب کنید، بگونه‌ای که این شیرها دقیقاً در مقابل کاسه‌ها قرار گیرند و در نتیجه هر چیزی که داخل شیرها شود دقیقاً بدرون کاسه می‌ریزد. داخل این شیرها حجره‌های کوچکی قرار دارند که در مرکز شیر واقع شده‌اند و بالای هر یک، یک سیفون هم‌مرکز وجود دارد که هنگام ورود چیزی بداخل کاسه‌ها از ورود هوا جلوگیری می‌کند. جعبه را ا‌ب، دو شیری که

محکم بسته می‌شوند و بست فلزی دارند ک ک، دو میلهٔ عمودی روی بستها را ل ل، دو کاسه را ه ه، دو محور را و و، دو وزنهٔ تعادل را ر ر، دو حفرهٔ مربوط به سیفون متمرکز کننده را ط ط و دو سیفون متمرکز کننده را ح ح نام می‌دهیم (تصویر داخل دستنوشته). در بالا، روی پوشش محفظه دو شیر تعبیه کنید ـ همراه لولا ـ که روی دو حفره‌ای که اشاره کردیم باز و بسته می‌شوند و مدخل سیفون متمرکز کننده هستند. هر یک از درهای شیرها یک میلهٔ بلند و ممتد دارد و هنگامیکه شیر بسته است، انتهایی از میله که به شیر متصل است از سطح محفظه بلند شده است و سر دیگر آن روی سطح محفظه که همان سطح جعبه است قرار دارد. بنابراین بدان که ما چه چیزی را شرح دادیم. زمانیکه این کار را با دو شیر انجام دهید و طرز کار شما دقیق باشد، شما کار را به اتمام رسانده‌اید زیرا بقیه کار بر همین اساس پیش می‌رود. دو حجره را اب، دو شیر را د د، و میله را ه ه و دو لولهٔ سیفون را ح ح بنامید.

سپس در دو محفظه دو لولهٔ عمودی قرار دهید که انتهای آنها بداخل محفظه فرو رود و بالای آنها لولهٔ بازگشتی دیگری باشد. در دو انتهای لوله‌ای که بین دو لوله عمودی قرار دارد شیرهایی از داخل وجود دارند که نمونهٔ شیرهای آب‌پاش هستند و باب‌المدفع نامیده می‌شوند. در وسط این لوله، لولهٔ دیگری است که طول آن به اندازهٔ یک فلوت است. صدا از همین لوله برمی‌خیزد. این لوله درست مثل فلوت سوراخ شده است و دهانهٔ آن در انتها قرار گرفته است.

هنگامیکه شما تمام این کارها را بدقت انجام دادید، آنگاه یک چرخ آبی مانند آسیاب رومی یا چرخ عمودی تازه اختراع شده روی حجره نصب کنید. این «ابرار» است و در این ابرار که در آسیاب قرار دارد، چرخنده‌ای موجود است که دقیقاً مانند آسیاب آبی با آب می‌چرخد. این چرخنده تعدادی دندانه دارد تا به وسیلهٔ آنها حرکتش کند شود و در نتیجهٔ آن ورود آب کند شود. تعداد دندانه‌های چرخ‌دنده افقی و چرخنده را یکسان تعبیه کنید. محلی که چرخ‌دنده افقی قرار می‌گیرد دقیقاً بین دو نیمه است. سپس بالای حجره‌ای که این چرخ در آن قرار دارد یک مخزن آب

با حجم دلخواه تعبیه میگردد که زیر آن یک سوراخ قرار دارد و از این سوراخ آب بروی پدالها تخلیه می‌شود. چرخ را د بنامید و آب را تا ارتفاع ۱ ذراع از سطح بالایی محفظهٔ چرخ آبی بالا ببرید. وقتیکه آب روی پدالها می‌ریزد چرخ می‌چرخد، چرخش آن خیلی سریع نیست بلکه مقدار آب به اندازه‌ای است که چرخش را معتدل کند.

سپس در زیر چرخ‌دندهٔ افقی و در پایین آن یک نیمدایره قرار دهید که این نیمدایره بصورت صفحه‌ای است که ضخامت مرکز آن با ضخامت شیرهای حاوی سوت برابر است. وقتیکه این نیمدایره می‌چرخد، گوشهٔ آن زیر میلهٔ شیر می‌رود. زمانیکه نیمدایره قدری حرکت می‌کند، میله را بلند می‌کند و وقتیکه میله بلند شود، آب وارد شیر می‌گردد و به فضایی که سیفون متمرکزکننده در آن قرار دارد میرسد و سپس از طریق این سیفون متمرکزکننده بدرون کاسه می‌ریزد. آب بسرعت جاری می‌شود و چرخ به آرامی حرکت می‌کند. کاسه بطرف پایین می‌رود و شیر پایینی بسته می‌شود و میلهٔ عمودی روی آن قرار می‌گیرد و کاسه روی میلهٔ عمودی قرار می‌گیرد. هوا فشرده می‌شود و بدنبال راه خروج می‌گردد ولی هیچ راهی جز به درون لوله پیدا نمی‌کند. هوا وارد لوله می‌شود و به خم لوله می‌رسد، سپس شیر باب‌المدفع را که از داخل روی آن معلق است باز می‌کند و عبور می‌کند تا به شیر دیگر می‌رسد، آن را فشار می‌دهد و می‌بندد. بنابراین هوا به وسط لوله باز می‌گردد و از لولهٔ بازگشتی به طرف جایی که فلوت قرار داده شده است خارج می‌شود. نتیجتاً ایجاد صدا می‌کند.

بدان آنچه راکه وصف نمودیم. تا هنگامیکه نیمدایره به زیر میله می‌رود و شیر بواسطهٔ بلند شدن میله، بلند می‌شود، دستگاه ایجاد صدا می‌کند. این ماجرا ادامه میابد و آب در محفظه جمع می‌شود، تا زمانیکه نیمدایره، نیم چرخش خود را کامل می‌کند و همهٔ آن از زیر میله بیرون می‌آید. میله روی سطح کف محفظه می‌افتد و بنابراین به وضع اول بازمی‌گردد و شیر بسته می‌شود. آب قطع می‌شود و نیمدایره

شروع به وارد شدن زیر میلهٔ دیگر می‌کند. میله بلند می‌شود و به تبع آن شیر بلند می‌شود و آب داخل سیفون متمرکز کنندهٔ دیگر می‌شود و به کاسه می‌رسد و هنگامیگه کاسه پر می‌شود، دقیقاً مانند کاسهٔ اول عمل می‌کند. فلوت مانند قبل به صورت ممتد و لاینقطع کار می‌کند. ماشین به همین صورت مادام که آب وارد و تخلیه می‌شود کار می‌کند. نیمدایره و جایی که هوا از آن بیرون می‌رود به ترتیب م ه، شیرهای آب‌پاش گونه را د د، و ورودی هوا به جعبه‌ها را/ب بنامید.

سپس هنگامیکه آب بدرون کاسهٔ اول می‌ریزد، شروع به خارج شدن از سوراخ زیر آن می‌کند. وقتیکه آب بیرون می‌آید، کاسه سبکتر می‌شود و «وزنهٔ تعادلی» که در طرف دیگر میله قرار دارد آنرا پایین می‌کشد و کاسه بالا می‌آید و میلهٔ اتصال نیز بالا می‌آید و شیر باز می‌شود. تمام آب از محفظه خالی می‌شود. سپس محفظهٔ دیگر همین کار را ادامه می‌دهد تا زمانی که این ماشین آب دارد کار می‌کند.

توضیح عملکرد دستگاه

در این قسمت از مقاله می‌کوشیم تا با استفاده از شکل‌های A_1, A_2 شرح روشنتری از دستگاه فلوت‌زن آپولونیوس ارائه نمائیم.

همانگونه که در شکل مشاهده میشود، دستگاه از یک جعبه تشکیل شده است که ابعاد این جعبه در حدود ۰/۶ × ۰/۹ × ۲/۴۰ متر میباشد و بوسیله یک صفحه جداکننده به دو محفظه تقسیم شده است. در هر محفظه یک میله عمودی قرار دارد که روی آن یک میله افقی مثل میله ترازو قرارگرفته است. در یک طرف این میله مطابق شکل «وزنه تعادل» و در طرف دیگر آن یک ظرف (T_1,T_2) معلق میباشد. کف هر محفظه یک شیر قرار دارد (V_2,V_1) که به وسیله یک میله به ظرف متصل میشود بگونه‌ای که با بالا رفتن ظرف (کاسه) شیر باز میشود و با پایین آمدن آن محکم بسته میشود. در وجه بالایی هر یک از این محفظه‌ها نیز یک حفره وجود دارد (V_4,V_3) که در داخل هر حفره یک سیفون قرارگرفته است. آب از طریق این

سیفون‌ها بدرون محفظه‌ها راه میابد. بالای این جعبه، محفظهٔ دیگری قرار دارد که درون آن مطابق شکل یک چرخ آبی عمودی، یک چرخ‌دنده افقی و یک چرخ‌دنده برای تبدیل حرکت چرخ آبی به حرکت افقی چرخ‌دنده افقی قرار گرفته‌اند. بالای این محفظه نیز مخزن آب قرار دارد.

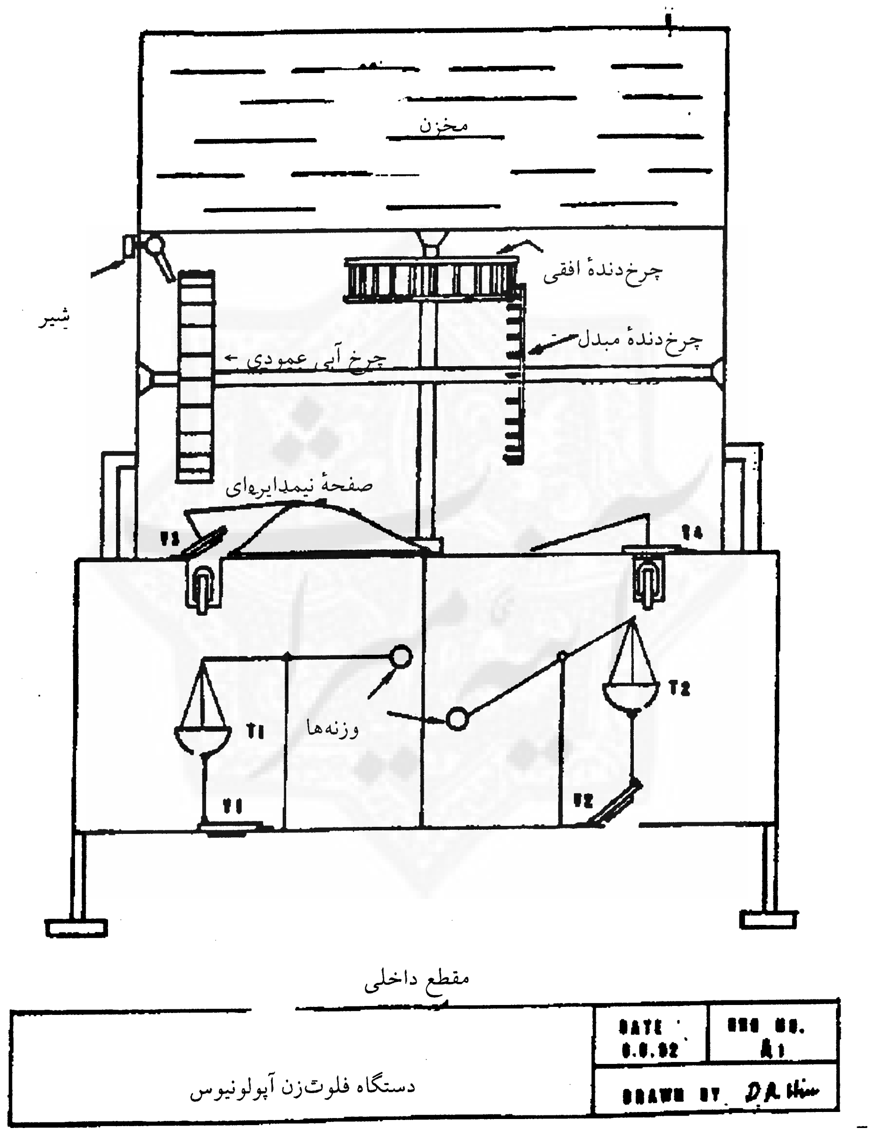
شیوه کار دستگاه به این صورت است که ابتدا آب از داخل مخزن بروی چرخ آبی میریزد و آن را به حرکت درمی‌آورد، با چرخش محور این چرخ، مطابق شکل چرخ‌دنده مبدل به حرکت درمی‌آید و از آنجا که دندانه‌های این چرخ‌دنده با دندانه‌های چرخ‌دنده افقی درگیر است، چرخش آن چرخ دنده افقی را می‌چرخاند. چرخ‌دنده افقی نیز متصل به محوری است که پای این محور یک صفحه نیمدایره‌ای نصب شده است. ضخامت این صفحه هرقدر که به مرکز نزدیک میشود افزایش میابد. با چرخش محور، نیمدایره نیز می‌چرخد و زیر میله‌ای قرار می‌گیرد که متصل به در شیرهای V_3 یا V_4 میباشد. در نتیجه میله به تدریج بالا می‌رود و شیر باز می‌شود. بنابراین آب از طریق سیفون بداخل محفظه وارد می‌شود و درون کاسه میریزد. کاسه‌ای که سنگین شده است پایین میرود و در پایینی محفظه (V_1,V_2 در شکل) را میبندد. در نتیجهٔ این عمل، هوا داخل محفظه متراکم می‌شود.

در وجه دیگر این محفظه‌ها دو لوله قرار دارد که مطابق شکل A_2 به وسیله لوله سومی به یکدیگر متصل شده‌اند. در محل اتصال این لوله سوم دو شیر قرار دارند (V_5,V_6) که تنها از یک طرف باز میشود. در وسط لوله‌ایی که دو لوله اول را بهم متصل کرده است، فلوت قرارگرفته است.

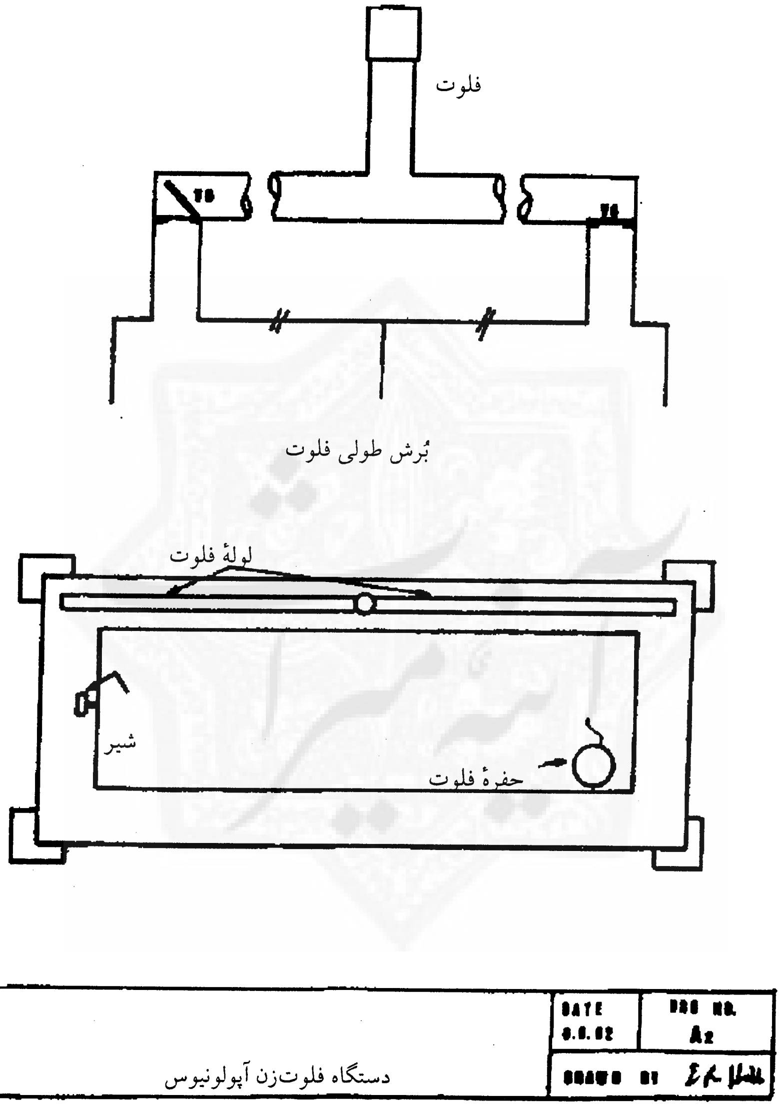
هوای فشرده شده در محفظه وارد لوله‌ها میشود و از آنجا به فلوت میرسد و ایجاد صدا مینماید.

در زیر هر یک از کاسه‌ها یک سوراخ وجود دارد که باعث میشود آب درون کاسه‌ها به تدریج تخلیه شود. لذا پس از مدتی که آب درون کاسه تخلیه شد وزنه تعادل به طرف پایین حرکت میکند و کاسه را به سمت بالا می‌کشد و در نتیجه شیر کف محفظه باز میشود و آب به طور کامل از درون محفظه خارج میشود. در همین هنگام نیم‌دایره به زیر میله متصل به در شیر محفظه دیگر میرود و اعمال توضیح

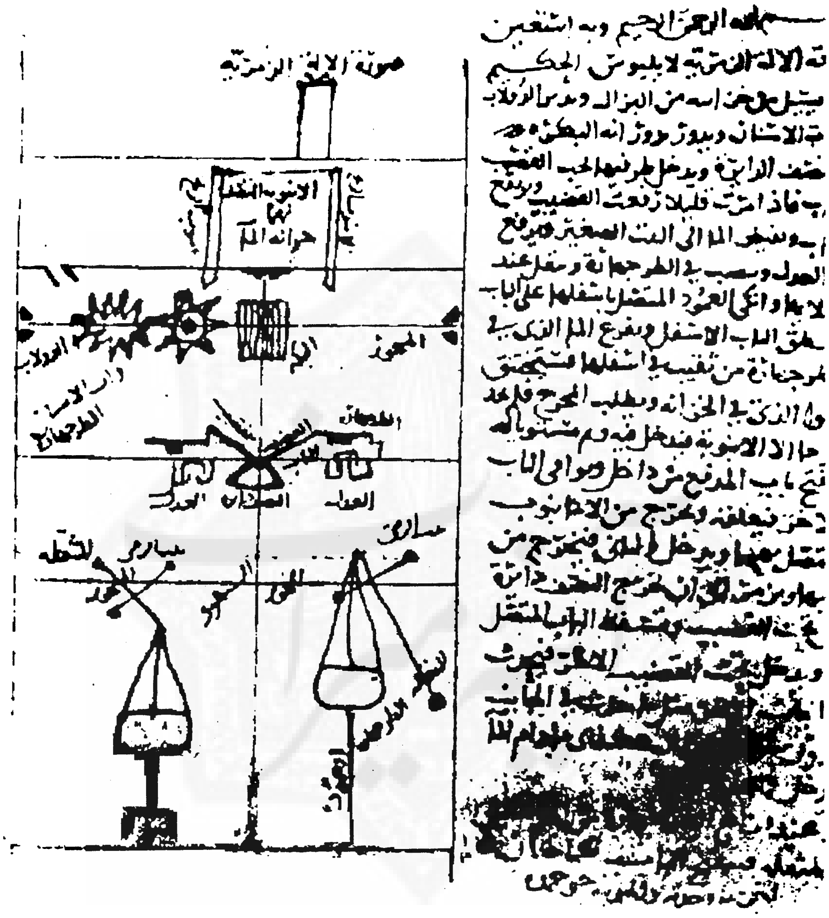
داده شده به ترتیب در مورد محفظه دیگر نیز انجام میشود.



شکل ۱


فلوت
بُرش طولی فلوت
لولهٔ فلوت
شیر
حفرهٔ فلوت
دستگاه فلوت‌زن آپولونیوس

شکل ۲



بسم الله الرحمن الرحيم وبه استعين

عکس صفحه اول رساله از روی نسخهٔ

خطی موجود در کتابخانهٔ دمشق

به شماره 4871, f. 75v

باطری اشکانی

ایرانیان مخترع اصلی پیل الکتریکی بوده‌اند

ناصر کنعانی
استاد دانشگاه صنعتی برلین

در کاوشهای باستانشناسی که در اوایل قرن بیستم در تیسفون، انجام گرفت، باستانشناسان، جسمی را کشف کردند که بعدها بدان «باطری اشکانی» نام نهادند. زیرا پژوهشهای پیگیر آنان مسلّم ساخت که این جسم الکتریسته تولید می‌کرده، و اشکانیان از آن برای دادن پوششی از طلا به اجسام دیگر استفاده می‌کرده‌اند.

حاصل پژوهشهای این باستان‌شناسان را آقای دکتر ناصر کنعانی در مقاله‌ای به انگلیسی مورد بررسی قرار داده‌اند که در همین مجموعه به چاپ رسیده است.

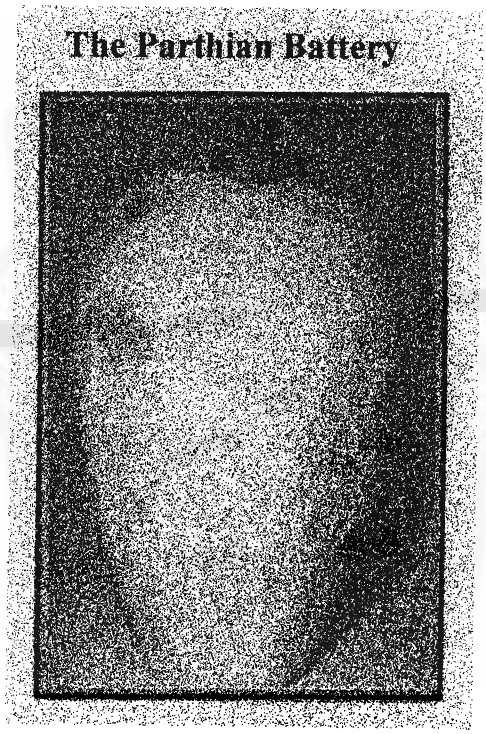
ایشان همچنین خلاصه‌ای از همین مقاله را به شکل زیر به زبان فارسی نوشته‌اند که امیدواریم مورد توجه قرارگیرد.

دبیر ویژه‌نامه

به هنگام عملیات خاک برداری که روز چهاردهم ژوئن ۱۹۳۶ در محل باستانشناسی «خیوت ربوعه» نزدیک تیسفون پایتخت قدیمی اشکانیان انجام گرفت، کارگران به پوششی سنگی برخوردند. در ابتدا باستانشناسان اشیاء پیدا شده را مانند کشفی عادی تلقی کرده و زیاد هیجان‌زده نشدند و همانطور به عملیات حفاری خود ادامه دادند تا اینکه اتفاقی کاملاً غیر منتظره به وقوع پیوست. طولی نکشید که متوجه شدند که در حال بیرون آوردن اشیایی هستند که کاربردی نامعلوم داشتند. ا.ال.هایک در گزارش دقیق خود با عنوان «سلول گالوانیک ربوعه» درباره این اکتشاف چنین می‌نویسد: «محل مورد نظر بلافاصله توسط بخش باستانشناسی عراق مورد مطالعه قرار گرفته و به عنوان یکی از محلات مهم سکونت اشکانیان شناخته شد که دارای اکتشافات مفیدی از نقطه نظر باستانشناسی بود. از این رو بلافاصله به حفاری در این منطقه ادامه داده شد. در جریان این حفاریها حدود ۶۱۳ شی متنوع پیدا شدند که می‌توان آنها را به اشیاء مربوط به خوردن گوشت، بقایای استخوانی، گلدانهای سفالی و شیشه‌ای، مهره، اشیاء سنگی، آجرهایی که روی آنها علائم خاصی حک شده بود، اشیاء فلزی، مجسمه‌های گِلی و غیره طبقه‌بندی کرد. ولی جالبتر از همه این آثار هنری، از نقطه‌نظر علمی، مجموعه عجیبی بود متشکل از یک کوزه بیضی شکل با دهانه گشاد دندانه دندانه با ابعاد (۱۸×۹cm) که در آن یک استوانه مسی قرار داشت که یک سر آن بسته بود و یک میله‌ای آهنی همراه با مقداری خرده قیر در آن قرار داشتند.

باستانشناس آلمانی، و.کونیگ، که مسئول آزمایشگاه موزه عراق بود، این مجموعه را با دقت مورد مطالعه قرار داد و به جستجوی بیشتر برای یافتن جزئیاتی که می‌توانست به فهم هدف و کاربرد این دستگاه قدیمی کمک کند ادامه داد. در حین عملیات حفاری اشیاء مشابهی کشف شدند. تصاویر چنین مجموعه‌هایی را می‌توان در شکل زیر مشاهده نمود. در این تصاویر یک ظرف سفالی، یک استوانه مسی دیواره نازک که در یک انتها بسته است، میله‌ای آهنی و قطعات کوچک قیر

دیده می‌شوند. مسأله گیج کننده این بود که این اشیاء اسرارآمیز چه کاربردی می‌توانستند داشته باشند؟ کونیگ تصمیم گرفت که با این مسئله بطور اصولی برخورد کند، بنابراین دو ماه بعد در ۲۹ اوت سال ۱۹۳۶ یکی از آلات را به طور کامل به دانشگاه وین فرستاد تا توسط پروفسور منگین مورد مطالعه قرار گیرد. متأسفانه هیچ سندی از نتایج این تحقیقات در دست نیست.



در مقاله‌ای تحت عنوان «سلول گالوانیک عهد اشکانیان» که در سال ۱۹۳۸ منتشر شد، کونیگ برای اولین بار این وسیله را یک سلول گالوانیک نامید و این تئوری را مطرح نمود که اشکانیان از چنین وسیله‌ای برای پردازش سطح استفاده می‌کرده‌اند.

او در گزارش دقیق خود عکسی از اصل دستگاه و شکلی که خود رسم کرده بود،

ارائه داد تا فرضیه خود را ثابت کند. از طرح او متوجه می‌شویم که در ظرف سفالی میله آهنی بطور عمودی طوری در استوانه مسی قرار می‌گیرد که با آن تماسی نداشته باشد. این عدم تماس بوسیلهٔ مقداری قیر تأمین می‌گردد.

فرض کونیگ این بود که وسیله‌ای اینچنین اگر پر از محلول مناسبی باشد به راحتی می‌تواند بعنوان یک سلول گالوانیک عمل کرده و جریان برق ایجاد کند.

او درکتابش نه سال در عراق، که به سال ۱۹۴۰ به چاپ رسید، دربارهٔ کاربردهای احتمالی این وسیله شگفت‌انگیز شواهد بیشتری ارائه داد.

در همان سال روزنامه نوین لایپزیگ، چاپ آلمان خبر این کشف شگفت‌انگیز را چاپ کرده و اظهار کرد که اشکانیان ظاهراً موفق به استفاده از یک دستگاه جهت ایجاد لایه‌های طلا و نقره روی سایر فلزات شده بودند.

کشف سلول گالوانیک اشکانی با قدرت آبکاری در بعضی ازکتابهای مرجع در زمینه آبکاری الکتریکی بطور اختصار شرح داده شده است. دو مثال زیر ازکتابهای تاریخچه آبکاری برقی چاپ ۱۹۵۹ و آبکاری برقی مواد پلاستیک چاپ ۱۹۷۷ برگرفته شده‌اند: «اشیاء مشابهی در میان بقایای تمدن اشکانی یافت شده‌اند. ولی هیچیک از آن به اندازه یکی سالم نمانده است. گفتنی است که بقایای میله‌های آهنی و مسی که درکنار ظرف سفالی یافت شده‌اند، به مثابه میله‌های ارتباطی و یا قطعات یدکی به کار می‌رفته‌اند.»

«مدتی پیش تعدادی ظروف دهانه گشاد سفالی با قطعات فلزی در درونشان کشف شدند، که احتمالاً از آنها به عنوان افزار آبکاری استفاده می‌شده است. میله‌های آهنی که در مرکز لوله‌های مسی قرار می‌گرفتند بوسیله قیر به ظرفها متصل می‌شده‌اند و با استفاده از سرکه و اسیدسیتریک این سلول گالوانیک قادر به ایجاد جریان برق بوده است. این دستگاه دقیقاً مانند اولین سلول گالوانیک ساخت ولتا در حدود سال ۱۸۰۰ می‌باشد. ولی ما نمی‌دانیم که هدایت الکتریکی اولیه چگونه آغاز می‌شده است و اصلاً آبکاری الکترکی انجام می‌شد یا خیر.»

از زمان کشف این اشیاء در جوامع علمی کنجکاوی بسیاری برانگیخته شده است.

دانشمندان و متخصصین بسیاری از کشورهای مختلف جهت رد یا قبول تئوری پیشنهادی کونیگ مبنی بر کاربرد واقعی این وسایل حیرت‌انگیز و گیج کننده، تحقیقات آزمایشگاهی وسیعی انجام داده‌اند. در زیر سعی شده که نکات مهم این فعالیتها به ترتیب زمانی ارائه شوند.

یکی از دلایل قاطع کاربرد این دستگاه (که از این پس آنرا «باطری» خوانده‌اند)، زمانی بدست آمد که یکی از مهندسین جنرال الکتریک واقع در پیترفیلد آمریکا در سال ۱۹۴۰ موفق به ایجاد جریان برق در دستگاهی نظیر سلول گالوانیک اشکانی شد.

شواهد انکارناپذیر مبنی بر صحت احتمالی ادعای کونیگ توسط دانشمندی آمریکایی در سال ۱۹۶۰ ارائه شدند.

هایک در گزارش خود در این رابطه چنین می‌نویسد:

«در اینجا جالب است که تحقیق گسترده آقای جان ب.پییرچینسکی از دانشگاه کارولینای شمالی در ماه مارس ۱۹۶۰ را دربارهٔ این کشف شگفت‌انگیز عنوان کنیم. آقای پییرچینسکی با نمونه‌های مشابه این دستگاه تحقیقات آزمایشگاهی انجام داده و نتایج بسیار دلخواهی بدست آورده است. وقتی که وی از محلول ۵ درصد سرکه بعنوان الکترولیت استفاده کرد، از هر سلول به مدت هجده روز ۱/۵ ولت جریان بدست آمد. او عقیده دارد که این برای آبکاری الکتریکی نقره بر روی مس کافی است. وی همچنین اعلام می‌دارد که این شیی ممکن است در عملیات آبکاری الکتریکی بوسیلهٔ نقره‌کاران محلی استفاده می‌شده است.

در تابستان و پائیز ۱۹۶۲ آقای و.وینتون از موزه علوم لندن، هنگامی که برای نظم بخشیدن به موزه عراق به مأموریت به آن کشور رفته بود، باطری اشکانی را به دقت مورد مطالعه قرار داد. او در مقاله‌ای تحت عنوان «باطریهای بغدادی قبل از

میلاد» که در سال ۱۹۶۲ در ژورنال باستانشناسی و تاریخ عراق «سومر» به چاپ رساند، مشاهدات خود را بصورت زیر خلاصه کرد: «در یک ظرف مسی دیواره نازکی در نظر بگیرید که اندازه آن حدود اندازه باطریهای یک چراغ قوه و در درون آن میله آهنی قرارگرفته باشد که به وسیلهٔ لایه نازکی از آسفالت از پائین و مقداری آسفالت از بالا از بدنه مسی جدا شده است. حال اگر این اشیاء را در مقابل دیدگان یک فیزیکدان یا متخصص برق و یا هرکس دیگری که فقط به طور مبهم درس فیزیک مدرسه را بیاد می‌آورد قرار دهیم، واکنش او چه خواهد بود؟ آیا این اشیاء زنگی را درگوش او به صدا در نمی‌آورند؟ سلول ساده گالوانی و یا ولتا آری، البته! مقداری اسید ـ از هر نوع که باشد، مثلاً سرکه ـ در ظرف مسی بریزند و شگفتا! شما صاحب سلول ساده‌ای هستید که قادر به ایجاد جریان الکتریسیته است.» سپس اضافه نمود: «شاید غرور و تکبر ناشی از پیشرفتهای علمی امروزی برای عده‌ای مانع از باورکردن این حقیقت است که اجداد بین‌النهرینی ما در ۲۰۰۰ سال پیش از پیدایش جریان الکتریسیته آگاهی داشته‌اند.»

بر اساس چنین نتایج تحقیقاتی بود که هـ. هوبر مقاله خود را به عنوان «سلول گالوانیک، باطری ۲۰۰۰ ساله در عصر انرژی هسته‌ای» که در سال ۱۹۷۰ به چاپ رساند با جملات زیر آغازکرد:

«این عنوان تکان دهنده است زیرا تا همین اواخر تصور می‌شد که کشف و مطالعه پدیده گالوانیک یکی از شاهکارهای علوم طبیعی عهد معاصر می‌باشد.».

آرزوی بدست آوردن شواهد بیشتر ازکاربرد واقعی چنین وسایلی در دوران باستان و یافتن اسناد قطعی مبنی بر عملکرد سلولهای آبکاری، همچنان برای بسیاری از دانشمندان و محققان نیروی محرکی به شمار می‌رفت. مطلب زیر شاهدی بر این مدعاست:

«در تابستان ۱۹۷۸ به مناسبت نمایشگاه «سومر ـ آشور ـ بابل» در موزه هلیدس هایم، مصر شناس آلمانی، آرنه اگربرشت، موفق به نشان دادن این نکته شد که حتی

از آب انگور تازه نیز می‌توان الکترولیتی ساخت که شدت جریانی در حدود ۰.۵٪ ولت تولید کند. وی در آزمایش دوم خود این باطری را به یک حمام گالوانیک متصل کرده و مجسمه نقره‌ای کوچکی را در مدت دو ساعت و نیم با لایه طلایی پوشش داد.»

هفته‌نامه آلمانی *Die Zeit* در شماره چهل و پنجم مورخ پنج نوامبر ۱۹۸۲ مقاله‌ای پیرامون این رویداد علمی و آزمایشهای مشابه تحت عنوان اشکانیان ۲۰۰۰ سال پیش از الکتریسیته: استفاده می‌کردند» منتشر کرد و این نتیجه را اعلام نمود که: «اکنون مدارک غیر قابل انکاری وجود دارد که اشکانیان در زمان سزار و کلئوپاترا از راز باطری الکتریکی مطلع بوده‌اند». در سالهای اخیر، پروفسور و.یانسن از دانشگاه اولدنبرگ و همکارانش مطالعاتی وسیع تحت شرایط مختلف در آزمایشگاه انجام داده‌اند، تا چگونگی عملکرد باطری اشکانی را دریابند. در این آزمایشها هم از استوانه‌های مسی بسته و هم استوانه‌های مسی باز استفاده کرده و قادر به نشان دادن توانایی چنین وسیله‌ای در تولید جریان الکتریسیته شده‌اند.

نویسندگان در مقاله‌ای که در سال ۱۹۸۶ تحت عنوان «توسعه و تغییرات فرضیه‌ها در علم الکتروشیمی» دیدگاه خود را در مورد هنر آب طلاکاری اشکانیان چنین بیان می‌کنند: «اشکانیان که بین‌النهرین را در سال ۱۴۱ قبل از میلاد فتح کرده و قرون متمادی بر آنجا حکومت کردند، متخصصان واقعی آب طلاکاری بوده‌اند. پوششهای طلایی آنها بسیار خالص و درخشان هستند. ما اکنون فقط بوسیله روشهای جدید آبکاری الکتریکی می‌توانیم چنین پوششهایی را ایجاد کنیم.»

این محققین نتایج مطالعات دقیق و آزمایشهای مربوط به توانائیهای آبکاری باطری اشکانی را در سه مقاله با عنوان «باطری اشکانی و آب طلاکاری زرگران بغداد» در سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۹۳ به چاپ رساندند.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، آنها شرایط آزمایشی را با استوانه‌های مسی دارای کف و بدون کف بوجود آوردند تا کاربرد سلول گالوانیکی اشکانی راتحت عملکرد

اکسیژن در داخل استوانه مسی یعنی جایی که واکنشهای شیمیایی بوقوع می پیوندد اندازه بگیرند. آنها همچنین سلول گالوانیکی مخصوصی ساختند تا توانایی آب طلاکاری باطری اشکانی را مورد مطالعه قرار داده و لایه‌های طلا بوجود آورند، زیرا مایل بودند آب طلاکاری اشکانیان را تجربه کنند.

این دانشمندان در گزارش خود چنین می‌آوردند:

«جالب است بدانیم که چگونه اشکانیان سیانید طلا را که برای آب‌طلا دادن لازم است ولی در طبیعت وجود ندارد، تولید می‌کردند: بررسی‌ها نشان می‌دهند که اگر طلا زیر چرم فاسد و دباغی نشده کوبیده شود، اکسید شده و تبدیل به ترکیب پیچیده سیانید طلا مانند K[AU(CN)] می‌شود. توضیح دیگر اینست که فرض کنیم طلا را در مایعات گازدار در مجاورت هسته‌های خرد شده میوه قرار می‌دادند. در این صورت، یکی از مواد تشکیل دهنده هسته میوه بنام آمیگدالین یونهای سیانید را بطور هیدرولیتیک جدا می‌سازد. بدین ترتیب طلا پس از واکنش با هوا اکسید شده و ترکیب سیانیدی طلا را بوجود می‌آورد.

با این وجود، فعلاً مجبور به قبول این واقعیت هستیم که حقیقت روشهای آب طلاکاری اشکانیان ممکن است برای سالیان آینده به عنوان معمایی لاینحل باقی بماند.»

یک نکته جالب توجه این است که به اعتقاد بعضی از متخصصین، اشکانیان این وسایل را احتمالاً برای مقاصد دیگری بجز آب فلزکاری به کار می‌گرفتند. یکی از آنها، تا جایی پیش می‌رود که می‌گوید:

«سؤال این است که آیا اشکانیان از این دستگاه به منظورهای جادوگری یا درمانی استفاده می‌کرده‌اند یا خیر ـ شاید آنها با روشی شبیه به طب سوزنی اعصاب بیمارانشان را با این باطریها تحریک می‌کردند. از طرف دیگر شاید آنها احتمال درمان با شوک الکتریکی را انجام می‌دادند. چه بسا که کاهنان اشکانی برای همین منظور تعدادی از این واحدها را به یکدیگر وصل می‌کرده‌اند.»

اینک شایسته است که اندکی درباره چگونگی دست یافتن اشکانیان به این

اختراع عظیم بیاندیشیم. برای یافتن پاسخ این سئوال بغرنج لازم است که اصول آب فلزکاری را در نظر بگیریم: اگر قلعه فلزی را همانطورکه در (شکل ۶) نشان داده شده، در ظرفی حاوی محلول اسیدی قرار دهیم به احتمال زیاد اتمهای فلز، شبکه خود را رها کرده و در حالی که الکترونهای با بار منفی را پشت سر می‌گذارند بصورت یونهای فلزی مثبت وارد محلول می‌شوند. در چند صدم ثانیه، این تجزیه آندی به علت نیروهای جاذبه شدید که بطور الکتروستاتیک بین ذرات باردار متفاوت بوجود می‌آید پایان می‌یابد و در نتیجه یک حالت تعادل دینامیک برقرار می‌شود. حال اگر قطعه فلز دیگری را با خواص متفاوت درون محلول قرار داده و به طریقی، مثلاً با یک سیم، به قطعه فلز اول وصل کنیم، الکترونها از طریق این هادی خارجی به فلز دوم راه یافته و به آن بار منفی بیشتری می‌دهند. نتیجتاً یونهای فلزی دارای بار مثبت که در محلول در حرکتند به سمت فلز دوم که دارای بار منفی است جذب شده و به مجرد تماس با سطح آن بوسیله الکترونها خنثی می‌شوندو در نتیجه فلز دوم با لایه نازکی از فلز اول پوشیده می‌شود.

بدین سان یک ظرف مسی پر از سرکه که در ارتباط مستقیم با پیمانه آهنی آویزان در آن می‌باشد، می‌تواند یک وسیلهٔ آبکاری را تشکیل دهد. در واقع مس و آهن که با یکدیگر در تماس‌اند و بوسیله مایع اسیدی مانند سرکه احاطه شده‌اند، احتمالاً تحت واکنشهای مشابه قرار می‌گیرند. سئوال این است که آیا یکی از اشکانیان بطور تصادفی این پدیده اعجاب‌انگیز را مشاهده کرده و اگر چنین است حتماً به خود گفته که فقط خدا می‌داند به چه علت پیمانه آهنی که در ظرف مسی پر از سرکه آویزان شده با لایه نازکی از مس پوشیده شده است! برای لحظه‌ای تصور کنیم که این داستان اکتشاف اشکانیان باشد. آنگاه چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟ همانطورکه به آسانی می‌توان تصورکرد، افرادی باهوش و به احتمال زیاد دانشمند ایران باستان دیر یا زود از این کشف و اهمیت کاربردی آن آگاه شده و طبیعتاً تصمیم به نگهداری این راز بزرگ در میان خودگرفتند تا مردم عادی از چگونگی عملکرد آن آگاهی پیدا نکنند، زیرا می‌خواستند از این کشف تاریخی بیشترین سود ممکن را برده و مصداق ضرب‌المثل «توانا بود هرکه دانا بود» دانائی و توانائی را ازآن خود کنند.

عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة

الدكتور جعفر آقایانی چاوشي

دكتورا في علم المعرفة و تاريخ العلم و عضو الهيئة العلميّة بجامعة شريف الصناعية

تعريب: دوّن الدكتور جعفر آقایانی چاوشي هذه المقالة بالفارسيّة و عرّبها الدكتور قيس آل‌قيس.

المقـدّمـة

من كان ذابيّنة في العلوم الإسلاميّة يعرف أنَّ القرن الرابع الهجريّ كان سارية بيرق العلوم و الحضارة في كافة انحاء المعمورة، و في هذا العصر الذهبيّ وَضِعَتْ أُسُس و قواعد العلوم الّتي تُسَمَّىٰ اليوم بالجبر و المثلثات و الهندسة العمليّة و الكيمياء و غيرها. و بناءً علىٰ هذا تكون كافة العلوم الحديثة مَدِيْنَةً للعلماء المسلمين. و لكنّ الّذي يدعو الىٰ الأسف أنّ الحضارة العظيمة هذه قد سلكت طريق الإنحدار بعد ازدهار لم يَدُمْ طويلاً و هي كما قال الشاعر المشهور حافظ الشيرازي: «أشرقت و هّاجةً نضرةً، لكنّ السموّ سريع السقوط». و منذ ذلک الحين و الىٰ و قتنا الحاضر خرجت المُبادأةُ في علم الفلسفة من أيدي المسلمين و حطّت رحالها في بلدان الغرب، و السؤال الّذي يطرح نفسه هو، ما هي عوامل سمو العلوم في تلک البرهة؟ و ما هي أسباب الإنحطاط؟ لِمَ انحدر العلماء المسلمون بعد تلک الإشراقة البهيّة و الإكتشافات العلميّة الجذّابة؟ و كيف تمكن الأوروبيون الّذين كانوا في ظلمات القرون الوسطىٰ و التوحش الثقافي يعمهون، أنْ يُسيطروا علىٰ الميدان فجأة و يأخذوا المبادرة من العلماء المسلمين و يرفعوا راية العلم و التكنولوجيا في العالم؟

إنّ الحضارة الأوروبيّة و ديدنها في العنجشهيّة و النظرة الأستكباريّة لمْ تكتفِ بتحقير الحضارات الأخرىٰ ولكنها تسعىٰ الىٰ فرض سيطرتها و حضارتها علىٰ شعوب العالم أجمع.

هذا بالإضافة الىٰ أنّنا نسمعُ في الأونة الأخيرة نغمة الزحف الثقافي الغربي، و الحقيقة أنَّ هذا الزحف الثقافي الغربي قد بدأ منذ سنواتٍ خَلَتْ، و إذا لمّ نتجهَّزْ بسلاحٍ واقٍ فلا نتمكن أن نخرج من هذه المُنازعة النضاليّة فائزينَ.

نعم إنَّ الدخول في هيجاء و وطيس كابن بجهدة خبيرٍ مُطّلع يُحتّمُ علينا معرفة نقاط قوّة وضعف العدو. لذا يجب علينا معرفة العوامل الّتي سَمَت بالمسلمين الىٰ الرفعة و العلو و التقدم العلمي خلال القرن الرابع الهجري، و ذلك لأننا لو عرفنا تلك العوامل نتمكن أن نجعلها دافع الميسرة وَ سُلّم الرُّقي لثورة علميّة تُعيد لأُمّتنا أمجاد العلماء العظماء كالفارابي و ابن‌سينا و ابي ريحان البيروني و البوزجاني و غيرهم. و من الطبيعي سنكون في هذه الحالة كطود شامخ ينطق من موقع القوي المسطير المتمكن اثناء بحث الحضارات، أو الزحف الثقافي.

و بما أنَّ العلوم و الحضارة الأُوروبيّة علىٰ طرفي نقيض مع المعنويات لذا و برغم الدعاية الواسعة الّتي ينشرها الغرب بواسطة وسائل الاعلام الكثيرة المتنوعة لايمكنة أَنْ يكون قائداً أو زعيماً أوهادياً لعالمنا الراهن ولا ناصراً أو ناجياً أو دليلاً أوعوناً له. أمّا نحن أَصحاب الدين الاسلامي صانع البشريّة نتمكّن بواسطة العلم والأخلاق أن نكون رأس النفيضة و قادة رأس الطليعة للمسيرة البشريّة و نصبح الفائزين في صراع «الزحف الثقافي». و بناءً علىٰ ما تقدّم بذلنا ما في وسعنا من أجل تقديم عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة، بهذه السطور و من اللّه التوفيق.

القسم الأوّل:

كيفيّة معرفة عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة:

قالَ عالم الرياضيات الأمريكي هوكبن (Hogben) في كتابه الرياضيات للجميع:

«رياضيات أيّ أُمّة مرآة مظاهر حضارة و تقدّم تلك الأُمّة»[1]. و قد كرَّرنصَّ هذا الرأي المرحوم الدكتور محسن هشترودي في أحد مقالاته. و قد يعتبر هذا الرأي شاهداً علىٰ أنَّ تقدّمَ الرياضيات في أيّ أُمّة دليلٌ علىٰ تقدّم تلك الأُمّة في كافة المجلات العلميّة و الحضاريّة، و ذلک لأنَّ علم الرياضيات أَنبل العلوم جميعاً و ترتبط بعقل الانسان ارتباطاً وثيقاً و مباشراً.

و من أجل معرفة عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة حَسْبُنَا مصنفات و مؤلفات علماء الاسلام في علوم الرياضيات من عصر الخوارزمي يعني عصر النهضة العلميّة الىٰ عصر الشيخ البهائي يعني عصر الركود العلمي. و إذا أحصينا المصنفات الرياضيّة المؤلفة في تلك الفترة و أخذنا بنظر الاعتبار سنة تأليفها و رسمنا رسماً بيانيّاً يمثل التغييرات الّتي طرأت علىٰ تلک العلوم، ثمَّ درسنا منحنيات ذلک «الرسم البياني» وفق مؤشرات علم الاجتماع لتبيّن لنا بأن عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة قد ساير و وافق مخططات ذلک «الرسم البياني» الّذي يبيّن سمو و انحطاط الاجتماع آنذاک.[2]

---

۱. راجع مقدمة كتاب: L. Hogben. *Mathematics for the Milions*, New York, 1946.

۲. هيأالسيد أمان‌اللّه أديبي و بتوجيه كاتب هذه المقالة احصا أيات الكتب و الرسائل المؤلّفة في علم الرياضيات و النجوم من زمن الخوارزمي الىٰ زمن الشيخ البهائی، ثُمّ رسم لها رسوماً بيانيّة، ضمن تقدير نالهُ وضعنا هذه الرسوم في مقالتنا هذه، و نرجو من يرغب الحصول علىٰ تآليف علماء الرياضيات و النجوم أن يواجع المصادر التالية:

* الفهرست لابن النديم.
* تاريخ الحلماء للقفطي.
* كشف الظنون لحاجي خليفة.
* معجم المؤلفين لعمر رضا كمالة.
* هدية العارفين لاسماعيل باشا البغدادي.
* وفيات الأعيان لإبن خلكان.
* فوات الوفيات لصلاح الدين الصفوي.
* كتابشناسي توصيفي منابع علوم اسلامي. (۳ جلد)، تأليف دكتر سيدحسين نصر.

←

الأسم	عدد المؤلفات	سنة التأليف
محمد بن موسى الخوارزمى	۶	۲۳۲
ابوالقاسم الفرقاني	۳	۲۲۷
حبش الحاسب	۷	۲۵۰
محمد بن حسن	۱۳	۲۶۹
ابومعشرالبلخى	۳۶	۲۷۲
محمد بن عيسى الماهانى	۹	۲۷۵
احمد بن داوود الدينوري	۴	۲۸۲
ثابت بن قره الحرّانى	۱۸	۲۸۸
اسحق بن حنين	۱۴	۲۹۸
علي بن ربن الطبري	۴	۳۱۰
فضل بن حاتم النيريزي	۸	۳۱۰
بتاني الحرانى	۴	۳۱۷
ابوزيد البلخي	۲	۳۲۲
سنان بن ثابت	۷	۳۳۱
ابراهيم بن سنان	۶	۳۳۵
ابونصر الفارابى	۴	۳۳۹
اخوان الصفا	۱۴	۳۴۰
احمد بن ابراهيم اقليدس	۲	۳۴۳
ابوجعفر الخازن	۱۰	۳۵۰
علي بن احمد الانطاكي	۷	۳۷۶
ابوالوفا البوزجانى	۱۹	۳۸۸
حامد بن خضر الخجندي	۴	۳۹۰
كياكوشيار الگيلانى	۴	۴۰۰
ابوسهل الكوهى	۲۲	۴۰۵
عبدالجليل السجزي	۳۵	۴۱۵
محمدبن حسين الكرجي	۷	۴۲۰

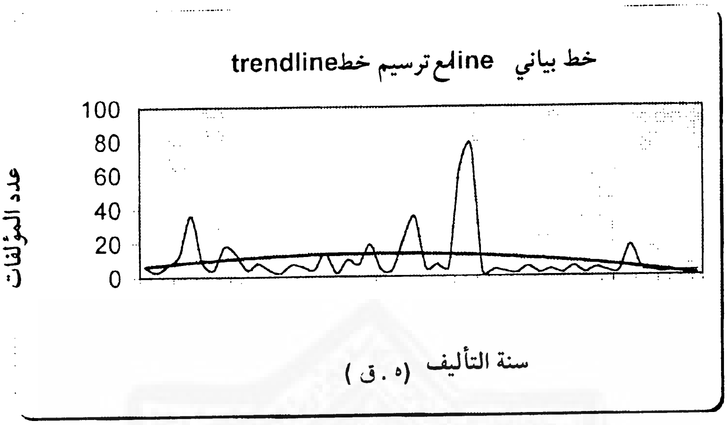
←

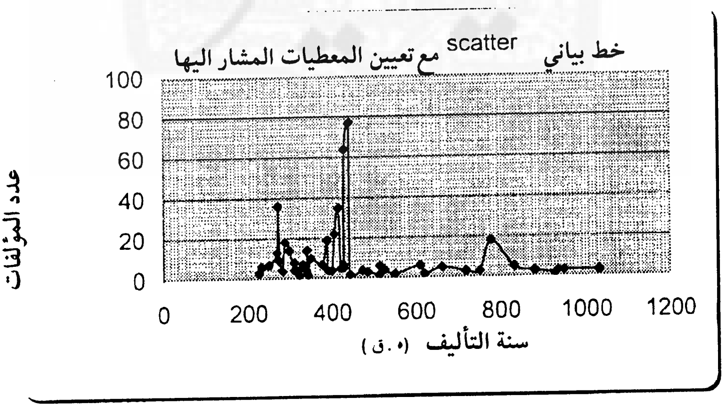
* تاریخ علوم اسلامي، تألیف جلال‌الدین هُمائي.

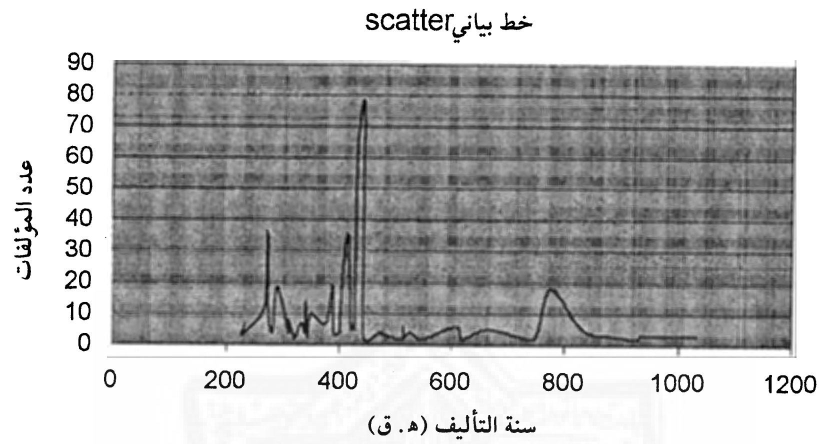
* زندگینامه علمي دانشوران، ترجمه أحمد آرام، حسین معصومی همدانی، و دیکران.

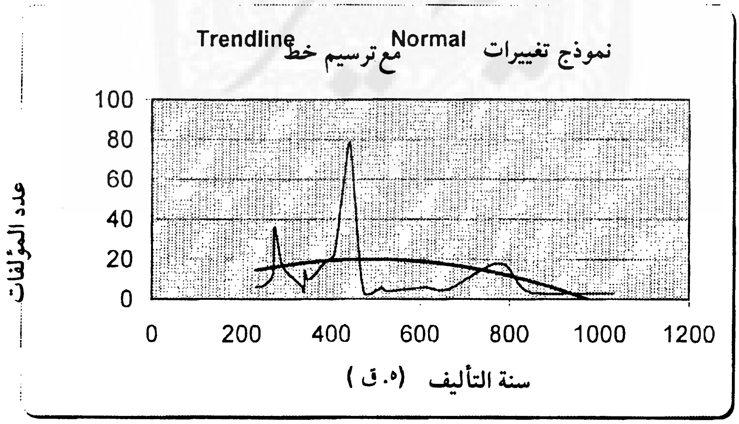
* زندگینامه علمی ریاضیدانان دورهٔ اسلامي، ابوالقاسم قرباني.

الأسم	عدد المؤلفات	سنة التأليف
ابو علی مسکویه	۵	۴۲۱
ابونصر عراق	۷	۴۲۷
ابن سینا	۵	۴۲۸
ابن هیثم	۶۴	۴۳۰
ابوریحان البیرونی	۷۷	۴۴۲
ابوالحسن القائني (ابن بامشاد)	۲	۴۴۳
علی بن احمد النسوي	۴	۴۷۳
محمد بن ایوب الطبري	۳	۴۸۵
أبوالفتح الاصفهاني	۲	۵۱۳
حسام‌الدین سالار	۶	۵۱۴
ابو حاتم مظفر الاسفزاري	۲	۵۱۵
الحکیم عمرالخیام	۴	۵۲۶
عبدالرحمان منصور الخازنی	۲	۵۵۰
شرف‌الدین الطوسی	۶	۶۱۰
محمد بن حسین الدامغانی	۲	۶۲۰
اثیرالدین الأبهري	۵	۶۶۳
کمال‌الدین الفارسی	۳	۷۱۸
نظام الأعرج	۳	۷۵۱
ابن شاطر	۱۸	۷۷۷
غیاث‌الدین جمشید الکاشانی	۵	۸۳۲
ملا علی القوشجی	۳	۸۷۹
میرم الجلبی	۲	۹۲۸
عبدالعلی البیرجندي	۳	۹۳۴
غیاث‌الدین منصور الدشتکی	۳	۹۴۹
الشیخ البهائي	۳	۱۰۳۱

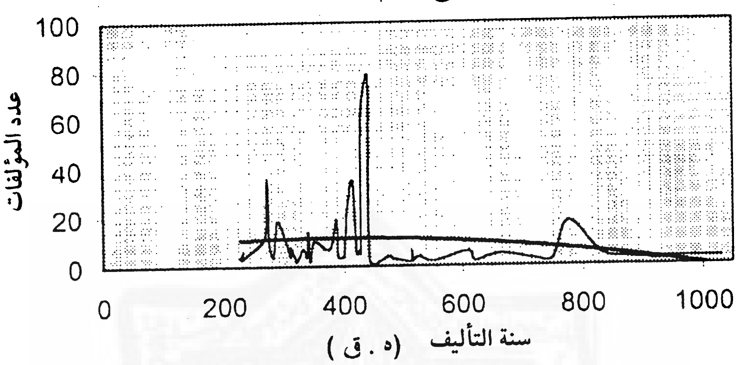

خط بياني lineمع ترسيم خطtrendline
100
80
60
40
20
0
عدد المؤلفات
سنة التأليف (ه.ق)


خط بياني scatter مع تعيين المعطيات المشار اليها
100
80
60
40
20
0
عدد المؤلفات
0 200 400 600 800 1000 1200
سنة التأليف (ه.ق)

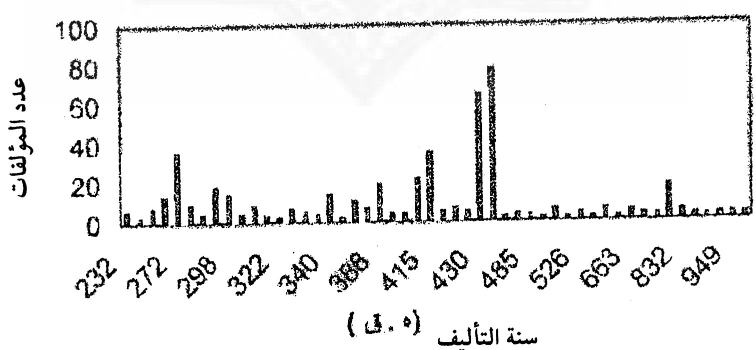

خط بيانيscatter
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
عدد المؤلفات
0
200
400
600
800
1000
1200
سنة التأليف (هـ. ق)

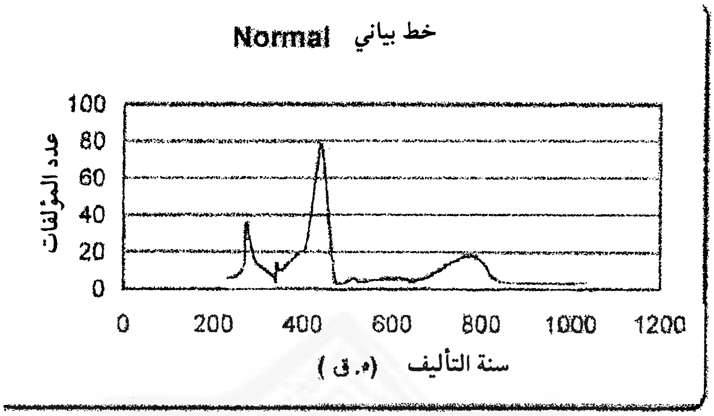

نموذج تغييرات Normal مع ترسيم خط Trendline
100
80
60
40
20
0
عدد المؤلفات
0
200
400
600
800
1000
1200
سنة التأليف (ه.ق)

خط بياني scatter مع ترسيم خط trendline



خط بياني column





القسم الثاني:

عوامل سموّ و انحطاط العلوم في الحضارة الاسلاميّة:

إذا ألقينا نظرة علىٰ منحنيات هذه الرسوم البيانيّة نرىٰ أنَّ نقطة أوج السموّ في المنحنيات كانت في القرن الرابع الهجري (عصر حكومة آل بويه) و شملت مناطق واسعة من العالم الإسلامي، (نعم لقد حكم في القرن الرابع الهجري في ايران طوائف كالغزنويين و السامانيين ولكن أهمّ المناطق كانت ضمن حوزة آل بويه). و قد أدىٰ التقدم العلمي الفائق في عصر آل بويه بالمستشرقين الغربيّين أمثال البروفسور «آدامز» و البروفسور «كرامر» أنْ يطلقوا اسم عصر «النهضة العلميّة» علىٰ ذلک العصر تشبيهاً لهُ بعصر النهضة الثقافيّة العلميّة (Renaissance) في أُوروبا.

ثُمَّ نشاهد منحني ذلک الرسم البياني يبدأُ بالإنخفاضى في العصر السلجوقي الّذي أعقب حكومة آل بويه مباشرة بعد القضاء عليها عسكريّاً والاستيلاء علىٰ مناطق سُلطانها و يعتبر ذلک العصر نقطة انطلاق الإنحطاط و سندرس اسباب ذلک الانحطاط فيما بعد.

أمّا حملة جنكيز خان المغولي علىٰ ايران فقد زادات الطين بلّةً، ولكن وجود

«نصيرالدين الطوسي» في تلک الآونة وسعية المتواصل من أجل التقدم و الازدهار العلمي و خاصّة «علم النجوم» قد خفف وطأة الإنخفاض ولكنه لم يرتقِ بالعلوم الىٰ المستوىٰ الّتىٰ كانت عليه في القرن الثالث و الرابع الهجري.

و إذا شبّهنا مسيرة العلوم بنهرٍ قد ظهر أمامه حائلٌ، فمن المؤكّد أنَّ مسير الماء سيتحول الىٰ جهة أخرىٰ يجري فيها، كذلک الحال بالنسبة الىٰ مسيرالعلوم، فقد كان انتصار السلجوقيين و تسلطهم علىٰ السلطة سَدّاً أمام المسيرة التقدميّة للعلوم وكان ذلک موازياً للحروب الصليبيّة و تواجد الأُوروبيين في الشرق و اطلاعهم علىٰ علوم التمدن و الحضارة الاسلاميّة قد أدّىٰ الىٰ تغيير مجرىٰ العلوم نحو البلاد الأُوروبيّة.

كانت أُوروبا غارقة في بحر من ظلمات القرون الوسطىٰ في حين كان الشرق يزهو و خلال قرون عديدة بالحضارة الإسلاميّة الباهرة. ثُمَّ بدأ الغرب يصحو من سباته رويداً رويداً نتيجة اطلاعه علىٰ آثار العلوم و الحضارة الإسلاميّة، حيث بدأوا أثناء تلک الفقرة بترجمة كتاب الجبر و المقابلة للخوارزمي، و كتاب المناظر لابن هيثم، و مصنفات ابن‌سينا الفلسفيّة و العلمية ككتاب القانون و غيره، و مئات المصنفات و المؤلفات الأُخرىٰ.

و بعد حركة الترجمة و اطلاعهم علىٰ علوم الشرق الإسلامي بدأ علماء تلک الديار بتأليف و تصنيف الآثار المتعدّدة في شتّىٰ ضروب العلوم و بهذه الجهود المتواصلة هيَّأوا أَرضيّة النهضة العلميّة.

في الوقت الذي كانت شمس العلوم تتماثل للغروب في عالمنا الإِسلامي وكان ظلام ليل الإِنحطاط الدامس يزحف نحوها بدأ نجم العلم يظهر في سماء العلوم بأُوروبا و بدأت الإنتفاضة في مجالات العلوم المختلفة.

فمثلاًكان الشيخ البهائي العاملي من رجال الرياضيّات في العصر الصفوي بأيران، و صنف كتابه المعروف في علم الحساب **خلاصة الحساب**، ولو نظرنا اليه نظرةَ مُتفحّصٍ و وضعناه في مصاف كتب «البوزجاني» و «الكرجي» و هما قد سبقاه بعدة قرون، نراهُ قد خسرَ الميزان كَمّاً و كيفاً و علماً، و كذا رسالة **تشريع الأفلاک** كتبها في

تثبيت هيئة بطلميوس، فهي لمْ توازِ أعمال المنجمين الّذين سبقوهُ زمنيّاً.

ولكننانرى و بنفس تلک البرهة الزمنيّة کُپرنيک قد أوجد «آلة مرکزية الشمس» بدل «آلة مرکزية الأرض»، و أوجد بعمله هذا ثورة عظيمة ترکت تحوّلاًکبيراً في علم النجوم. وکذا «کپلر» و «نيوتن» و علماء غيرهم قد قدّموا خدمات أوجدت تحوّلاً کبيراً في علم الرياضيات والفلک، و مهّدوا الطريق أمام العلماء لإکتشافات أعلىٰ مکانة و أکثر فائدة.

و الآن عرفنا عُصور سموّ و انحطاط العلوم الإسلاميّة، وها نحن نتابع موضوع عوامل هذا السموّ و أسباب الإنحطاط و بدراسة تستند علىٰ علم الاجتماع.

کان أوج سموّ العلوم کما ذکرنا فيما تقدّم موازياً لعصر حکم آل بويه في بلاد فارس (ايران)، و أرض الرافدين (العراق)، فما هي ميزات ذلک العصر المميّزة؟ نظرة فاحصة يوجهها المحقق الیٰ صفحات التاريخ تظهر أمام نظراته الثاقبة الميّزات التالية الّتي تميّز هذا العصر عن العصور التاريخية الأُخرىٰ:

١ ـ تشييد البيمارستانات (المستشفيات)، و السدود، و القنوات، و القصور، و تنمية التجارة الخارجيّة و الداخليّة، وسعة العيش، و کُلّ هذاکان نتيجة للتقدم و الإزدهار الاقتصادي في هذا العصر.

٢ ـ ابتعاد شبح الحرب عن البلاد و العباد مِمّا أدّیٰ الیٰ الاستقرار و الآمن، و الثبات السياسي

٣ ـ نریٰ في تلک الفترة کثرة حلقات الدرس و البحث، و دراسة المواضيع الدينيّة و السياسيّة و الفلسفيّة و الأدبيّة و الفنون الجميلة و محاضرات و مناظرات العلماء في مجال کافة العلوم المشار اليها، حيث أشار أبوحيّان التوحيدي في آثاره الیٰ بيان عدد من تلک المناظرات.

و مّما يجدر الاشارة اليه هو أنَّ هذه الحلقات لمْ تقتصر علیٰ علماء الاسلام فقط بل کان يشترک في أبحاثها علماء الأديان و الملل الأُخریٰ مثل الزرادُ شتي و العيسوي و الموسوي و الصابئي، وکُلٌّ يُظهر رأيه بحريّة تامّة من أجل الوصول الیٰ ما هو أَسمیٰ و أصلح.

أمّا حكومة آل بويه المقتدرة فكانت مع كُلّ هـذا سيف ديـن الاسـلام المـبين المدافع عن كيان دين محمد (ص). و كان عضدالدولة البويهي شاه هـذه السُـلالة يتحلّىٰ بايمان راسخ و غيرة اسلاميّة شامخة، يضرب بيدٍ مقتدرة علىٰ رأس من ينتهز مسرح الحريّة من أجل ايجاد الفتنة و التفرقة و شقّ الصفوف.

و هذا يفسحُ المجال أمامنا من أَنْ نعيّنَ و نُحصَر العواملَ المؤثّرة في تقدّم العلوم في العصر البويهي بمايلي:

١ ـ الاقتصاد النشيط الزّاهر.

٢ ـ الإستقرار السياسي.

٣ ـ حريّة الرأي الممنوحة من أجل اظهار الرأي الآخر شريطة أن لايؤدي هـذا الىٰ الفتنة و الإضطرابات.

هذه العوامل تأتي نتيجة دراسة الحضارة الاسلامية، كما أَنَّ دراسـة الحـضارات الأُخرىٰ لاتعطيكُ سوىٰ هذه النتائج الثلاث المشار اليـها فـقط. أو بـعبارة أَوضـح نتمكن أن نجزم بأن وجود هذه العوامل الثلاث في أيّ مجتمع تؤدي حتماً الىٰ تقدّم علميّ منشود.

١ ـ **الاقتصاد النشيط الزاهر**، يعتبر هذا العامل من العوامل المهمّة حيث يكون عاملاً لاستقطاب العلماء و تزويدهم بما تتطلب أعمالهم من الوسائل والمهمّات و الأدوات، كي يتمكّنوا و براحة بـال و هـدوء نـفس مـن تـنفيذ دراسـاتهم و اجـراء اختباراتهم لأن هرب العقول النيّرة من بلدان العالم الثالث يـعود اوّلاً و أخـيراً الىٰ العوامل المشار اليها أعلاه، حيث تواجدهم في بلدانهم و بـرواتب نـزيرة و عـدم وجود وسائل للبحث و التحقيق و الاكتشاف و الاختراع جعلهم يفضلون البقاء في الدول الّتي درسوا العلوم فيها كأمريكا و أُوروبا و تكون ثمرات علومهم وجهدوهم لتلك البلدان و حرمان الوطن الأُم من تلك الجهود المثمرة النادرة.

٢ ـ **الإستقرار السياسى**، من الطبيعي أَنَّ العلماء المتواجدين في البلدان الّـتي

تجتاحها القلاقل و الفتن و الاضطرابات و الحروب و النزاعات الطائفية و العرقيّة و المذهبيّة و فقدان الاستقرار السياسي لايتمكّنون من القيام بالأعمال النافعة سواء دراسيّة كانت أم صناعيّة او انشائيّة أو اكتشافيّة. فمثلاً ديكارت (Descartes) الفيلسوف و عالم الرياضيات الفرنسي المشهور لمْ يتمكن من الإستقرار في بلده فرنسا، حيث هاجر الىٰ هولنده و السويد، و ذلک لان بلده فرنسا قد أُبتُلي بالحرب الداخلية في تلک الآونة.

كما نرىٰ التقدم السائد في امريكا خلال القرن العشرين، كان الفضل في ذلک التقدّم للحرب العالميّة الثانية، و ذلک لأنَّ الحرب المذكورة كانت في بلدان أُوروبا الشرقيّة و الغربيّة، و إنَّ علماء تلک البلاد قد تركوا أوطانهم و استقرّوا في امريكا و خاصةً العلماء الأَلمان و اغلبهم من اليهود حيث هاجروا الىٰ امريكا خوفاً من النكاية و البرحاء و الضير النازي الهتلري، و كانوا هم أصحاب الفضل في التقدم العلمي الّذي ساد أمريكا في مجال الرياضيات و الفيزياء و الفلک حيث أصبحت أمريكا قِمَّة الدول من الناحيّة العلميّة و الرُّقي الصناعي، أمّا الناحيّة السلبيّة الّتي استغلتها أمريكا في هذا المجال و صنعت بواسطة هؤلاء القنبلة الذريّة و أبادت الآلاف من البشر الأبرياء هو بحث يجب التأمل و التدبّر و التروّي و لامجال له في هذا البحث لأنّهُ ليس المقصود هُنا.

٣ ـ **حريّة الرأي و الرأي الآخر**، لايخفىٰ علىٰ من لهُ علمٌ في تاريخ العلوم بأُوروبا مدىٰ حرية الرأي الممنوحة للمناوئين، لأن العلوم في تلک الديار قد تخلّصت من سيطرت الكنيسة و ديوان تفتيش الاعتقاد الّذي فرضته، قبل قيام الانتفاضة العلميّة فيها، و الكُلُّ يعلم ما واجهه العلماء من الظلم و التعسف و التعذيب و الإعدامات نتيجة بيان معتقداتهم، و الإتهامات الّتي واجهها هٰؤلاء مُتشابهة، و هي مخالفة مبادئ دين اليسوع (ع) و مناهضة المسيحيّة.

و الآن و بعد أن عرفنا عوامل التقدم العلمي الثلاثة نتوجّه الىٰ دراسة عصر النهضة الإِسلاميّة لكي نلاحظ كيف ظهرت تلک العوامل الثلاثة ساطعة في ذلک العصر، و ما

آلت اليه هذه العومل في العصر الّذیٰ تلیٰ عصر آل بويه و نعني به العصر السلجوقي.

من المتّفق عليه أنَّ الدينَ الاسلاميَّ دينٌ يُساندُ العلَم و العلماءَ، و لمْ يظهر أيُّ دين علىٰ وجه المعمورة قد رغّبَ وحثَّ أَنصارَهُ علىٰ طلب العلم وجعله فريضة واجبة كالدين الإسلاميّ، جعلَ الدينُ الاسلاميُّ العلماءَ (أي: مَنْ آمنَ باللّٰهِ واليومِ الآخرِ) كأنبياءِ بني اسرائيل. و يرفض هذا الدين المبين أيّ سؤال غير عقلاني، كما أَنَّ القُرآنَ الكريمَ يأمرُ خلال آياته كافة المسلمين بالتدبر و التفكر بظواهر الكون الّتي أوجدها واجد الوجود. كما أَنَّهُ لم يضع للعلم و البحث العلمي حدّاً و نهاية مكانيّة أو زمانيّة، و شعار الدين الاسلامي كما جاء علىٰ لسان الرسول الأكرم (ص):

* تعلّم العلمَ منَ المهدِ الیٰ اللحدِ

* اطلَبِ العلمَ ولو كانَ في الصينِ

و لاترىٰ في هٰذينِ الحديثين حدّاً زمانياً، و لاحدّاً مكانياً و خصوصاً أنَّ الصين تعتبر من أبعد البلدان عن جزيرة العرب و في زمن لم يعرف وسائل النقل الحديثة.

و بناءً علىٰ ما تقدم يكون طلبُ العلم واجباً شرعيّاً علىٰ كافةِ المؤمنين تنفيذه.

وكما يعلم كلّ صاحب بصيرة أَنَّ الغزوات الداخلية و الحروب الخارجيّة في زمن رسول اللّه (ص) و الخلفاء الراشدين كانت حائلاً رئيسيّاً أمام أيّ نهضة علميّة.

و في العصر الأموي نرىٰ رقعة الخارطة الاسلاميّة قد توسَّعَت، و انَّ بني أُميّة قد تربّعُوا علىٰ عرش الامبرا طوريّة الإسلاميّة حيث اتّخذ الموضوعُ وجهة أُخرىٰ، لأن الخلفاء الأمويين و انصارهم كانوا سجسةً متهتّكين ذوي غُلْمَةٍ و شَبَقٍ و نَـزَّةٍ، و لا يتورَّعون من ارتكاب أكبر و أفجع الجرائم كي يصلوا الیٰ عريشة السُّلطان و التسلّط علىٰ البلاد و رقاب العباد، و لا أهميّة لهم بالدين و لا مكانة لديهم للعلم و الثقافة و قد اتَّخذوا الخلافة مأرباً للوصل الیٰ الشهوات و التمتّع باللّذات و طلب الدُّنيا وزينتها. و في زمن هٰؤلاء الخلفاء ظهرت فرقةُ «المُرْجِئَةِ» و استفحل أمرُها. كيف ظهرت هذه الفرقة و ما هي مقوِّمَاتها، لا ندري، وكلّ ما نَعْلَمُهُ أنَّ بني أُميّة كانوا الساعد الأيمن في انشاء هذه الفرقة، وكان لهم الأثر الاكبر في نشوء و ترعرع و ترويج مبادئها.

أصل كلمة «المُرْجِئَة» مُشتقّة من:

«أَرْجَأَ الأَمْرَ إِرْجَاءً» أَخَّرَهُ. و هم يعتقدون بتأخير الجزاء، و قدأدّىٰ اعتقادهم هذا الىٰ الاستهتار و للّامبالاة. أمّا من الناحية السياسيّة و الاجتماعيّة فقد أدّىٰ الىٰ ردّ فعل سياسي هَيَّأَ الأُمّة نفسيّاً أَنْ تتقبّل أيَّ حكومة حتّىٰ اذا كانت ظالمة جائرة باغية طاغية. لذا فهم يعتقدون «أنَّ الحكم الأمويّ حكمٌ اسلاميٌّ واقعيٌّ و أَنَّ خلفاء بني أُميّة خلفاءُ حقٍّ ولايحقُّ للمسلمين الثورة عليهم شرعاً»[۳]، كما يعتقدون «بالجبر» و ينكرون أيَّ أختيار للإنسان في عمله. و كما لايخفىٰ أنَّ الاعتقاد بالجبر يسلب الانسانَ عملهُ الفكريَّ و الثقافيَّ، كما يفتح الباب علىٰ مصراعيهِ أمام حُكّام البغي و الظلم و الفساد كي يعبثوا في الأرض فساداً، و بناءً علىٰ هذا «قتلَ بنوأُميّة كُلَّ من ادَّعىٰ الحقَّ و طُلبَ الحريّة و رفض الجبر أو أيّد هذه الأفكار قولاً أوعملاً»[۴]

و في هذا العصر أيضاً ظهرت فرقةٌ ضالةٌ أُخرىٰ جمعت حولها الانصار و المؤيدين هي فرقة «الخوارج» و هم علىٰ خلاف فكرة «المرجئة»، ساد التزمت و الشدة و الشّراسة و الخشونه الفائقة علىٰ كافة اعمالهم، فهم يتّهمون النّاس بالكفر و الإلحاد و يهدرون دمَ مَنْ شاءوا.

و نتيجةً لهذه التصرفات اللّامتعادلة ولدت و نشأت و ترعرعت و في مهد الحكومة الأمويّة و علىٰ مسمعٍ و مرأىٰ من خلفائها فرقة عرفت بـ «المعتزلة»، و اتّخذت مبدأ «الاختيار» شعاراً لها.

و كان الاعتقاد الديني للمعتزلة مقارباً لأفكار الشيعة، ثُمَّ اتَّخذوا شعار مناوأة الأمويين مبدأ نضالهم حيث انضمّوا الىٰ الحركة العباسيّة، ثُمَّ تقلّد بعضُ علمائهم مناصب حكوميّة أبّان الدولة العباسيّة، و كان للمعتزلة دور فعّال في ترغيب و تشجيع وحثّ المسلمين علىٰ الدراسة و كسب العلوم و المعارف.

---

۳. حسين مفتخري «مرجئه ونو مسلمان»، فصلنامهٔ تاريخ اسلام، سال دوم، شماره ۱، بهار (۱۳۸۰).

۴. محمدجواد صاحبي «ستيزه‌ها و آميزه‌ها در روند انديشه توحيدى» كيهان انديشه، شماره ۳۷، مرداد و شهريور ۱۳۷۰، ص ۲۰.

و قد اغتنم الامام الصادق (ع) فُرصة الصراع الأموي العباسي و بدأ بنشر الفقه و العلوم و الثقافة الاسلاميّة، و خرَّج علماء كبار لافي العلوم الدينيّة فحسب، بل في كافة مجالات العلوم السائدة في ذلک الزمن، و من مشاهير هؤلاء العالم الاسلامي الكبير و الكيمياوي الشهير جابر بن حيّان صاحب المؤلفات العظيمة الّتي خلّدته مع الزمن و خلّدها في دنيا العلوم.

كان العصر العباسي عصر الامبرا طوريّة الاسلاميّة المترامية الأطراف، و كان يعيش في أكنافها أُناس يعتنقون الأديان الأُخرىٰ و يرغبون التعرّف علىٰ الدين الجديد (أي الاسلام) و يستفهمون عمّا يخطر في خلدهم من الأفكار و الهواجس و الاستفهامات من كبار علماء الدين الاسلاميّ. و لهذا كان قد اجتمع عددٌ من المانويّين، و الزراد شتيّين، و المسحيّين واليهود بعلماءِ المسلمين و تباحثوا بمواضيع أساسيّة، مثل نشأت الكائنات و قِدَم العَالَم، و الجبر و الإختيار، و القضاء و القدر، و صفات واجب الوجود، و غير ذلک.

و من أجل الاجابة علىٰ هذه الأسئلة الفلسفية و الكلاميّة أمر المأمون (الخليفة العباسي السابع) بن هارون الرشيد و بتحبيذ و اغراء و إطراء علماء المعتزلة، أمر علماء النساطرة المسيحيين المسيطرين و باجادة تامَّة علىٰ اللغة اليونانيّة أنْ يُعرّبوا كُتُبَ الفلسفةِ اليونانيّةِ.

و كان التعرفُ علىٰ المصنّفات الفلسفيّة اليونانيّة باباً للتعريف علىٰ الآثار العلميّة الأُخرىٰ و أدّىٰ الىٰ الرغبة في ترجمة الكُتُبِ الطبيّة و الرياضيّة و الفلكيّة من اليونانيّة الىٰ العربيّة و قد جرىٰ ذلک في العصر المشار إليه أعلاه.

و كان نهم المسلمين فى طلب العلم قد جعل من حركة ترجمة الآثار الأجنبيّة الىٰ العربية ثورة علميّة عارمة، و عُرفت في ذلک العصر بـ«ثورة الترجمة».

و لمْ يكتفِ العلماء المسلمون بترجمة الآثار اليونانيّة فقط بل أمتدت يُد الترجمة الىٰ المصنفات و المؤلفات الايرانيّة و الهنديّة و البابليّة حيث تمَّ ترجمتها الىٰ العربيّة.

و يجدر بنا هنا أن تعترف بفضل «حُنين بن اسحاق» و «ثابت بن قُرّة الحرّاني»

لمشاركتهما الفعالة المتميّزة في تعريب آثار العلماء اليونان.

وكان صدىٰ ثورة الترجمة و اضحاً في المجتمع الاسلامي اذا بدأ العلماءُ المسلمون بتأليف كُتُب في علوم الرياضيات و الفلك و الفيزياء و الفلسفة، و من أشهر تلك المؤلفات رسالة الجبر و المقابلة للخوارزمي.

و صارت العلومُ الاسلاميّة علوماً ابتكاريّة تمثل رحيق العلوم اليونانيّة و البابليّة و الهنديّة. مثلاً رسالة الجبر و المقابلة للخوارزمي، علىٰ الرغم من أنها تحوي عناصر من العلوم البابليّة و اليونانيّة، و لكنها عمل ابتكاري حديث لمْ نجده قبل ذلك المصنف في المحيط العلمي في تلك الآونة. و هذا الإدّعاءُ صادقٌ في أعمال أبي زكريا الرازي، ذلك العالم الكيمياويّ و الطبيب الإسلاميّ المشهور، كان الرازي اذا أعدَّ دراسة عن مرض من الأمراضِ يدون نظريّات العلماء الذين سبقوه اوّلاً ثُمَّ يدون نتائج دراسته المختبريّة الّتي توصل اليها كي تكون الدراسة كاملة الفائدة.

كان الخلفاء العباسيون في بادئ الأمر يُساندون العلماء و يدعمون الباحثين ماديّاً و عمليّاً، و لكن السياسة القمعيّة الّتي اتّبعوها فيما بعد كانت تعرقل مسيرة التقدم العلمي.[5]

بالإضافة الىٰ أنَّ الترغيب و الثناء العلمي الّذي قدّموه كان قد واكبه مآرب سياسيّة لا تخفىٰ علىٰ أولٰئک العلماء.

و كُلّنا تعرف نظرية المعتزلة في خلق القرآن و اختيار الإنسان في أعماله زمن حكومة المأمون و كيف اتَّخَذَ هذه النظريّة سلاحاً لإبادة المخالفين، و كيف نفّذ «المعتصم» و «الواثق» و بصرامة خارقة هذه السياسة القمعيّة، حيث أَمرا باغتيال و إبادة كُلّ مَنْ خالفهم مِنَ العلماء أما بالإعتقال ثُمَّ الاعدام أوبالقتل غدراً.

و لكن هذه المسيرة لمْ تدم طويلاً حيث جلس «المتوكل» علىٰ منبر الخلافة العباسيّة وساند عقائد «الأشاعرة» و من ضمنها الاعتقاد بالجبر، ثم ساد «المذهبُ الأشعريُّ» العالَم الاسلاميّ حيث عمَّ الاختناق الفكري و سلب الحريّات، بالإضافة

---

٥. راجع: الدكتور فهمي جدعان، المحنة، بحث في جدلية الدين و السياسة في الاسلام، الأُردن، ١٩٨٩ م.

الیٰ أَنَّ النزاع علیٰ السلطة و محاربة الحركات الإنفصاليّة قد حرم الشُعُوب الاستقرار الاجتماعي و الأمني و السياسي و أوّل من أبتلي بهذا الدّاء هم العلماء و الفلاسفة حيث لا راحة فكرية ولاصفاء عيش ولا نتاجاً علميّاً.

استمرّت هذه الحالة الیٰ سنة ۳۳۴ ه يعني السنة الّتي سقطت بغداد بيد احمد الديلمي، حيث سخرّت جُيُوش الديلم عاصمة الخلافة.

نعم في هذه السنة تمكّن القائد الديلمى أنْ يفتح نصف ايران ذلک الزمن، و بدون أيّ مقاومة تذكر و تمكّن من دخول بغداد و السيطرة عليها، وَ عزَلَ الخليفةَ العباسيَّ و نصبَ نفسَهُ «شاهنشاه = ملک الملوک» علیٰ ايران و العراق و بدون منازع أو مخالف.

كانت سلطة آل بويه سنة ۳۵۱ ه (زمن سلطنة عضدالدولة) قد وصلت ذُروتها حيث تسلط سلطانها علیٰ ثُلثي ايران و جميع ما بين النهرين (العراق).

كان الأميرُ البويهيُّ الملقب بالشاهنشاه شيعيَّ المذهبِ و من أجل القضاء علیٰ التناحر بينَ أصحاب المذاهب السُنَّة و بين ابناء الشيعة أبقیٰ الخليفة علیٰ منبر الخلافة مذهبياً، و سلبه كافة السلطات السياسيّة و جعله أُلعوبة بين يديه، و تمكّن هذا الأمير و بهذه الطريقةِ اللَّبِقةِ أن يسمک زمام أُمور حكومة الشيعة و السُّنَّة سنوات عديدة. و قد وصفه أبو سليمان المنطقي السجستاني قائلاً: «كان ملكاً كامل الأوصاف، لأنّه يحترمُ الأُمَّة صغيرها وكبيرها، كما كان بصيراً و عليماً بأُمور الملک، ماهراً بشؤون السلطان، عادلاً، عميق الايمان، صادق العمل، فيصل القضاء حاسماً».[6]

و بعد أنْ عمَّ الهدوء وخيمَّ الأمن، توجّه عضدالدولة الیٰ الاقتصاد الوطني حيث غيّر وحدة النقد و نظّم الأمور الماليّة و السياسة النقديّة مما بعث الروح في الاسواق و التوسعة التجاريّة في المدن و خصوصاً مدينة بغداد.

نعم انَّ الثروة الوطنية تستند بشكل واسع علیٰ المزارع و البساتين و الحاصلات

---

6. T. Ben Yakhlef, *Abu Sulayman al-Mantiqi*, Memoire de Maitrise, Université de paris I Sorbonne 1994, p. 106.

الزراعيّة و الّتي كانت تُسْقىٰ سيحاً بواسطة الآبار و العيون و القنوات، أمّا التجارت الداخليّة و الخارجيّة فتعتبر رأس مال المدن و واردها الرئيسي.

و كان هذا الاقتصادُ الفعّالُ ارضيّةً خصبةً لتأمين المال اللازم للاعمار و البناء، و استناداً علىٰ هذه الموارد المتدفقة شيَّدَ عضدالدولة الجسور و السدود و المدارس و المساجد و المستشفيات و...، و قد وصف شمس‌الدين المقدسي الرحالة المشهور و صاحب كتاب «أحسن التقاسيم في معرفة الأقاليم» قصر عضدالدولة المُقام في مدينة «شيراز» و بيّن أنواع فنون الأعمار و جمال الزخرفة و زهو المناظر الخلّاية الموجودة فيه. كما شيّد سداً في ضواحي شيراز علىٰ نهر «كُرّ» و سُمّي تعظيماً لهُ «سدّ الأمير»، و كانت عظمت ذلک السَّدِّ تحكي التقدم الهندسي و الفن المعماريّ المتكامل في ذلک العصر.

أمّا التقدم الثقافي فكان زاهراً زاهياً كالصرح السياسي و الاقتصادي، و لعضدالدولة اليدالطولىٰ في هذا المضمار، و من أهمّ أعماله تأسيس المدارس العُليا و حلقات الدراسة العلمية و الفلسفيّة، حيث كانت منتدىٰ العلماء و الفلاسفة و الأدباء يبحثون فيها ما طُرِحَ علىٰ بساط البحث من المسائل الدينيّة و الفلسفيّة و العلميّة.

و كان عضدُالدولةِ المُشجّعَ لِهؤلاء الفلاسفة و علماء الدين و الأخلاق و المؤيّد لنتاجهم، ولايخفىٰ دور هذه الأمير في حثّ العلماء علىٰ تدوين مصنفاتهم باللغة العربيّة المتداولة في المجتمعات العلميّة آنذاک و خصوصاً في تدوين الكتب العلميّة و الأدبيّة،كماكان العامل الرئيس في أحياء الثقافة الايرانيّة، لذا تلاحظ حركة تجمع علمي في حاضرة الامبرا طوريّة الاسلاميّة بغداد إِذْ رحل اليها كبار العلماء آنذاک أمثال أبي سليمان المنطقي السجستاني، و أبي سهل الكوهي، و أبي الوفاء البوزجاني و غيرهم، حتىٰ أصحبت بغداد أكبر مركز علميّ علىٰ وجه البسيطة في ذلک العصر يغصّ بالعلماء الايرانيين، وكأن بغداد مدينة فارسيّة زاهرة.

كان عضدالدولة يؤكّد علىٰ أن تؤدي العلوم السياسيّة و الأخلاقيّة الىٰ علوم

الادارة المدنيّة كي يتمكّن من الإسترشاد بنصائح المتخصصين ذوي الخبرة و أصحاب الفنّ بالإضافة الىٰ انتخاب المشاورين البارزين من بين هٰؤلاء.

و من الجدير بالذكر أنَّ تدريس علوم الرياضيّات لمْ يكن من أجلّ التبحر و التعمق في مفازات تلك العلوم فقط بل كان التدريس من أجل تقدم الأُمّة و تحسين و ضعها في مجالات الحياة المختلفة.

كما يمكن استنباط رغبة البحث و التحقيق و اكتساب العلوم في علماء ذلك العصر من مقدّمات مصنفاتهم و مؤلفاتهم. مثلاً أبوبكر الكرجي عالم الرياضيات الايراني الشهير و من رجال ذلك الزمن، ذكر في كتابه «انباط المياه الخفيّة» ما معناهُ: عندما دخلتُ العراق، و رأيت أُمّة تلك الدّيار كبيرهم و صغيرهم يودُّون العلم، عرفت أَنَّ عليَّ أَنْ أحترم و أعظم العلم، وكنت اثناء وجودي هناك اشتغل بالتصنيف في علم الحساب و الهندسة.[۷]

و عندما ترك عضدالدولة هذه الدُّنيا الفانية، اتّبع نجله بهاء الدولة سياسة والده الرشيدة الحكيمة و اتّخذ اللين و التسامح و التساهل و الرفق و النعومة و الهوادة مسلكاً.

أمست بغداد في ذلك الزمن مهداً للعلوم و المعارف يأمُّها العلماء و أساتذه العلوم من كلِّ حدبٍ وصوبٍ و يتّخذون التحقيق و البحث و التأليف و التصنيف مهنة، و ممّايلفت النظر أنَّ كافة العلماء قد هجروا رويداً رويداً طريقة اساتذتهم اليونان و في كُلّ العلوم المستوردة و المترجمة و استحدثوا أُسلوباً خاصّاً بهم استندوا عليه في مؤلفاتهم وكتبهم الّتي بدأوا بتأليفها و في مختلف العلوم، كعلم المثلثات و الهندسة العمليّة. أو بعبارة أُخرىٰ كان أبو الوفاء البوزجاني قد ألف كتابه المعروف الأعمال الهندسيّة في تلك الفترة الزمنيّة وكذا أبوريحان البيروني قد الف كتابه القانون المسعودي في علم النجوم، و الكوهي و غيره من العلماء قد ألّفوا الآثار الخالدة الّتي ساعدت في تقدم علوم الرياضيات و الفلك في تلك الفترة أيضاً.

۷. الكرجي، انباط المياه الخفيّة، الترجمة الفارسيّة بقلم حسين خديو جم طهران، ص ۱.

القسم الثالث:

أسباب انحطاط العلوم الاسلاميّة:

النقطة الهامّة الّتي تجلب اليها الأنظار في عصر آل بويه (أي القرن العاشر الميلادي) هَي أَنَّ أقطار الامبرا طوريّة الاسلاميّة في شرق آسيا و قسماً من أفريقيا تُدار بيد رجالٍ من ابناء الشيعة.

وكما أشرنا فيما تقدم أَنَّ أغلب القطر الايراني وكُلّ بلاد الرافدين كانت بيد رجالٍ من آل بويه و هم من الشيعة الاثنیٰ عشريّة. كما حكم مصر و مراكش و تونس رجالٌ من الفاطميين و هم من ابناء فاطمة الزهراء (ع) و ينتمون الیٰ المذهب الشيعي الاسماعيلي و هم خصوم خلفاء بني العباس، و من أجل مناوأة الحكم العباسي عقائديّاً شيَّدوا جامع الأزهر و مدرسته المعروفة و اجتهدوا في اشاعة علم الفلسفة، وكان ابن الهيثم عالم الرياضيات و الكيمياء المعروف و مؤلف كتاب **المناظر** يعمل دائباً في مجال البحث العلمي تحت همایة و مساعدة الفاطميين.

و إذا خرجنا من مدار آل بويه و الفاطميين يشخص أمامنا و علیٰ ارض دمشق الشام و حلب و ميافارقين آل حمدان و هم من الشعية المخلصين و أخصّ بالذكر منهم سيف الدولة الحمداني (علي بن عبداللّه المتوفیٰ سنة ٣٥٦ هـ / ٩٦٧ م) الّذي قيل فيه: «ما اجتمع بباب أحد من الملوك ما أجتمع بباب سيف الدولة من شيوخ العلم و نجوم الدهر».

و خلاصة القول أَنَّ المذهب الغالب علیٰ الامبراطورية الاسلامية في ذلك الزمن هو مذهب الشيعة الاماميّة، و بما أنَّ المذهب الشيعي ترك باب الاجتهاد مفتوحاً علیٰ مصراعيه، بالاضافة الیٰ أَنَّهُ في مسألة «الجبر و الإختيار» التزم جانب الأختيار للإنسان في مقابل اعماله، دون أن يتجاوز الحدود.

و ممالاشکَّ فيه أَنَّ التمسّکَ بهذه الأفكار يكون بحد ذاته نشاطاً و حركة علميّة و فلسفيّة فعّالة. وكما ذكرنا فيما تقدّم أنَّ آل بويه قد أَسَّسوا صرحاً لحرية الفكر و المبادئ، و قاعدة راسخة للاقتصاد الزاهر، و استقراراً سياسياً قويّاً.

و قد تجمعت كلُّ تلك العوامل يساند بعضها بعضاً و كوَّنت تلك النهضة الإسلاميّة العارمة.

و عندما خسرَ آل بويه الحرب أمام خصومهم السلجوقيين أعادَ مذهب السُنَّة سُلطته علىٰ أقطار الامبرا طورية الاسلاميّة، وكُلّنا يعرف أنَّ مذهب السُنّة يُرَجّحُ العلوم النقليّة علىٰ العلوم العقليّة كما يعتقدُ أغلب أهل السُنّة بالجبر دون الاختيار.

إنَّ الإعتقاد المذهبي قد ترک أثره في المجتمع، حيث بدأ الجهاد و الكفاح الشديد ضد الفلسفة في هذا العصر، وكان زعيم هذه الحركة أبا حامد محمد الغزاليّ، وكان الغزاليُّ ضليعاً بالفلسفة أضافة علىٰ تقدّمه بعلوم الفقه و الكلام.

و قد خاض الغزالي بحر العلوم الفلسفية لا طلباً لها، و انّما تهيُّؤاً لمكافحتها. طبيعيّاً لوكان الغزالي يكتفي بمناظرة الفلاسفة، و الإنتقاد البناء، و محاربة السيطرة اليونانيّة علىٰ الفلسفة الاسلاميّة، و التقليد الأعمىٰ لافكار ارسطو الفلسفيّة، فلا يشكّلُ هذا أيّ مُشكلة، و من المحتمل أنْ يفتح الانتقادُ البناءُ طريقاً جديداً للبحث و الوصول الىٰ الطريق اللاحب، كالطريق الّذي أوجده علماء الغرب في عصر نهضة تقدّم العلوم و الفنون.

و لكنّ أبا حامد العزالي لمْ يقترح طريقاً بديلاً نُصَحِّحُ به طريق الفلسفة المتّبع آن ذاک فحسب بل أخذ موضعاً لصالح التصوف و العرفان. و بما أنّهُ كان روحانياً و عالماً متألّقاً فقد ترک وقعاً كبيراً علىٰ الأفكار السائدة في زمانه، حيث انخفض معدل الاقبال علىٰ الفلسفة، وارتفع معدل الاقبال علىٰ التصوف و العرفان منذ ذلک الزمن.

و لم يكن الغزالي قد خفض بهاء و تلألؤ الفلسفة فحسب بل وجّه ضربة واسعة للعلوم العقليّة كالرياضيّات.

مثلاً أشار في كتابه فاتحة العلوم الىٰ أنَّ النظر في علم أقليدس و المجسطي و دقائق الحساب و الهندسة و الرياضيات يؤدي الىٰ يقظة فكريّة و طاقة صادرة من علوم الأوائل، و لكن خلف هذه العلوم تكمن مذاهبُ فاسقة متهتّكة.[۸]

---

۸. حنا الفاخوري. خليل الجر، تاريخ الفلسفة في العالم الاسلامي، الترجمة الفارسيّة بقلم عبدالمحمد آيتي، طهران، انتشارات طوس، ۱۳۶۹ هـ ش، ص ۳۵۰.

فی ذلک الزمن ظهرت حركة تُعادي و تُمقت الفلاسفة و علماء الرياضيات و رجال العلوم الأُخرىٰ تحت شعار احياء الدين، و في ذلک الزمن أَسَّسَ ملکُ شاه السلجوقيُّ (و بترغيب من وزيره نظام الملک) المدارسَ النظامية لتعليم العلوم الاسلاميّة و الآداب العربيّة. و بما أَنَّ نظام الملک من المتزمّتين للمذهب السُنّي لذا كان الدافع لهذا العمل الثقافي هو مناضلة و مكافحة و مجاهدة الأفكار و المبادئ الاسماعيليّة و المذاهب غير السُنيّة. قُتل نظام الملک بيد الاسماعيلية نتيجةَ تزمُّتِهِ و سادَت الفوضىٰ و عمَّ القلقُ و الفزعُ المجتمعَ الاسلاميَّ.

و استمرت المخاصمة و المنازعة و المجادلة بين السلجوقيين و الاسماعيليّة علىٰ أشد مايكون، و كانت النتيجة الطبيعة لهذه المنازعات هي سيادة الفوضىٰ في المجتمع الاسلامي ناهيک عن الفسق و الفجور و الفساد المسيطر علىٰ دواوين حكومة السلجوقيين و خصوصاً حاشية السلطان «سنجر» و ولاته.

كُلُّ هذه العوامل أجتمعت في آنٍ واحد وأدّات الىٰ استياءٍ شعبيّ لا سابقة لهُ، و أدّىٰ هذا الاستياء بالغزالي أن يدوّن رسالة موجّهة الىٰ أحد أمراء «سنجر» ذكرفيها: «لقد عيل صبرالناس و زهقت النفوس»[۹]

بديهيٌّ أنَّ هذه الفوضىٰ السياسيّة و الفقر السائد، و الركود الاقتصادي، و سلب حريّة البيان، جعلت أمر التدريس و الدراسة في خبركان. و لهذا نرىٰ عدد علماء العصر السلجوقي لايتجاوز تعداد أصابع اليد، و كان عمرُ الخيام العالم الوحيد المشهور في ذلک العصر، و قد استطاع الخيام السير في طريق العلم رغم المعوّقات و المشاكل الّتي جعلت أمر تحصيل العلوم أشبه بالأمر المستحيل. و قد دوّن الخيام تَذَمُّرَهُ و شكواهُ في مُقدّمة كتابه الجبر و المقابلة، و قالَ: «نحن أُسراءُ زماننا هذا، عدد العلماء نزير، و رغم قلّتهم فَهُمّ مُبتلون بألف محنةٍ و ألم و حزنٍ و عذاب و مشقّة، يتحيّنون الفرص كي يُدونوا أبحاثهم و علومهم من أجل الحفاظ علىٰ العلم، و اشباهُ العلماء في زماننا هذا يمنحون الحقَّ مظهرَ الباطل، و تظاهرهم بمظهر العلماء قد

۹. الغزالي، المكاتيب، باعتناء عباس اقبال آشتيانی، طهران، ۱۳۳۳ هـ ش، ص ۵۹.

تجاوزَ الحدَّ، و إنْ علموا شيئاً فيتّخذوه وسيلةً لتحقيق مآربهم الدنيئة، و إن رأوا باحثاً عن حقيقة أو رافعاً راية حقٍّ، أو داعياً الىٰ ترک الكذب و التظاهر و الحيلة و المكر، يهزأُوا منه و يحتقروهُ ويستهينوا به، و علىٰ أيِّ حالٍ فانَّ اللّٰهَ ناصرُ من نصرهُ و هو مأوىٰ و مثوىٰ عباده الصالحين...»[۱۰]

و منذ ذلک الزمن غيّرت الأيامُ وجهة سيرها و تركت عالمَنا الاسلامي و توجّهت نحو أُوروبا و هناک سلكت طريق النمو والازدهار، ولايخفىٰ أنَّ ما توصل اليه العلمُ في أمريكا و أُوروبا هذا اليوم هو امتداد للحركة العلميّة القادمة من الشرق في غارب الأيام.

النتيجة:

المُستنتجُ من هذا البحث هو إذا رغبنا في العودة الىٰ العصر الذهبي، عصر العلم و الحضارة و التمدن و الرقيّ و كما كُنّا عليه في عصر آل بويه فما علينا سوىٰ اعداد العوامل اللازمة لذلک يعني: ايجاد حالة اقتصاديّة فعّالة زاهرة؛ منح الحريّات الفكريّةللعلماء كي يُظهروا ما في سريرتهم؛ و تأمين الاستقرار و الثبات السياسي.

نعم كان المسلمون في العصر الذهبي أبطالَ الساحةِ بدون منازع فهم سادة العلم و الحضارة، أمّا في عصرنا الراهن فقد وقف الغرب بحضارته و تمدُّنه مقابل حركة التقدم الاسلامي، و لهُ دور فاعل في تدمير افكار المسلمين و ابعادها عن جادّة الصواب.

كما أنَّ أغلبَ المثقَّفِيْنَ يعلمون أنَّ الفيلسوف الفرنسي «آرنست رنان» كان في القرن التاسع عشر قد أَعلَن دِعائيّاً أنَّ الشرقيّين بأجمعهم لا يتَّصفون بروح التدقيق و الفلسفة.

وكان «آرنست» يعتقد أنَّ العلم و الفلسفة و ليد العقل التحليلي المنطقي المتمثّل في العنصر و العرق الأُوروبي و تمادىٰ في غيّه هذا حتّىٰ إدّعىٰ كون العلوم الاسلامية

۱۰. غلامحسین مصاحب، الحكيم عمرالخيام، طهران، ۱۳۳۹ هـ ش، ص ۱۶۰.

السائدة في القرون الوسطىٰ مرتبطة باليونان يعني أنَّ المسلمين لا علوم لهم سوىٰ نقل العلوم اليونانيّة إلىٰ العربيّة.

و ممّا يؤسف له أنّ العنصريّين الفرنسيّين قد أشاعوا هذا الرأي الخاطئ الغادر في دول أُوروبا.

أمّا الغربيّون جميعاً فهم ينظرون الىٰ النتاج العلمي الصادر عن غير الأوروبين نظرة تحقير و ازدراء، و يرغبون الإيحاء الىٰ غيرهم بأنَّهم عاجزون ذاتيّاً عن التفكّر العلمي المنطقي، و إنْ رُزِق أحدُهم الرويّةَ و التبصرَ فانَّ الدين و التقاليد سيكونان عائقاً رئيسيّاً أمام ما يصبو اليه و يرغب تنفيذه.

هذا بالاضافة الىٰ أنَّ مجموعة كبيرة من ابناء الشرق و من المسلمين يجهلون المكانة العلميّة و الحضاريّة الّتي وصلَ اليها أجدادهم، لذا نراهم قد سقطوا في شباكِ المدينة الغربيّة، و تاهوا في مسالک التقدم العلمي الأُوروبي، و تصوّروا أَنْ لا طريقَ الىٰ التقدم العلمي و الحضاري إلّا التقليد الأعمىٰ للغرب و تقمُّص العادات و الأخلاق الأُوروبيّة.[11]

مِنَ المؤكّدِ أَنَّ عُقدة الحقارة و فقدان الهويّة بلاءٌ نزل علىٰ رؤوس ابناء جيلنا و رجال أُمَّتنا و مما يؤسف لهُ أَنَّ هذا الأمرَ أَحاق بالمسلمين في عصرنا الراهن، فالحرب الأهليّة في الجزائر كما وصفها عددٌ من الخبراء حرب فقدان الهويّة، فعدم فهم الاسلام و الحضارة الاسلاميّة من جانبٍ، و عقدة الإحساس بالحقارة مقابل الحضارة الغربيّة من طرف آخر؛ جعلا نار الحرب تبيدُ ابناء شعب البلد الواحد.

أمّا نحن ابناء الأُمّة الإيرانية فيجب علينا قبل أنْ نُصاب ببليّة فقدان الهويّة أن نُقيم جسراً عظيماً يربط ماضينا بحاضرنا كي يطّلع شبابنا و فتوّتنا علىٰ حضارة و علوم آبائنا، و ذلک لأنَّهم في حِلٍّ عن ثقافة و حضارة أُمّتهم، و مخافة أَنْ تملأَ هذا الفراغ الثقافة و العادات الغربيّة و تكون النتيجة سقوط الشباب في هذا الشَّرَاک ولات ساعة ندم.

---

١١. قول تقي‌زادة المشهور في هذا المضمار يؤيد ما نرنو اليه: يجب أن تكون ايران متفرنجةً ظاهراً و باطناً و جسماً و روحاً (تاريخ ادبيات ايران لادوارد براون، ص ٣٤٠ ـ ٣٤١).

و بموازات تشييد جسر الوصال بين الحاضر و الماضي و تـهيئة رصـيدٍ ثـقافيّ واسعٍ يجب بذل الجهود الجبّارة والسعي المـتواصـل و العـزم الراسـخ فـي ارسـاء مقوّمات النهضة العلميّة و التحول الثقافي المرتقب من أجل وطن مُستقلّ و شعب سعيد.

ابن الصلاح الهَمَداني، العالم الرياضي الايراني
آثاره و ابتكاراته

الدكتور غلامرضا جمشيدنژاد اوّل
أستاذ الجامعة فى التاريخ و الحضارة الاسلامية
و المستشارالعلمي بمركز نشرالتراث المخطوط

المقـدّمـة

كان أبوالفتوح نجم‌الدين أحمد بن السري بن الصلاح الهَمَداني رياضياً منجّماً و طبيباً مشهوراً و منتقداً كبيراً للنصوص العلمية في القرن السادس الهجري / الثاني عشر الميلادي.

و نظراً إلى أهمّية شخصيته الجامعة و مكانته المرموقة في الرياضيات و في الفلك و النجوم بحثنا حياته العلمية و درسنا آثاره الرياضية و الفلكية، و يدور البحث في هذه المقالة حول المحاور الثلاث التالية:

I ـ حياته الدراسية و أساتذته و مكانته العلمية؛

II ـ آثاره و مخطوطانها الموجودة؛

III ـ دراسة نقدية في كتابه: الاسطرلاب في كيفية تسطيح البسيط الكري، الذي حقّقناه و سينشر ضمن منشورات مكتبة مجلس الشورى الاسلامي.

I ـ حياة الشيخ ابن الصلاح الهَمَداني و أساتذته و مكانته العلمية

أبوالفتوح نجم‌الدين (أو: كمال‌الدين) أحمد بن محمّد بن السري بن الصلاح

الهَمَداني العالم الرياضي و منجّم و طبيب مشهور و منتقد كبير للنصوص العلمية و يعرف أيضاً بابن السري.

لا نعرف عن تاريخ ولادته شيئاً ولكنّه كان ايرانياً من عائلة عريقة في العلم و أصيلة في الشرافة و تلقّى العلوم الأوّلية في مولده، ثمّ سافر إلى بغداد ليمضي بهافترة طويلة لدارسة مختلف العلوم[1].

و من حسن حظّ ابن الصلاح أنّه كان في نفس الوقت في بغداد قدابتنى الحكيم الرياضي الأديب الكبير أبوالحكم المغربي الأندلسي حوزة علمية حارّة و جذّابة و بلغت شهرته ذروة الكمال وكان طلاّب العلم يقصدون الحضور في حلقة دروسه من جميع أنحآء العالم آنذاک.

فاغتنم ابن الصلاح هذه الفرصة واتصّل بأبي الحكم الأندلسي اتّصالاً وثيقاً في مختلف العلوم و الفنون و لا سيّما في الرياضيات، أصولاً و فروعاً و تعلّم من الأستاذ أكثر ما يمكن تعلمّه لتلميذ عبقري من أستاذ جامع للمعرفة العقلية و العلوم النظرية بحيث كان يذكر أستاذه بخير إلى آخر أيام حياته[2].

و هكذا أدام ابن الصلاح التلمذة إلى أن اكتسب المهارة في الرياضيات و النجوم و الهندسة و الفنون الطبية و المنطق و الفلسفة و صار نفسه أستاذاً كبيراً ذاآرآء بديعة و أصبح في الحكمة، بجميع شعبه و أقسامه، إماماً يقتدى به و كان طلبة العلم يهفون إلى حضور دروسه و هو فضلاً عن علمه الواسع و فضله الجامع كان فصيح اللسان قوي العبارة بليغاً في مايؤدّيه إلى تلامذته من الدروس و في ما يلقيه إلى الطلبة من العلوم، فأقام هو أيضاً كأستاذه مدرسة جذّابة لتعليم الطلّاب و تربيتهم في بغداد... و فضلاً عن ذلک، أقبل هو على التصنيف و التأليف و النقد و الشرح و التحقيق لنصوص آثار العلمآء الماضين و القدامى، و رغم أنّه عرف بصفة طبيب أيضاً، إلا أنّ جلّ شهرته و عمدة مصنّفاته أيضاً في الرياضيات وكان على اطّلاع واسع بآثار علماء

۱. القفطی، تاريخ الحكماء، لايبريک، ۱۹۰۳ م، ص ۲۶۴ و ۲۷۹.

۲. ايضاً، صص ۲۶۴، ۲۷۹.

الرياضيات القدامى و كان يرجع إلى الترجمات السريانية للمصنّفات الرياضية اليونانية لتمكّنه من تلك اللغة[۳].

و ذكر مورّخو العلم الاسلامي أنّ مصنّفاته مهذّبة و متقنة و في غاية الجودة و أنّ حواشيه و شروحه النقدية و التحقيقية على كتب الآخرين قيّمة و مفيدة، و أضافوا أنّ كتبه تعدّاليوم من الآثار الرياضيّة الباقية عنالقرن السادس الهجري / الثاني عشر الميلادي التي كانت لها أثراً بالغاً في تحوّل الرياضيات فی ذلک العهد و قد أثارت أساليبه المطلوبة و العملية في حلّ المسائل الرياضية إعجاب الكثيرين من مورّخي العلوم، فوصفوه بصفات مختلفة تبرز هذا الاعجاب و تظهر احترامهم له، من أمثال: الشيخ، الامام، العالم، المنجّم، المهندس، الرياضي، الخبير بأسرار الحكمة و رموزها، الطبيب المتشخّص و الفيلسوف[۴].

كما و أثنى أبوالحكم المغربي على مكانة تلميذه العلمية و أشار إلى قريحته الشعرية أيضاً[۵].

و بعد هذه الفترة الطويلة و المثمرة التي قضاها ابن الصلاح في بغداد، استدعاه الأمير حسام الدين تيمور تاش الأرتقى إلى ماردين وجعله طبيباً خاصّاً و بما كان حسام الدين تيمور تاش محبّاً للعلم لايستبعد أن يكون قد استقدم ابن الصلاح إلى ماردين لتأسيس مكتبها. و فی هذه الفترة درس عليه فخرالدين أبوعبدالله محمّد بن عبدالسلام بن عبدالرحمان بن عبدالساتر الأنصاري الماردینی الحكمة و الفلسفة.. بعد مدّة أقامها ابن صلاح بماردين توجّه إلى دمشق للالتحاق بأستاذه أبي الحكم المغربي الّذي كان قد أقام فيها قبل مدّة، و في أثناء المسير و عند مروره بالموصل أكرمه الأمير نورالدين محمود زنكي بن عمادالدين زنكي من سلسلة أتابكية الشام.

و لمّا وصل ابن الصلاح إلى دمشق، نزل على الحكيم أبي الفضل إسماعيل بن أبي الوقار الطبيب و أمضى الفترة الأخيرة من حياته في دمشق على أوقر منزلة و

---

۳. ایضاً، ص ۲۷۹.
۴. ایضاً، ص ۲۷۹.
۵. إبن أبی اصیبة، عیون الانباء، القاهرة، ۱۲۹۹ هـ.، صص ۱۶۵ - ۱۶۶.

أجلّ مرتبة بين العلماء، أمثال: أبي الحكم المغربي و ابن أبي الوقار، و الحكيم أمين الدين أبي زكريا يحيى بن إسماعيل البياسي و غيرهم، حتى توفي بها في ليلة أحد في أواخر سنة ۵۴۸ هـ / ۱۱۵۴ م و دفن في مقابر الصوفية عند نهر بانياس[۶].

ذكر القفطي أنّ وفاته كانت في سنة ۵۴۸هـ[۷]، و ذكر ابن أبي أصيبعة في موضع من كتابه[۸] أنّ وفاته كانت في سنة خمسمائة و أربعين و بضع و في موضع آخر ترک محلّ التأريخ بياضاً[۹]، و بناءً على هذا، قول بعض المورّخين المتأخّرين: إنّه مات في سنة خمسمائة و أربعين، خطأولايعبأبه.

II - آثار ابن الصلاح و مخطوطاتها الموجودة

۱) جواب عن برهان مسألة مضافة إلى المقالة السابعة من كتاب أقليدس في الأصول و سائر ماجرّه الكلام فيه:

توجد من هذه الرسالة مخطوطات في مكتبات: أياصوفيا، برقم: ۲ / ۴۸۴۵؛ و برقم: C ۸ / ۴۸۳۰، و فيض اللّه، برقم: ۳ / ۱۳۶۶؛

۲) حاشية على كتاب ايضاح البرهان على حساب الخطأين:

كتاب ايضاح البرهان على حساب الخطأين، لأبي سعيد جابر بن إبراهيم الصابي، و قد كتب ابن الصلاح حاشية عليه، و توجد منها مخطوطات في مكتبات اكسفورد، ولايدن و... ؛

۳) شرح فصل في آخر المقالة الثانية من كتاب أرسطوطاليس في البرهان و إصلاح أخطائه فيه:

تناول ابن الصلاح في هذا الكتاب أخطاء أرسطو فى المنطق، و توجد منه مخطوطة في مكتبة أياصوفيا، تحت رقم: a ۸ / ۴۸۳۰؛

۴) قول في ايضاح غلط أبي علي بن الهيثم في الشكل الأوّل من المقالة العاشرة من كتاب أقليدس في الأصول:

---

۶. القفطي: تاريخ الحكما، ص ۶.
۷. نفس المصدر.
۸. ابن أبی أصيعبة، عيون الانباء، ج ۲ ص ۱۶۴.
۹. نفس المصدرج ۱ ص ۳۰۰.

هذه الرسالة حول أصول أسلوب الافناء عند أقليدس، و توجد منها مخطوطة في أياصوفيا، برقم: ۴۸۳۰، و أخرى في قليچ علي، برقم: ۵ / ۴۸۴۵؛

۵) قول في بيان الخطأ العارض في معنى مذكور في المقالة الثالثة من كتاب أرسطوطاليس في السماء و العالم و في جميع الشروح و التعاليق الّتي تعرّف فيها بايضاح المعنى.

توجد من هذه المقالة مخطوطة في أياصوفيا، برقم: b ۸ / ۴۸۳۰؛

۶) قول في بيان ما وهم فيه أبو علي بن الهيثم في كتابه: في الشكوك على أقليدس، أنّ من آثرالحقّ و طلبه غير مستبشع عنده التنبيه على الغلط:

موضوع هذه الرسالة نقدكتاب في حلّ شكوك كتاب أقليدس في الأصول و شرح معانيه، الّذي ألّفه أبوعلي حسن بن الهيثم البصري.

و توجد منها مخطوطة في أياصوفيا، برقم: a ۸ / ۴۸۳۰.

و لهذه الرسالة عنوان آخر هو: الردّعلى ابن الهيثم فيما وهم فيه من كتاب أقليدس في الأصول. و توجد منها تحت هذا العنوان الأخير مخطوطة في مكتبة فيض‌اللّه، برقم: ۴ / ۱۳۴۴؛

۷) قول في بيان ما وهم فيه أبونصر الفارابي عند شرحه الفصل السابع عشر من المقالة الخامسة من المجسطي و شرح هذا الفصل:

نقد ابن الصلاح في هذه الرسالة آراء الفارابي حول شرحه هذا الفصل من كتاب المجسطي، و توجد منها مخطوطة في المكتبة الفاضلية بمشهد المقدّسة، برقم: ۲۶؛

۸) قول في ثبت (أو: سبب) الخطأ و التصحيف العارضين في جداول المقالتين السابعة و الثامنة من كتاب المَجِسْطي و تصحيح ما أمكن تصحيحه من ذلك:

هذه الرسالة حول تصحيح أخطاء جداول مقالتي المجسطي السابعة و الثامنة. و قدقام ابن الصلاح فيها بتصحيح الأخطاء الّتي وقعت في تحديد إحداثيات النجوم، و غيرها من الأخطاء الّتي وقعت إثرالاستنساخات المتعدّدة للكتاب المذكور. و قد نقد في كتابه هذا كلاً من البتّاني، و عبدالرحمان الصوفي، و السجزي، و أبي الريحان البيروني، و غيرهم بأسلوب علمي متين، و حظي أسلوبه هذا باهتمام الباحثين في العصر الراهن.

و أفاد ابن الصلاح في هذا الأثرمن ۵ نسخ من كتاب المجسطي:

الف ـ النسخة الأولى، ترجمة سريانية عن اليونانية؛

ب ـ النسخة الثانية، ترجمة عربية عن اليونانية، ترجمها الحسن بن قريش للمأمون العبّاسي؛

ج ـ النسخة الثالثة، ترجمة الحجّاج بن يوسف بن مطر و هليا بن سرجون عن اليونانية إلى العربية للمأمون؛

د ـ النسخة الرابعة، ترجمة إسحاق بن حنين بخطّه للوزير أبي الصقر، ابن بلبل، و هي أيضاً من اليونانية إلى العربية؛

هـ ـ النسخة الخامسة، النصّ المنقّح للنسخة السابقة، نقّحه ثابت بن قرّة.

و توجد من هذا الكتاب مخطوطات عديدة و ترجم هذا الكتاب إلى الألمانية ب. كونيتش، و بادر إلى شرحه و تفسيره أيضاً، وطبعه فى غوتينغن، عام ۱۹۷۵ م؛

۹) كتاب الأسطرلاب في كيفية تسطيح البسيط الكري:

هذا، هو الكتاب الذي قد حقّقناه و سينشر ضمن منشورات مكتبة مجلس الشورى الاسلامي و سندرسه دراسة نقدية عابرة في هذه المقالة؛

۱۰) كتاب الكلام في الأسطرلاب المبطّخ:

لقد ذكر هذا الكتاب ابن الصلاح من تآليفه في أثره السابق ذكره و لكنّا لانعرف عنه شيئاً و لمّا نعثر على وجود نسخة من مخطوطاته في المكتبات حتّى الآن؛

۱۱) ما ذكره بطلميوس في الباب الثاني من المقالة الثانية عشرة في معرفة مقدار رجوع زحل و في الأبواب الأربعة الّتي بعده لرجوع باقي الكواكب:

موضوع هذا الأثر شرح آراء بطلميوس القلوذي حول معرفة مقدار رجوع زحل و سائر الكواكب. و توجد منه مخطوطات عديدة في المكتبات، منها: نسخة في سراي أحمد ثالث، برقم: ۱۵ / ۳۴۵۵، و أخرى في سراي حزين، برقم: ۴۵۵ و...؛

۱۲) مسألتان هندسيتان:

توجد نسخة من هذه الرسالة في لايدن، برقم: ۱۰۰۶، و احتمل زوتر أنّ الرسالة

الموجودة في أكسفورد، برقم: (3 / 913 / 1) هى نفس النسخة المذكورة.

١٣) مقالة في تزييف مقدّمات مقالة أبي سهل الكوهي في أنّ نسبة القطر إلى المحيط نسبة الواحد إلى ثلاثة و سبع:

توجد منها نسخة في أياصوفيا، برقم: g ٨ / ٤٨٣٠؛

١٤) مقالة في الشكل الرابع من أشكال القياس (الحمل) و هذا الشكل منسوب (و هو منسوب) إلى جالينوس:

توجد من هذه المقالة نسخة في أياصوفيا، برقم: ٨ / ٤٨٣٠.

و ترجم هذه المقالة و نقّحهان رشر و نشرها باسم «جالينوس و القياس» بجامعة بيتسبورغ، عام ١٩٦٦ م؛

١٥) مقالة في كشف الشبهة الّتي عرضت لجماعة ممّن ينسب نفسه إلى علوم التعاليم على أقليدس في الشكل الرابع عشر من المقالة الثانية عشر من كتاب الأصول:

توجد من هذه الرسالة مخطوطات عديدة، منها: في أياصوفيا، برقم: ۴ / ۴۸۴۵، و برقم: F ٨ / ٤٨٣٠، و في فيض اللّه، برقم: ۵ / ١٣٦٦.

III ـ دراسة نقديّة في كتاب الشيخ ابن الصلاح: الأسطرلاب في كيفية تسطيح البسيط الكري

كتاب الأسطراب في كيفية تسطيح البسيط الكري، من مؤلّفات الشيخ ابن الصلاح الهَمَداني، رسالة في كيفية تصوير الكرة على سطح مستو، و هذا العلم يعرف اليوم بالاستريوغرافيا، أي: التصوير التجسيمي.

و تشتمل هذه الرسالة على مقالتين: ١) الأولى، في البحث النظري؛ ٢) الثانية، في التطبيق العملي على الأسطرلاب.

و الأسطرلاب، آلة علمية كان المنجّمون و المهندسون القدامى يستعملونها في أكثر أعمال علم النجوم و غيرها، من تعيين الأفق و تعيين وقت الصبح و المغرب و بعد الكواكب و قربها و ارتفاع الشمس و الجبال و تعيين أعراض البلاد و أطوالها و

غيرها من الأعمال، بحيث لم يكن أحد من المنجّمين أوالمهندسين لايعرف العمل بها و بقواعدها، وكانوا يعدّون علم الأسطرلاب من فروع علم الهيأة و يعدّون هذا العلم من فروع الحكمة الرياضية وكانوايسمّون الحكمة الرياضية بجميع شعبها و فروعها علوم التعاليم.

وكانت للاسطرلاب صفحة معدنية مدوّرة مدرّجة ذات أجزاء عديدة مختلفة خاصّة بها.

و قد اختلِف في واضع هذا العلم و المخترِع لهذه الآلة. فقيل: هو أخنوخ، و هو إدريس النبي، أوهرمس الحكيم. و قيل أيضاً: بل هو لاب بن إدريس.

و الأكثر على أنّ واضع علم الأسطرلاب و المخترِع لهذه الآلة العلمية هو بطلميوس القلوذی، مؤلّف كتاب المجسطي.

و ذكر المورّخون في كيفية تطرّقه إلى هذا الابداع، أنّه كان يوماً يسير على مركب له و في يده كرة فلكية، فسقطت الكرة من يده و وضع المركب رجله عليها و جعلها الضغط الوارد عليها دائرةً، فصارت أسطرلاباً وكان علماء التعاليم يعتقدون إلى ذلك الوقت، أنّ صور الأفلاک لايمكن ترسيمها إلّا على جسم كري يشبه هيأة الأفلاک. و لمّاراى بطلميوس هذه الكرة الملتوية و الّتي اتّخذت صورة صفيحة مدوّرة تحت الضغط و تأمّل فيها، وجِدَله هذا الفكرو النظر، أنّه كما يمكن ترسيم صور الأفلاک على الكرة، يمكن كذلک ترسيمها على البسيط المسطّح المدوّر، و النتيجة الّتي تحصل من ترسيمها على الكرة المجسّمة، تحصل بعينها من ترسيمها على الدائرة المسطّحة. فوضع قواعد علم الأسطرلاب و اخترع أيضاً تلک الآلة العلمية الموسومة بالأسطرلاب. ثمّ شاعت و تداولت بعد ذلک الاستفادة من الأسطرلاب بين العلماء الرياضيين و أضاف بعضهم فيها صفحات و أجزاء جديدة و أوجدوا في شكلها أيضاً تغايير حسب أعمالهم النجومية و الفلكية المختلفة.

و أوّل من تعلّم قواعد علم الأسطرلاب و استفاد منها في صناعة التنجيم من العلماء المسلمين هو أبوإسحاق إبراهيم بن حبيب الفزاري، ثمّ جاء من بعده

الرياضيون المسلمون بأنواع جديدة و أشكال مختلفة من الأسطرلاب، يسمّى كلّ منها باسم خاصّ به، مثل: الأسطرلاب التامّ، و المسطّح، و المسمّت، و الطوماري، والهلالي، و الزورقي، و العقربي، و الآسي، و القوسي، و الجنوبي، و الشمالي، والمُسَرْقط، و العصا، و المغني و... .

و كان لكلّ نوع من هذه الأنواع مخترع اخترعه و مبدع ابتكره وصنعه، كالأسطرلاب الزورقي، مثلاً، فإنّ أباسعيد أحمد بن محمد بن عبدالجليل السجزي وضعه وصنعه؛ و كالأسطرلاب المعروف بـ«العصا»، الّذي ابتدعه الأستاذ الشيخ شرف‌الدين مظفّر بن محمّد بن مظفّر الطوسي القارئ، أستاذ الشيخ كمال‌الدّين يونس الموصلي.

و كان بطلميوس القلوذي قد ألّف كتاباً في هذه الصناعة بآسم: **في تسطيح بسيط الكرة**، و شرحه تلميذه بَبُس الاسكندراني. و كذالک صنّف عدّة من علمائنا الرياضيين كتباً في علم الأسطرلاب و العمل بهذه الآلة العلمية، منهم:

۱) حبش الحاسب، و كتابه: الأسطراب الشمالي، معروف؛

۲) و الفرغاني، و كتابه: **الكامل في علل و عمل الأسطرلاب**؛

۳) و ابن السمح القرطبي، و كتابه: **في العمل بالأسطرلاب**؛

۴) أبوريحان البيروني، و كتابه: **إستيعاب الوجوه الممكنة في صنعة الأسطرلاب**؛

۵) و كوشيار بن لبان الجيلي، و كتابه: **في العمل بالأسطرلاب**؛

۶) و ابن الصلاح الهَمَداني، وله كتابان في الأسطرلاب:

أحدهما، **كتاب الكلام في الأسطرلاب المبطّخ**، الّذي ذكراسمه ابن الصلاح في كتابه الثاني الذي نحن الآن نبحث عنه و كلّ ما نعلم عن هذا الأثر اسمه و موضوعه الذي قال ابن الصلاح عنه أنّه بحث فيه عن القطوع المخروطية، و هو غير موجود؛

و الثاني، **كتاب الأسطرلاب في كيفية تسطيح البسيط الكري**. وله مخطوطات عديدة في المكتبات.

و قد ذكر هذا الكتاب في الفهارس بعناوين مختلفة، منها: **تسطيح بسيط الكرة**، و **رسالة البرهان**، و **رسالة البرهان في فنّ التسطيح**، و **رسالة في معرفة الأسطرلاب**، و **في معرفة الأسطرلاب**.

و ألّف ابن الصلاح هذا الكتاب للسيّد الأجلّ العلم شمس الحكماء أبي منصور عيسى بن نعمان، و قسّمه قسمين: علماً و عملاً بإشارة منه. و يقول في موضوع كتابه هذا:

«فأمّا هذا الكتاب، فانّي تكلّمت فيه: في السطح الذي يكون على أحد قطبي الشمال و الجنوب، و هو الأسطرلاب الذي خطوطه مستقيمة و مستديرة. و تكلّمت في كلّ نوعي الأسطرلاب الشمالي و الجنوبي، و جعلته متقالتين: الأولى، في العلم؛ و الثانية، في كيفية العمل، و قسمة الصفائح و تخطيطها».

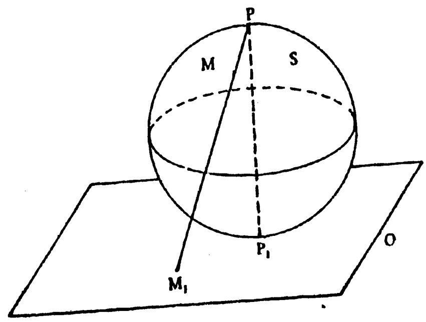
ثمّ يلقي اين الصلاح نظرة نقدية إلى المآخذ و المصادر و الكتب المؤلّفة قبله في هذه الصناعة الموجودة لديه، فيذكر كتاب بطلميوس و شرح بَبُس له و كتاب حبش الحاسب وكتاب الفرغاني وكتاب ابن السمح القرطبي وكتاب أبي ريحان البيروني و كتاب كوشيار و ينقّد كلّاًمنها و يضيف قائلاً:

«فوجدتها على غيرما أشار [شمس الحكماء أبومنصور عيسى بن نعمان] إليه، و ذلک أنّ العلم في بعضها مدمج من غير ايضاح كيفية العمل، ككتاب بطلميوس و شرحه؛ و في بعضها العلم مقصور و العمل بطريق شاقّ، نحو كتاب الفرغاني و...»

ثمّ يقدّم مقدّمات و بعد ذلک يأخذ ابن الصلاح في إقامة البراهين على الصور الاستريوغرافية.

و بعض براهينه بالرموز العصرية فهي للصورة الاستريوغرافية، كمايلى:

«نأخذ السطح S من الكرة، و نختار عليه نقطة مّا مثل P و نشير إلى متقاطر P على السطح S بـ P_1. ثمّ نرسم السطح Q ليمسّ S عند النقطة P_1، فيكون لدينا مقابل أيّ نقطة على S مثل M، نقطة على Q مثل M_1. ثمّ نمدّ الخطّ الواصل بين P و M حتّى يقطع السطح Q فى M_1 و عندها تصبح M_1 الصورة الاستريوغرافية لـ M نسبة إلى P و الكرة S» (الشكل ۱). و تستعل مثل هذه الصورة بكثرة في الأسطرلاب:



(شكل ١):

و كذلک نجد في هذا الكتاب إثبات هذه العلاقة:

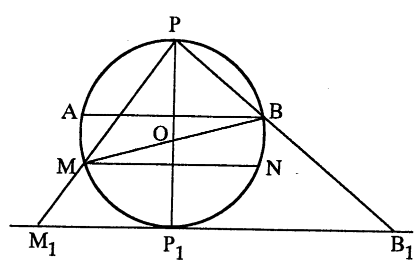
«نصف قطر لتصوير مدار رأس السرطان + نصف قطر تصوير مدار رأ س الجدي = قطر تصوير (الاستريوغرافي) دائرة البروج»، كما ففي (الشكل ٢). في الشكل ٢، الخطوط AB و MN و MB على التوالي تشكّل تقاطع أسطح دوائر مدار رأس السرطان، و مدار رأس الجدي، و دائرة البروج بالسطح الذي يمرّ من P و مركز الكرة و نقاط الانقلاب الصيفي (B) و الشتوي (M)، و يكون لدينا:

«نصف قطر تصوير مدار رأس الجدي = M_1P_1»؛

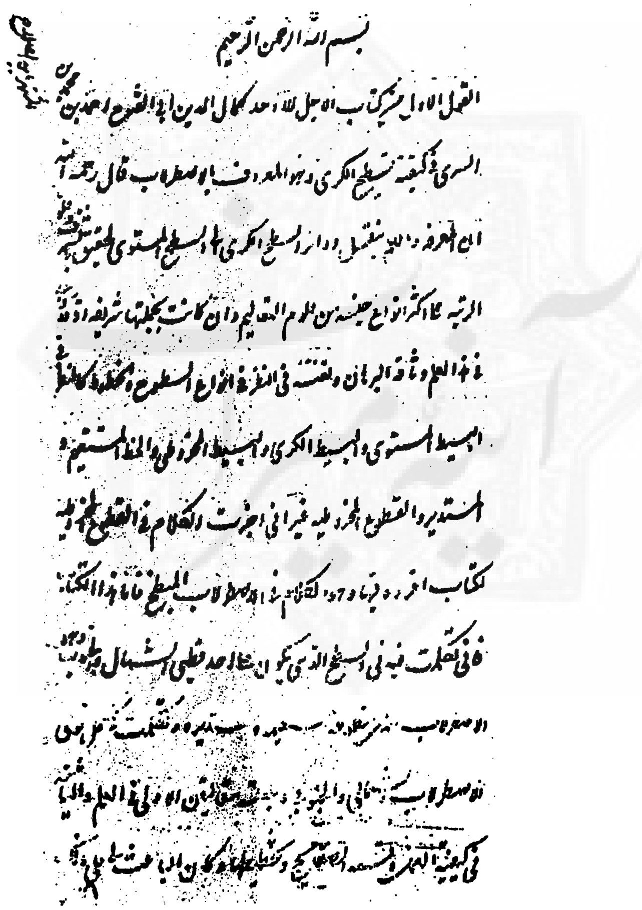
«نصف قطر تصوير مدار رأس السرطان = P_1B_1»؛

«قطر تصوير دائرة البروج = M_1B_1».

و بالنتيجة نحصل على العلاقة المذكورة.



(الشكل ٢):

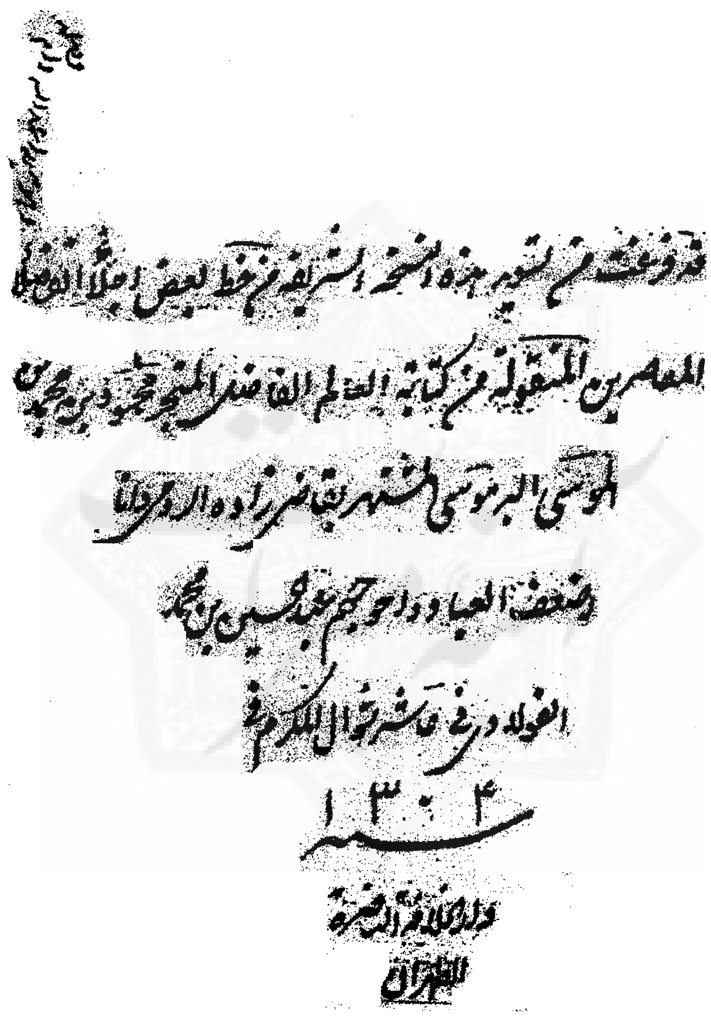


بسم الله الرحمن الرحيم

القول الاول ... لاحد كمال الدين ابي الفتوح احمد بن محمد بن

السري في كيفية تسطيح الكرة وهو المعروف بالاسطرلاب قال رحمه الله

الصفحة الأولى من النسخة الموجودة في مكتبة مجلس الشورى الاسلامي


قد وقعت من تسويد هذه النسخة الشريفة من خط لبعض اجلاء الافاضل
المعاصرين المنقولة من كتابة العالم الفاضل المنجم محمود بن محمد بن
الموسى [illegible] المشتهر بقاضي زاده الرومي انا
اضعف العباد واحوجهم عبد الحسين بن محمد
[illegible] في عاشر شوال المكرم في
سنة ١٣٠٤

الصفحة الأخيرة و الختامية للنسخة الموجودة في مكتبة مجلس الشورى الاسلامي

خلاصهٔ مقالات انگلیسی و فرانسه این شماره

«فارابی و وحشت طبیعت از خلاء»

از: جعفر آقایانی چاوشی

در تاریخ اندیشهٔ بشری، خلاء یا فضای تُهی همواره جایگاه مهمی را بخود اختصاص داده است.

از دورهٔ یونان باستان تا قرن هفدهم میلادی این موضوع ذهن علما و فلاسفه را بخود مشغول کرده بوده است. وجود خلاء نه تنها به دلایل فیزیکی بلکه بویژه به دلایل متافیزیکی متناوباً مورد تأیید و انکار قرارگرفته است.

امروزه نیز علیرغم آزمایش معروف پاسکال، نمی‌توان وجود خلاء را قاطعانه تصدیق کرد. چراکه خلاء حاصل در این آزمایش، تنها یک خلاء ظاهری بوده است.

بدین ترتیب متوجه می‌شویم که علمای پیشین دربارهٔ نظریهٔ ارسطو دایز بر عدم وجود خلاء در طبیعت جانب انصاف را رعایت نکرده‌اند.

ارسطو با نظریهٔ خود بسیاری از پدیده‌های طبیعی را توجیه میکرد. تا زمانیکه فوران آب به سوی بالا در عصر هرون اسکندرانی این نظریه را زیر سؤال قرار داد. فارابی فیلسوف بزرگ اسلامی با ارائه نظریه کلی‌تر از نظریه ارسطو این نقص ارسطویی را برطرف ساخت. همین نظریهٔ فارابی در غرب بوسیلهٔ دانشمندان معروف انگلیسی بصورت کلی‌ترین مطرح گردید و عنوان معروف «وحشت طبیعت از خلاء» را بخودگرفت. در این مقاله مفصلاً درباره نظریهٔ فارابی بحث شده است.

«پیدایش و توسعه علوم اسلامی با تحلیلی از تاریخ ریاضیات اسلامی به عنوان مثالی ازین علوم»

از: احمد جبار

تاریخ علوم اسلامی همواره به علت غرض‌ورزی غربیان و نیز ادعاهای بی‌اساس و اغراق‌آمیز پاره‌ای از مسلمانان، در پرده‌ای از ابهام مانده است.

نویسنده مقاله که خود ریاضیدان و آشنا به زبان عربی و تاریخ ریاضیات است، کوشش کرده، با نگاهی بر تاریخ ریاضیات اسلامی بنحو دقیقی از پیدایش جبر و مثلثات و آنالیز ترکیبی و حساب احتمالات در تمدن اسلامی سخن گفته و نقش این اکتشافات را در توسعهٔ ریاضیات مورد بحث قرار دهد.

«رساله کاشانی درباره محاسبهٔ سینوس یک درجه»

از: بوریس روزنفلد

میدانیم که کاشانی با روش کاملاً ابتکاری موفق شد، سینوس یک درجه را با تقریب تحسین‌آمیزی محاسبه کند.

نویسنده مقاله ضمن معرفی رساله کاشانی، به شروح عربی و فارسی آن اشاره کرده و سپس روش ریاضی کاشانی را برای تعیین سینوس یک درجه تشریح نموده است.

«روش کاشانی برای محاسبه طاقها»

از: ایون دولد سمپلونیوس

مفتاح الحساب غیاث‌الدین جمشید کاشانی در حقیقت یک دایرةالمعارف ریاضیات مقدماتی است که در آن از هر دو جنبه نظری و عملی و ریاضیات سخن رفته است.

چهارمین بخش از این کتاب به اندازه‌گیری شکلها و اشیاء هندسی مربوط می‌شود. این بخش با مثلث و مطالب مربوط به آن آغاز و با اشکال سه بُعدی و خواص آنها ادامه می‌یابد. و سرانجام در فصل نهم آن اندازه‌گیری ساختمانها در یک کار معماری مورد توجه قرار میگیرد. این فصل را کاشانی به سه فصل کوچکتر به شرح زیر تقسیم کرده است:

۱ ـ اندازه‌گیری طاق و سردابه

۲ ـ اندازه‌گیری گنبد

۳ ـ اندازه‌گیری مقرنس

نویسنده مقاله که از متخصصان کاشانی و پیش از این مقالاتی درباره کارهای کاشانی درباره اندازه‌گیری گنبد به چاپ رسانده است، در این مقاله سعی کرده با روشی علمی روش کاشانی را درباره اندازه‌گیری طاق مورد تحلیل قرار دهد.

«اندازه‌گیری کاشانی از عدد π تا شانزده رقم اعشاری و جایگاه این اندازه‌گیری در تاریخ ریاضیات»

از: یان هوخندایک

غیاث‌الدین جمشید کاشانی ریاضیدان برجسته ایرانی توانست روش ارشمیدس را برای محاسبهٔ عدد π که به روش افناء نیز معروف است توسعه دهد و این عدد را با شانزده رقم اعشاری محاسبه نماید.

هدف کاشانی بدست آوردن π با کمترین خطای ممکن بود. میدانیم که بدلیل عدم آگاهی ما نسبت به مقدار واقعی عدد π، همواره مقداری خطا در محاسبه محیط دایره وجود دارد. بنابراین هرچه شعاع دایره بزرگتر باشد، مقدار خطای حاصل بزرگتر خواهد بود.

حال اگر بتوانیم بزرگترین دایرهٔ موجود در جهان را با کمترین خطای ممکن محاسبه کنیم، می‌توانیم عدد π را با تقریب مناسبی بدست آوریم.

بدین ترتیب بود که کاشانی تصمیم گرفت محیط جهان را با چنان دقتی حساب کند که مقدار خطای حاصل در محاسبه، کمتر از قطر یک «تار مو» باشد. امّا اینکه کاشانی چگونه از محیط جهان آگاهی داشت، بحثی است که به نظریات نجومی زمان او برمی‌گردد. الگوی کیهان‌شناسی در این زمان همان الگوی بطلمیوس بود. در این الگو شعاع جهان چیزی در حدود ۲۰۰۰۰ برابر شعاع زمین بود.

منجمین اسلامی با پذیرش اصول کُلی نظریه بطلمیوس با انجام اصلاحاتی شعاع جهان را مساوی با ۲۶۳۲۸ برابر شعاع زمین در نظر گرفتند.

در این مقاله روش کاشانی بدقت مورد بررسی قرار گرفته و جایگاه آن در تاریخ ریاضیات خاطرنشان شده است.

«روش ابوالوفای بوزجانی برای اندازه‌گیری زمان

از: جعفر آقایانی چاوشی

امروزه برای اندازه‌گیری زمان از ساعت‌های مختلفی استفاده می‌شود حال آنکه در قرون وسطای اسلامی شناخت اوقات بصورت دیگری صورت میگرفت.

منجمین با استفاده از ارتفاع خورشید در روز و یا ارتفاع یک ستاره معلوم در شب می‌توانستند وقت مورد نیاز خود را حدس بزنند. برای تعیین ارتفاع خورشید نیز منجمان اسلامی آلتی ساخته بودند که در هرآن قادر بود، ارتفاع خورشید را تعیین نماید.

حبش حاسب ریاضیدان ایرانی، یکی از دانشمندانی است که برای اندازه‌گیری زمان از روی ارتفاع خورشید فرمولی ارائه داده است.

ابوالوفای بوزجانی ریاضیدانِ برجسته قرن چهارم در رساله‌ای که درین باره تدوین کرده، به اثبات فرمول حبش اقدام نموده است. در این مقاله با استفاده از علائم جدید ریاضی براهین بوزجانی مورد تحلیل قرارگرفته است.

[54] Pezold, M.: "Das Fundstück aus Chujut Rabuah"
(The Find from Chujut Rabuah)
Magazin für alternative und interdisziplinäre Archäologie, 2000
http://www.mysteria3000.de/archiv/lc/batterie.htm
http://www.allmystery.de/geschichte/baghdad/baghdad.shtml

[55] Orcutt, L.: "Tomb Lighting"
Catchpenny Mysterious, 2000
http://www.catchpenny.org/light.html

[56] Comoretto, G.: "La pila di Baghdad"
(The Battery of Baghdad)
Enciclopedia Fanta-Arechologica, 2002
http://www.cicap/enciclop/at100245.htm

[57] Anonymous: "Aus den Anfängen der Galvanotechnik"
(From the Beginning of Electroplating)
Galvanotechnik Heft 1, 100. Band, 2002, pp. 70-92

[58] Kanani, N.: "Yek Kashf-e Ashkani"
(A Parthian Discovery)
Sanat-e Abkari (Persian Journal for Plating Technology), No. 22, Tehran, 2002, pp. 13-17

[59] Von Handorf, D. E.: "The Baghdad Battery – Myth or Reality?"
Plating and Surface Finishing, May 2002, pp. 84-87

[60] Anonymous: "Strom in der Antike?"
(Electric Current in Antiquity?)
Presseamt, Neuss, Germany, 9. September 2002
http://194.245.34.19/ticker/texte/200210011.../2002092922520

Gold Bulletin, 28 (1), 1995, pp. 12-16

[46] Eggert, G.: "Von Birmingham in den Basar von Bagdad"
(From Birmingham to the Bazaar of Baghdad)
CLB Chemie im Labor und Biotechnik, Heft 8, 1996, pp. 373-374

[47] Kanani, N.: "Surface Finishing Through Chemical Plating – A Parthian Discovery 2000 Years Ago?"
Oberflächen/Werkstoffe, Nr. 1-2, 1996, pp. 6-14

[48] Eggert, G.: "The Enigmatic Battery of Baghdad"
Skeptical Inquirer, May/June 1996, pp. 31-34

[49] Kanani, N.: "Pardazesh-e sath ba ravesh-e shimia-i"
(Surface Finishing by Electroless Plating)
Sanat-e Abkari (Persian Journal for Plating Technology), No. 2, Tehran, 1997, pp. 2-9

[50] Warren, L. E.: "Did Ancient Cultures Know about Electricity?"
PLIM Report, March/April 1997
http://plim.org/scienceapr97.html

[51] Garlaschelli L.: "L'enigmatica batteria di Baghdad"
(The Enigmatic Battery of Baghdad)
Scienza & Paranormale, 22, 1998, pp. 30-33

[52] Garlaschelli L.: "La batteria di Baghdad"
(The Battery of Baghdad)
La Chimica e l'Industria, 81, 1203, 1999, pp. 1-4

[53] Angee, M.: "Les piles électriques de Bagdad"
(The Electric Batteries of Baghdad)
Marc Angee "Les Découvertes Impossibles", 2000
http://marcogee.free.fe/archeo/pile.html

[37] Paszthory, E.: "Electricity Generation or Magic? The Analysis of an Unusual Group of Finds from Mesopotamia"
MASCA Research Papers in Science and Archeology, 6, 1989, pp. 31-38

[38] Reuber, C.: "Batterie-Geschichte(n)"
(The Story or Stories of the Battery)
Elektronik Journal, 9/89, 1989, pp. 52-53

[39] "Almanacco universale delle cose più strane e misteriose"
(Word Almanac, a Book of the Strange)
Mondadori, 1991, pp. 276-278

[40] Jansen, W. et. al.: "Die Batterie der Parther und das Vergolden der Bagdader Goldschmiede"
(The Parthian Battery and Gold Plating by the Baghdad Goldsmiths)
CLB Chemie für Labor und Betrieb, Heft 3, 1993, pp. 128-133

[41] Keyser, P. T.: "The Purpose of the Parthian Galvanic Cells – A First-Century A. D. Electric Battery Used for Analgesia"
Journal of Near Eastern Studies (JNES) 52, No. 2, 1993, pp. 81-98

[42] Böck, L.: "Batterien der Urzeit"
(Batteries of Antique Times)
Kreiszeitung – Böblinger Bote, Beilage Wissenschaft und Technik 11, 3. Januar 1994

[43] Kurzmann, P.: "Die Parther kannten keine Batterien"
(The Parthians Knew Nothing about Batteries)
Galvanotechnik 85, 1994, Nr. 11, pp. 3645-3646

[44] James, P. and Thorpe, N.: *Ancient Inventions*
Ballantine Book, New York, 1994, pp. 148-149

[45] Eggert, G.: "On the Origin of a Gilding Method of the Baghdad Silversmiths"

[31] Paszthory, E.[47]: "Stromerzeugung oder Magie"
(Electric Current Generation or Magic?)
Antike Welt, Nr. 16 (1), 1985, pp. 3-12

[32] Dunsch, L.: *Geschichte der Elektrochemie*
(The History of Electrochemistry)
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig,1985, pp.9-11

[33] Thumshirn, W.: "Die Urbatterie sollte bloß Dämonen abwehren"
(The Old Battery was only Supposed to Ward off the Demons)
Frankfurter Allgemeine Zeitung, 23. July 1986

[34] Jansen, W. et al.: "Entwicklung und Wandel von Theorien"
(Developments of and Changes in Theories)
PdN-Chemie, 35, Heft 2, 1986, pp. 2-11

[35] Jansen, W. et al.: "Die Batterie der Parther und das Vergolden der Bagdader Goldschmiede"
(The Parthian Battery and Gold Plating by the Baghdad Goldsmiths)
CLB Chemie für Labor und Betrieb, Heft 10, 1987, pp. 528-533

[36] Jansen, W. et al.: "Die Batterie der Parther und das Vergolden der Bagdader Goldschmiede"
(The Parthian Battery and Gold Plating by the Baghdad Goldsmiths)
CLB Chemie für Labor und Betrieb, Heft 11, 1987, pp. 586-592

47. Paszthory mentions also the following papers in connection with the subject being dealt with here:

- Majid A-Shams: "The Battery of Khuyut Rabbou'a", State Organisation of Antiquities and Heritage, Baghdad (s. a.) pp. 1-6
- M. Levy: "Chemistry and Chemical Technology in Ancient Mesopotamia", Amsterdam/London/New York/Princeton, 1959
- F. Haba: "Chemical Technology in Ancient Iraq", SUMER 25, 1969, pp. 91-117

Euphrates and Tigris edited by Eva Strommenger
Ausstellungskatalog des Museums für Vor- und Frühgeschichte Berlin, Staatliche Museen Stiftung Preußischer Kulturbesitz, Mainz am Rhein, 1978, p. 211, 183

[25] Dubpernell, G.: "Evidence of the Use of Primitive Batteries in Antiquity", in: *Selected Topics in the History of Electrochemistry*, edited by G. Dubpernell and J. H. Westbrook
The Electrochemical Society, Princeton, N. J., 1978, pp. 1-22

[26] Grossmann, H.: *Die alten Parther galvanisierten wahrscheinlich schon vor 2000 Jahren*
(The Old Parthians Electroplated Already 2000 Years Ago)
Galvanotechnik, 72, 1981, Nr. 11, pp. 1191-1192

[27] Anonymous: "**E** wie **E**lektrizität: Von den Parthern schon vor 2000 Jahren genutzt"
(**E** as in **E**lectricity: Used by the Parthians Already 2000 Years Ago)
Die Zeit, Nr. 45, 5. November 1982

[28] Leuze, H.: "Aus den Anfängen der Galvanotechnik"
(From the Beginning of Electroplating)
Galvanotechnik 73, 1982, Nr. 9, pp. 954-965

[29] Farshad, M.: *Tarikh-e Mohandessi dar Iran*
(The History of Engineering in Iran"
Bonyad-e Nishabour, Tehran, 1984, p. 136

[30] Wilke, H. H.: *Geburt der Technik*
(The Birth of Technology)
Urania-Verlag, Leipzig, 1985, pp. 106-107

(The Galvanic Cell – A 2000-year-old Electric Current Source in Nuclear Energy Era)
Metalloberfläche, Heft 8, 1970, pp. 293-297

[19] Sprague De Camp, L.: *The Ancient Engineers*
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 233-234

[20] Bockris, J. O'M. and Reddy, A. K. N.: *Modern Electrochemistry – An Introduction to an Interdisciplinary Area*, Vol. 2
Plenum Press New York, 1972, p. 1265

[21] Weiner, R. (Editor): *Electroplating of Plastics*
Finishing Publications Ltd., Hampton Hill, Middlesex, England, 1977, pp. 5-6

[22] Anonymous: "Sumer Assur Babylon, 7000 Jahre Kunst und Kultur zwischen Euphrat und Tigris"
(Sumer Assyria Babylon, 7000 Years of Art and Culture on the Euphrates and Tigris)
Ausstellung im Roemer- und Pelizaeus-Museum, Hildesheim, 23. Juni -24. September 1978
Ausstellungskatalog Nr.95,VerlagPhilippv.Zabern,Mainz,1978, 182

[23] Kirchner, G. (Herausgeber): *Reportagen aus der Alten Welt – Neue Methoden und Erkenntnisse der Archäologie*
(Eyewitness Accounts from all Over the World – New Methods and Discoveries in Archeology)
Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main, 1978, pp. 96-103

[24] Stucky, R.: "Der Garten in Eden" in 7 *Jahrtausende Kunst und Kultur an Euphrat und Tigris*, herausgegeben von Eva Strommenger
(The Garden of Eden) in 7 *Millenia of Art and Culture on the*

(Galvani and Volta Only Rediscoverers – An Urgently Necessary Correction)
Elektrie Heft 2, 1960, pp. 71-72

[13] MacKechnie Javris, C.: "An early electric cell?"
Journal of the Institute of Electrical Engineers, 6, 1960, pp. 356-357

[14] Winton, W.: "Baghdad Batteries B. C."
SUMER, Vol. XVIII, 1962, pp. 87-88

[15] Gray, W. F. M.[46]: "A Shocking Discovery"
Journal of Electrochemical Society, Vol. 110, Issue 9, 1963, pp. 210C-211C

[16] Al-Haik, A.: "The Rabbou'a Galvanic Cell"
SUMER, Vol. XX, 1964, pp. 103-104

[17] Nayyer-Nouri, H.: *Sahm-e Iran dar Tamaddon-e Djahan*
(Iran's Contribution to the World Civilization)
Iranian National Oil Company Publications, Tehran, 1967, pp. 365-357

[18] Huber, R.: "Die galvanische Zelle – eine 2000 Jahre alte Stromquelle im Zeitalter der Nuklearenergie"

---

46. Gray mentions that the subject of „Ancient Electric Cells" has been dealt with in the following publications:

- Willy Ley, Galaxy Magazine, New York, 1939
- The Berkshire Eagle: newspaper, November 23, 1954, Pittsburgh, Mass.
- John Perry: "The Story of Standards", 1955, A pamphlet published by Funk and Wagnalls Co.
- The Berkshire Eagle: newspaper, March 28, 1957, Pittsburgh, Mass.
- Science Digest, New York, April 1957
- The Christian Science Monitor, April 27, 1963
- Cannonade, Vol. 9, No. 4, A house publication of Cannon Electric Co., Los Angeles

I have not been able to obtain copies of these papers.

[5] Gamow, G.: *The Birth and Death of the Sun*
1st Edition, New York, 1940, pp. 33-34, 2d Edition, New York, 1952, pp. 29-30
(German translation: *Geburt und Tod der Sonne*, Verlag Birkhäuser, Basel, 1947, pp. 39-40)

[6] W. Levy: "The Elements of Khujut Rabuʾa and Ctesiphon"
Galaxy Science Fiction 9(3), December 1954, pp. 44-51

[7] Anonymous: "Batteries B. C."
The Laboratory, Vol. 25(4), 1956/57, pp. 112-113
(A house publication of Fisher Scientific Co., Pittsburgh)

[8] Schwalb, M.: "Electric Batteries of 2,000 Years Ago"
Science Digest 41(4), April 1957, pp. 17-19

[9] Anonymous: "Kannte man schon vor 2000 Jahren galvanische Elemente?"
(Did the Ancients Know About the Galvanic Elements 2000 Years Ago?)
Elektro-Welt, Ausgabe B., Nr. 9, *Industrielle Elektrotechnik* 4, 1959, p. 176

[10] Hornauer, E. K.: "Elektrische Batterien – vor 2000 Jahren"
(Electric Batteries – 2000 Years Ago)
Elektro-Nachrichten 11/1, 1959, p. 15

[11] Krämer, O. P., Weiner, R. und Fett, M.: *Die Geschichte der Galvanotechnik*
(The History of Electroplating)
Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau/Württemberg, 1959, pp. 11-12

[12] Winkler, H.: "Galvani und Volta nur Wiederentdecker – eine dringend notwendige Berichtigung"

References

[1] König, W.: "Ein galvanisches Element aus der Partherzeit?"
(A Galvanic Element from Parthian Times?)
Forschungen und Fortschritte, 14. Jahrgang, Nr. 1, 1936, pp. 8-9

[2] König, W.: "Ein galvanisches Element aus der Partherzeit?"
(A Galvanic Element from Parthian Times?)
Technische Blätter, Wochenschrift zur Deutschen Bergwerks-Zeitung, Nr. 3, 1938, p. 80

[3] König, W.: *Neun Jahre Irak* (Nine Years in Iraq)
Rudolf M. Rohrer Verlag, Brünn/München/Wien, 1940, pp.155-184

[4] Becker, M.: "Galvanotechnik vor zweitausend Jahren?"
(Electroplating 2000 Years Ago?)
MSV Zeitschrift für Metall- und Schmuckwarenfabrikation sowie Verchromung, 1940, p. 301

"Modern civilizations tend to believe that they are superior to previous cultures and that these past great civilizations were primitive. We think many of technological wonders were revealed only to us and not to any prior cultures. However, archeological findings in the 20th century have shown this is not the case. Take for instance electricity, which is the source of all power in any modern society." [50]

natural poisons available to them from a number of sources and could somehow concoct the solution they needed. But, what about the arrangement of the iron rod and the copper cylinder in the clay jar? Are we to believe that somebody figured out how to put them together in the right way to make a device capable of supplying a voltage and generating an electric current? Well, an iron nail and a piece of copper in vinegar or wine were all that was needed to experience something strange. After all, to find a source of electric current was the easy part of the story. And, no doubt has been expressed so far that the clay jar with its contents, as described by König, can produce electric current. Issue at stake is whether the battery was used the way he claimed. If only the bottom-sealed copper cylinder was filled with an electrolyte of some kind, then it would not take too long for the battery to stop functioning. The small amount of oxygen dissolved in the electrolyte would be rapidly consumed, and the electric current flowing from the battery would decrease to negligible levels. What came then?

We may try to answer all these questions. Nevertheless, for the time being we must accept that the true nature of the Parthian Battery will remain a tantalizing enigma for years to come.

To consider the case definitely proved and closed, two things must happen. First, a remark should be found in some manuscript saying that Parthian artisans or magicians were capable of changing copper, bronze, or silver to gold. Second, a two-thousand-year-old work of art must come to light, which is both gold plated electrolytically and well preserved.

In conclusion, let us remember what *W. Winton* said forty years ago:

"The incredibility is in the mind of the unbelievers and that arrogant pride in our modern scientific achievements makes us unwilling to believe that effects of current electricity could be known to our Mesopotamian ancestors 2000 years ago."[14]

And what did *L. E. Warren* state forty years later?

Did the Parthian goldsmiths invent the electrodeposition of gold to replace their old gilding techniques, which would leave much to be desired? Needless to say, the mere notion of such a systematical approach by Parthian goldsmiths towards inventing of a new technique would be ridicules. But, what about making such a discovery by coincidence? *W. Jansen* and his colleagues remark:

"Presumably, an observation or a series of observations led the Parthians to the discovery of the "galvanic gold plating". The prerequisites for such a discovery were, of course, that the iron and copper electrodes were being immersed in the same solution, the gold bar and the silver object to be gold plated were electrically connected and immersed in a gold salt solution. Is this really believable?" [34]

And *E. Paszthory* raises the question:

"Are we to believe that the inhabitants of Mesopotamia found by chance a method of converting chemical energy into electrical energy, and of using this energy to carry out the chemical process of galvanic gilding?" [31, 37]

Does the evidence presented in some of the publications provide convincing arguments that the puzzling find from Khujut Rabbou'a was in fact as galvanic cell, a battery, used for electrodepositing gold?

The question to be answered first is whether the materials needed to build such a battery were available at that time? The answer is that all the materials used to construct the battery were common products and the manufacture was well within the ability of the "engineers" of that era. And the electrolyte? Acetic acid and citric acid were at hand to be used as an electrolyte, although wine and vinegar would have been good enough for that purpose. As for gold cyanide solution, we may believe that the Parthian goldsmiths were well versed in the

"One technique which was widely used was to punch the gold leaf into the substrate, either all over the gilded area as observed on a Parthian bowl, or round the edge of the gilded area, as can be seen on the early fifth century B. C. statuette of an Achaemenid king."[45]

According to *Oddy*, the most important gilding techniques employed by the ancients were foil gilding, gold leaf, and fire gilding.

Foil gilding involved tucking a thin gold foil into the edges of the artwork. To secure the foil, grooves were cut into the surface of the artwork into which the edges of the gold foil could be inserted and held in position by hammering them closed.

The gold-leaf method involved pounding gold into the artwork. Compared to foil gilding, this technique had obvious economic advantages, since much less gold was required to cover a given area.

Fire gilding involved the use of gold in an amalgam with mercury. The artwork was cleaned and polished and then a very thin layer of mercury was rubbed into the polished surface. The gold leaf applied on top of this surface would adhere to the object by a process of partial amalgamation.

There were also other techniques available for gilding silver or copper objects. One method often practiced was the etching of baser gold alloys to remove those portions of the surface composed of base metal and so leave a gold-enriched surface.

All these methods had their specific disadvantages. Foil gilding, e.g. was unpopular because the thickness of the foil would obscure any fine detail which was present on the surface of the artwork. Gold leaf was so fragile that it could hardly be wrapped around the object and had to be firmly attached to the surface of the base metal.

---

45. W. A. Oddy: "Gilding – an outline of the technological history of the plating of gold on to silver or copper in the Old World", Endeavor, New Series, Vol. 15, No. 1, 1991, p. 29-33

"The author has had discussion with members of the archeology field who are not pleased with the battery theory. Peck[44], of the Detroit Institute of Arts, feels that all of the plated objects from the cultures east of the Mediterranean can be identified as one or other of the gilding types. In addition, she points out that clay and metal nails were used in Mesopotamia as parts of foundation deposits to magically and symbolically anchor a building for eternity. Peck also points out that the available reports, such as those from Al-Haik, do not specifically state that the vessels and the nails were actually found together as a unit, but only at the same level (and, therefore, the same date)." [59]

In 2002, the Parthian Battery was again on display on the occasion of an exhibition at the Museum in Stadtpark, in Grevenbroich, Germany. A press release form the Presseamt, Neuss, broke the news on September 9th, 2002, under the title "Electric Current in Antiquity?" [60], and announced that on October 8th, the same year, *G. Eggert* would deliver a lecture on the Parthian Battery.

Conclusions

There is some evidence that the Parthian goldsmiths had inherited various gilding techniques from their ancestors, which enabled them to impart beautiful and permanent finishes to silver or copper artworks and enhance their apparent values.

W. A. Oddy, who has given a detailed account of different gilding techniques used in antiquity, has published the photograph of a Parthian silver bowl from the first century B. C. with bands of gilded decoration. He describes the method applied by Parthian goldsmiths to golden the artwork as follows:

---

44. E. H. Peck, Curator of Near Eastern Art, Detroit Institute of Arts

2000 *M. Pezold* published a new photograph of the Parthian Battery in his article "The Find from Chujut Rabuah", which is reproduced in Fig. 21.

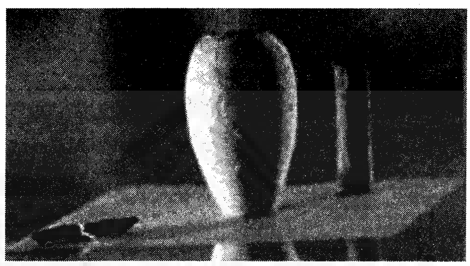


Fig. 21: Photograph of the Parthian Battery published by *M. Pezold* [54]

Pezold claimed that *König* himself had carried out experiments, too. The author failed however, to be more specific about *König's* experiments and whether he had used the original find or a replica of it. Furthermore, he pointed out that by using other electrolytes, the battery would be capable of supplying a voltage of about 2 volts, again without mentioning the source of his information. *Pezold* also claimed that in 1980 similar objects were discovered at Ctesiphon. Then he cited Rolf Schulte (cf. *Kirchner's* reportage, 1978) as saying that in the mean time a few thousands of such devices (!) have been found. [54]

2002 *D. E. Von Handorf* discussed extensively the possibilities whether the Parthian Battery could have been used for electrodeposition of gold millennia ago in his article "The Baghdad Battery – Myth or Reality?" He noted:

"There are 17 mari (approximately 11 liters) wine from the uzbari vineyard that belongs to Friyapatikan, the genial, who is also the Satrap's vassal, in this Khom[43] (pottery jar). The wine was delivered in the year of 188 (60 BC) by Humayak who comes from Artastasvanak. 2 mari of wine has gone sour." [46]

He went on to state that in view of magnificently crafted and richly decorated drinking horns from the Parthian period discovered in the course of the centuries, one could certainly assume that the Parthians themselves appreciated the drinking of wine. He pointed out that a copper vessel filled with wine and in direct contact with an iron scoop hanging in it constituted a plating assembly. He then raised the question:

"Why should we not imagine that one fine day one of those Parthian winegrowers accidentally made an astonishing observation: His iron scoop hanging in the copper bowl filled with wine was covered, God knows why, with a thin layer of copper! Let us suppose just for one moment that this is the story of the Parthian discovery. What could then be the consequence? As one can imagine, sooner or later some smart people, most probably Zoroastrian magi, happened to learn about this discovery and began to realize how important and far-reaching its practical implications could be. So they decided to do their best to keep this great secret to themselves and to prevent ordinary people from getting close to it. After all they did want to derive the greatest possible benefit from this discovery following the motto "Knowledge is Might!"" [47]

---

43. The word khom is still used in the Persian language in its original meaning, pottery jar.

the reaction of oxygen dissolved in the electrolyte. Thanks to the leakproof construction of copper cylinder of König's find (soldered, sealed with asphalt), no oxygen from the outside air can enter the electrolyte. When the small amount of oxygen inside is consumed by the cathodic reaction to hydroxide, the current decreases to negligible levels....In my opinion, the "magical container" hypothesis is much more probable that the "power source" claim. The latter is a "mystification by science" of the object, which violates Occam's razor[41]." [48]

1996 In his detailed article entitled "Surface Finishing Through Chemical Plating – A Parthian Discovery 2000 Years Ago?", *N. Kanani*, provided a brief introduction to the civilization and cultural achievements of the Parthians. He then pointed out that the Parthians were also skilled winegrowers and resourceful wine-merchants. In this connection, he communicated the information that the discovery of a huge Parthian archive in the vicinity of the city of Nisa, the old Parthian residence near the modern city of Ashkabad (Eshgh Abad) in Turkmenistan, by Russian archaeologists had brought to light some 2000 ostraca with 2758 inscriptions. The majority of these potsherds contained official entries dealing with production and delivery of wine. By way of example, the author reproduced one of these documents in his paper, which he had taken from *Wiesehöfer*'s book "The Antique Persia"[42]. It reads as follows:

---

41. Occam's razor refers to the philosophic rule that entities should not be multiplied unnecessarily; in other words, assumptions introduced to explain something are not to be unnecessarily multiplied (related to the English scholastic philosopher William of Occam (1285-1347)

42. Wiesehöfer, J. "Das antike Persien", Artemis & Winkler Verlag, 1994

Downes and *Meyerhoff* described the construction of their model replica as follows:

"To recreate this "battery" we shaped clay into the form of a jar. In order to cut the jar in half, we omitted the firing process and instead shellacked the inside surface to make it non-porous [sic] to liquid. Using a band saw, we cut the jar in half to show the inner workings. We then proceeded to use the band saw to cut the copper cylinder, the steel rod (no iron available), and the rubber stopper (no asphalt available!). We also cut a piece of glass with a glasscutter to place one half of the jar. We epoxied the necessary pieces together. We then filled the jar with vinegar and lo and behold the jar produced 1.1 volts."

1996 *G Eggert* published an article entitled "The Enigmatic Battery of Baghdad", in which he took the trouble to check the experiments performed by scientists who were more or less in favor of *König*'s gold plating hypothesis. Under the heading "The Claim and the Scientists", he discussed disparagingly the attitude of some of the scientists and pseudo-scientists, as he put it, towards the discovery. The following extract from *Eggert*'s paper renders his critical stance on this matter:

"One is tempted to assume that it is easy to check the "power source" hypothesis. In reality, the situation is more complicated. Take pieces from two kinds of metals and immerse them in an electrolyte (e.g., a sour or salty aqueous solution), and there will be a potential difference between the metals (simply because they are chemically different). More is needed for a good power source: To be useful, a reasonable electrical current (i.e., a flow of electrons) must flow for a reasonable length of time. The electrons are set free at the anode, here, the iron rod. To draw current from the apparatus, an outer electrical circuit must be closed; then the electrons can flow through it to the copper cylinder. There the electrons must take part in a cathodic reaction. But what kind?...The small current flowing initially is due to

The artifact, so the authors, was examined by many people. One explanation was that it was a battery, and given the setup shown in Fig. 18, all that would be required to produce an electric current would be to use some acid, of any type including vinegar or wine, as electrolyte. This was validated by building replicas of the clay jar and using wine or vinegar. In both cases the jar did in fact produce electricity as predicted.

Based on this information, *D. Downes* and *A. Meyerhoff* constructed in 1999/2000 a model of the Parthian Battery, a photograph of which is reproduced in Fig. 20.

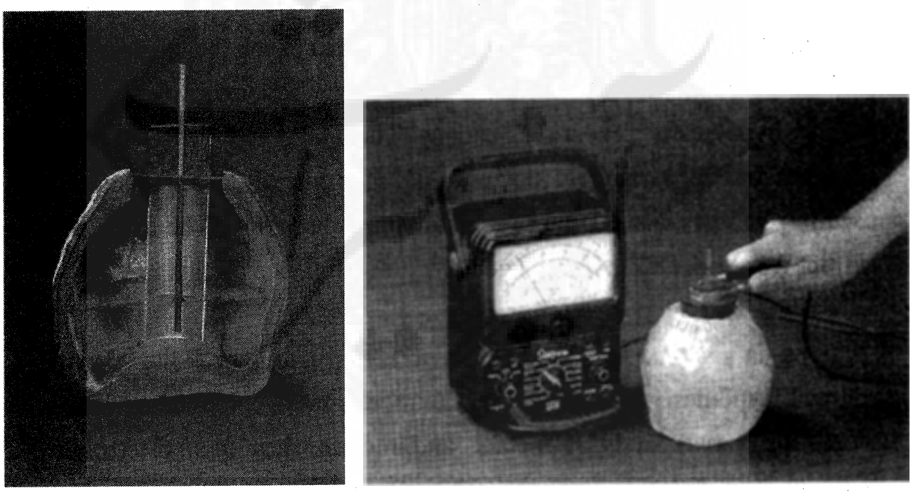


Fig. 20: Replica of the Parthian Battery constructed by *D. Downes* and *A. Meyerhoff* in 1999/2000

Left: the inner workings of the cell; right: measurement of the cell voltage[40]

40.http://www.smith.edu/hsc/museum/ancient_inventions/battery2.html the occupants of the graves. He reminded that inscriptions on papyrus were sometimes found sealed inside similar vessels in ancient tombs. *Kurzmann* also noted that the director of the museum of Islamic Art in Berlin had agreed that the vessels might have been symbolic foundations for the corners of the graves.

Also in 1994, *P. James* and *N. Thorpe* published their book entitled "Ancient Inventions", in which they discussed the "Baghdad Battery". The authors communicated that in June 1936, a new railway was being constructed near the city of Baghdad. In the excavation that followed workers uncovered an ancient tomb. Soon, it was determined that the tomb was built during the Parthian period, which ranged from 250 B. C. to 250 A. D. One object that was discovered during the excavation was a clay jar containing a copper cylinder, an iron rod, and some crumbling pieces of bitumen (Fig. 19).

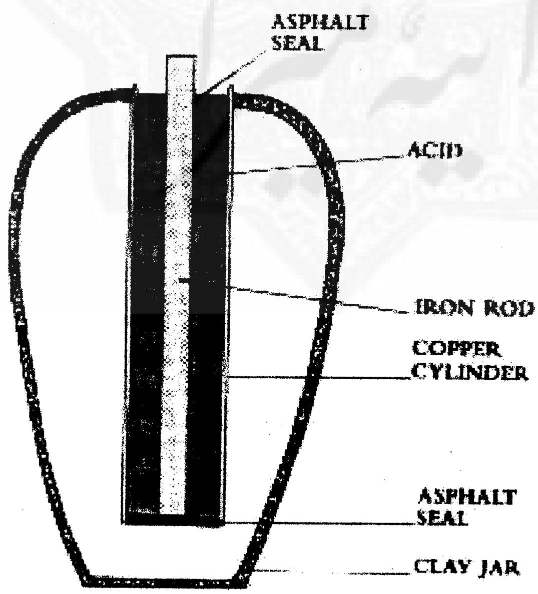


Fig. 19: Schematic representation of the Parthian Battery published in 1994 [44]

Roman use of electric fish as an analgesic....The numbing effect had long been known....Electric fish of one species or another are found in the Mediterranean and in the Nile but not in Persian Gulf or the Tigris-Euphrates system. Is it possible that some Parthian *asû* began applying the long-known galvanic tingling produced by dissimilar metals in an electrolyte, perhaps with conductive acupuncture needles of bronze and iron, as a substitute for the Greco-Roman ichthyoelectroanalgesia? Modern medical practice provides an instructive parallel. First it must be noted that the current produced in the cell models (ca. 1 milliamp) is readily detectable on the skin or tongue and specially in cuts or punctures....The electrical parameters vary but for (partial) local analgesia are a current of roughly a few milliamps at a voltage of a few volts. Such analgesia might well have been produced by a device such as the Parthian cell." [41]

In short, the author was convinced that Parthian physicians employed such electric cells as a substitute for the use of electric fish as a local analgesic. He concluded his paper stating:

"I should prefer to propose an accidental discovery. Had anyone ever used a bronze spoon in an bowl (or vice versa) containing vinegar, for example, the tingling produced in the hand or lip touching both bowl and spoon would be noticed." [41].

1994 An alternate view was provided by *P. Kurzmann* in his paper entitled "The Parthians knew Nothing about Batteries" [43]. He insisted that Parthian goldsmiths had no knowledge of batteries and pointed out that such vessels some with bronze rods, others with iron rods had been found in different locations. *Kurzmann* to described the magic or spiritual meanings that the ancients ascribed to certain metals and suggested that the vessels were intended to provide some magic to iron electrode and depolarize the cell. He then described his own experiments:

"I have examined the find and some similar, probably parallel, finds and have considered how the device might have been invented and what the electrolyte might have been....My own tests showed that a salt solution (i.e., NaCl at ca. 10%) rapidly corroded the iron, depolarizing the cell so that the voltage dropped to ca. 0.4 V within less than one minute; copper sulfate solution, 10% by volume, produced about 0.45 V for several hours only, until the accumulation of copper on the iron depolarized the cell. Citric acid in the form of freshly squeezed grapefruit juice and acetic acid produced 0.49 V." [41]

Keyser held the view that various details of the device considered in the light of modern medical practice would make it possible, or even likely that such cells could have been used as a local electrical analgesic. He pointed out:

"Mesopotamian medical practice included a number of elements conducive to the reception of an electrotherapeutic device of this sort. In 0Akkadian and Babylonian medicine, following the normative Sumerian practice, two "colleges" of physicians were recognized – the *asû* (magical expert) and the □*šipu* (physician). The *asû* was responsible for prescriptions and incantations and was considered a craftman or technician and was associated with magicians. The □*šipu*, on the other hand, practiced divination and diagnosis from the patient's symptoms, but not therapy, and gained status over the *asû* in late Babylonian times. The Mesopotamian therapy was typically non-invasive, using drugs in preference to surgery: one common drug component was vinegar. Little is known of Parthian medicine, but it likely included most of the traditional elements of Mesopotamian medicine...:The critical stimulus was, I believe, provided by the Greco-

Used for Analgesia", *P. T. Keyser* expressed his regret that the Parthian galvanic cell, as he put it, has been known for some fifty years, but not yet scientifically investigated. He added the battery has remained heretofore embarrassingly out of context. After describing the Parthian Battery in some detail, he observed:

"The Parthian device so closely resembles a wet-cell (i.e., galvanic cell with liquid electrolyte) that König assumed it was one. Various features of the construction point in that direction. The asphalt seal indicates the presence of liquid, and almost all available liquids (save vegetable and mineral oils) were acidic. The presence of dissimilar metals in an acid generates a potential difference and is the key feature of a Voltaic pile. The otherwise useless 0.3-cm asphalt layer on the bottom would serve to prevent the possible shorting of the iron rod to the copper bottom. Asphalt is an inert, water-resistant insulator. It is indeed difficult to see what else the device could be." [41]

Keyser stated that the purpose of the device as well as its origin had remained an enigma, and most commentators who had followed *Köing*'s suggestion had not taken the trouble to examine the device by themselves. Only a few researchers had doubted the likelihood of such a use and had experimented with models of their own using various electrolytes. He announced that he would argue why the gold plating hypothesis put forward by *König* was impossible, and would rather prefer to review the device in the light of the ancient outlook and suggest a purpose more in keeping with the technological and scientific milieu of the time. He then stressed that the output of the replicas used by some of the researchers was insufficient to accomplish much in the way of electroplating. Such cells, as *Keyser* stated, would have a short "shelf life" of a few weeks, since the electrolyte would consume the

Fig. 18 shows the results obtained.

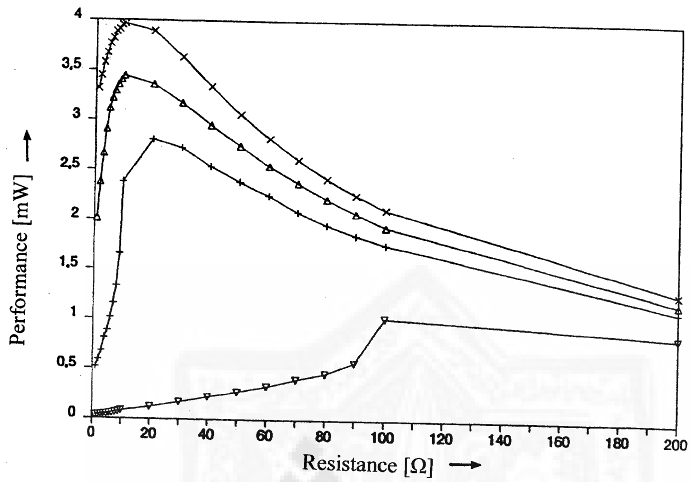


Fig. 18: The performance of the Parthian Battery as a function of benzoquinone concentration in the electrolyte using a model replica built by *W. Jansen* et al. [40]
×: 100 ml acetic acid + 100 mg benzoquinone
Δ: 100 ml acetic acid + 50 mg benzoquinone
+: 100 ml acetic acid + 20 mg benzoquinone
∇: 100 ml acetic acid + 0 mg benzoquinone

From this diagram one can see that the higher the benzoquinone concentration in the electrolyte, the higher the performance of the Parthian Battery.

According to calculations carried out by *Jansen* and his colleagues, a galvanic cell filled with an electrolyte consisting of 100 ml acetic acid and 100 mg benzoquinone has an energy content 100 times higher than that of a cell with only oxygen containing acetic acid solution. Whether or not Parthian goldsmiths knew about the possibility of making use of benzoquinone remains a matter of speculation.

In 1993 appeared another prolonged article, which dealt with the Parthian Battery at greater length. In his paper entitled "The Purpose of the Parthian Galvanic Cells: A First-Century A. D. Electric Battery

Based on these results, the researchers came to the conclusion that the Baghdad Battery described by *König* was a faulty deviation from the real battery, which contained an open-bottom copper cylinder instead of a tightly sealed one for obvious reasons. They postulated that in the case of the real battery, the entire clay jar was filled with electrolyte and, due to its porous walls, oxygen could diffuse into the cell leading to a continuous.

According to the results achieved so far, the effectiveness of benzoquinone as electrolyte in terms of supplying sufficient electric current for a longer period of time was quite obvious. To provide further proof, *Jansen* and his colleagues decided to investigate the performance ($P = E \cdot I$) of the Parthian Battery filled with an electrolyte containing 100 ml acetic acid and different amounts of benzoquinone. To this end, they employed a model replica provided with a voltmeter, an ammeter, and a resistance decade to measure the voltage E, the electric current I, and the resistance R respectively. The experimental setup is shown in Fig. 17.

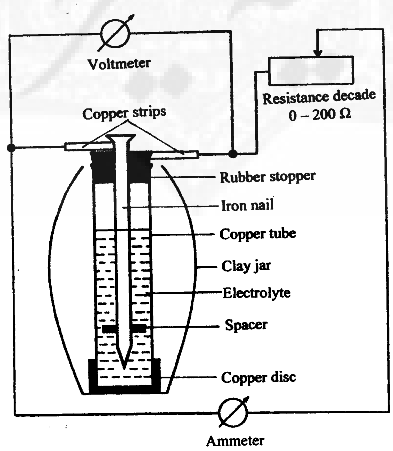
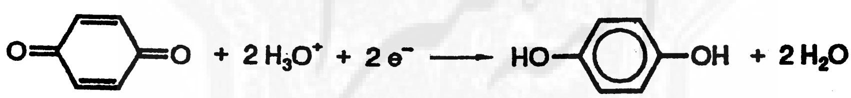


Fig. 17: Experimental setup for measuring the performance of the Parthian Battery using benzoquinone containing electrolytes [40]

1993 *W. Jansen* et al. published the 3rd part of their article entitled "The Parthian Battery and Gold Plating by the Baghdad Goldsmiths" [40]. They reported on their extensive laboratory experiments carried out under different conditions to study the performance of the Parthian Battery. Using experimental setups equipped with either closed or open-bottom copper cylinder, they could demonstrate the potential of such a device. The researchers presented the results of their comprehensive studies and tests regarding the Parthian Battery and its plating capabilities. They investigated the performance of the Parthian Battery as a function of oxygen concentration in the copper cylinder. Since the use of naturally occurring organic acids and sour fruit juices was found to be ineffective, *Jansen* and his colleagues had the idea of using benzoquinone as an electrolyte, which is known to be easily reduced to hydroquinone at the copper cylinder according to the reaction



$OC_5H_4O + 2H_3O^+ + 2{\cdot}e^- \rightarrow HOC_6H_4OH + 2H_2O$ <9>

A voltage of 0.55 volts was obtained with 100 mg benoquinone in 200 mg dilute acetic acid as electrolyte.

Tests carried out in closed-bottom copper cylinders were successful but short-lived because the oxygen in the copper cylinder rapidly depleted, and as a consequence the current quickly decreased to negligible levels.

Experiments performed in open-bottom cylinders were more successful since oxygen could diffuse from the outside into the copper cylinder and maintain the cathodic reaction.

into the electrolyte continually and maintain the constant operation of the battery." [34]

Based on these results, the authors concluded that the assumed reconstruction of the "Ur-Batterie" could not be justified, since it would not allow oxygen to enter the electrolyte contained in the closed-bottom copper cylinder after the dissolved oxygen is consumed entirely. They conjectured that Parthian goldsmiths had been clever enough and had certainly used galvanic cells with open-bottom copper cylinders because were more effective.

In a final note added as an appendix to their paper, the authors acknowledged that they had to change their minds after having studied *König*'s publications in original and a discussion with *E. Paszthory*.

"We believed that the copper cylinder was open at its bottom, since it seemed to us as such when we looked at the photographs we had at our disposal. This is, however, not the case. Most recently we received the original publications by König and a new article written by Paszthory. Now we have to revise our opinion and our evaluation. Our investigation in the meantime has shown that the Parthian Battery definitely had a closed-bottom copper cylinder. It is, therefore, doubtful that it could have been used as a battery, since its voltage is too low. Therefore, we tend to believe, as Paszthory does, that the find from Chujut served magical purposes. The Parthians wrote their wishes on parchment or silk, wrapped them in most effective metals like iron and copper, placed them in clay jars and deposited them in their temples." [34]

1987 *W. Jansen* and his colleagues published an article consisting of two parts entitled "The Parthian Battery and Gold Plating by the Baghdad Goldsmiths" [35, 36]. As far as the Parthian Battery is concerned, the content of these two articles is identical with that of the previous paper [34] already discussed.

solution (c= 1 mol/l) as electrolyte. They assumed the current generating anodic and cathodic reactions taking place at the iron rod and copper cylinder respectively to be

$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4 \cdot e^-$ <7>

$O_2 + 2H_2O + 4 \cdot e^- \rightarrow 4OH^-$ <8>

The results they obtained in their experiments are summarized in Table 2.

Table 2: Electric current supplied by the Parthian Battery as a function of time [34]

I_a: closed-bottom copper cylinder; **I_b** open-bottom copper cylinder

Time	10 min	30 min	2 h	12 h	16 h	20 h	160 h	240 h	360 h
I_a [mA]	0.75	0.65	0.30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
I_b [mA]	1.30	1.20	1.00	0.80	0.90	0.80	0.80	0.75	0.80

Based on these results, the authors came to the conclusion that the voltage was almost the same in both cells at the beginning and sufficient to run a small motor for a certain period of time. They observed, however, that the electric currents I_a and I_b dropped with time, as shown is Table 2. I_a decreased to negligible levels, as soon as the oxygen dissolved in the electrolyte inside the closed-bottom cylinder was consumed by the cathodic reaction <8>. The authors commented their observations as follows:

"These results make it clear that it is possible to plate gold once using the assumed reconstruction of the Parthian Battery with closed-bottom copper cylinder. However, after a few hours there will be no more oxygen present in the electrolyte to be reduced. With our replica having an open-bottom copper cylinder, however, oxygen can diffuse

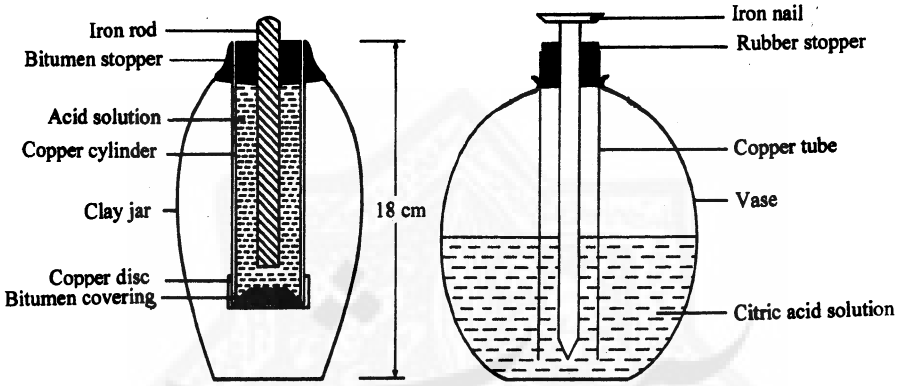


Fig. 16b: Left: schematic representation of the Parthian Battery ("Ur-Batterie") featured in the German newspaper "Die Zeit" [27] with closed-bottom copper cylinder; right: replica built by *W. Jansen* et al [34] with open-bottom copper cylinder

The question *Jansen et al.* were eager to find an answer for was how the Parthian goldsmiths had managed to obtain gold cyanide complex solutions from pure gold to electrodeposit gold. The answer they were looking for was already given in one previously published paper [27]. If gold were wrapped and hammered between badly tanned and rotten leather, it would oxidize and change into a complex gold cyanide compound such as $K[Au(CN)_4]$.

To find out whether the Parthian Battery produces sufficient electric current for electrodepositing gold, *Jansen* and his colleagues used both batteries depicted in Fig. 16, which they filled with a citric acid knowledge of natural sciences of his time. He mentions also objects form the "Parthian Empire", which was constantly in conflict, and as a consequence of that, in extensive contact with the Roman Empire. The interpretation that the cell might have been used to plate galvanic coatings on metallic works of art, is hardly tenable….The preparation of plating baths containing cyanides, which were needed for the deposition of noble metals, was probably not possible in those times; and Pliny the Elder has not explicitly mentioned the prussic or hydrocyanic acid. Further research is required with regard to the history of Near East to find exclusive proof for electrochemical application of the cell of Khujut Rabua." [32]

1986 *W. Jansen* form the University of Oldenburg, Germany, and his colleagues published a paper entitled "Developments of and Changes in Theories - With Examples from Electrochemistry" in which they expressed their views on the Parthian art of gold plating in the following way:

"The Parthians, who conquered Mesopotamia in 141 B. C. and ruled over that region for many centuries, were true masters of gold plating. Their gold coatings are extremely pure and bright similar to those deposited in our times by means of modern electroplating." [34]

The authors reproduced in their article a schematic representation of the Parthian Battery that had been featured in the German newspaper "Die Zeit" in 1982 as the "Ur-Batterie" [27]. This sketch together with the picture of a cell constructed by *Jansen* and his colleagues is shown in Fig. 16.

cell can easily be reconstructed based on the finds. Conclusions concerning its function and its application are partly based on experiments, they can not, however, be considered as a proof. The find of Khujut Rabua is marketed journalistically as a sensation from time to time, however, no new insight into the origin and use of these galvanic elements can be expected from such activities. When we speak of sensation, we may be driven by our European arrogance vis-à-vis the achievements of ancient cultures, but the fact of the matter is that the development of such a mono-cell can only be explained on the basis of the knowledge of that time. This is true for example for metals used then. Copper as well as iron were in extensive use in Parthian times and well known in pure state, as it was the case with gold, bismuth, lead, silver, tin, and mercury. It is also possible that the effect of flowing electric current was discovered when a liquid solution contained in a copper bowl was being stirred manually with an iron rod. All the same, the question that remains unanswered is what (electrically conductive) solution was used at that time?. So far acetic acid and citric acid solutions have been suggested and tested experimentally, for obvious reasons. Presumably, the mono-cell described above was discovered during the preparation of medical tinctures in copper containers; and the cell itself was then used for medical purposes. The find described by König was discovered near a house, which could have belonged to a sorcerer and medicine man. This conclusion is justified in the light of other clay bowls and enchanting inscriptions that were found there. The application of such cells for healing purposes and ritual exercises may be considered as an explanation why the knowledge of such devices was contained to antiquity, and nothing in writing has reached our times, although Pliny[39] the Elder collected exhaustively the entire

39. Gaius Plinius Senecus called the Elder (62-113 A. D.), Roman consul and orator, author of the "Historia Naturalis", and uncle of Pliny the Younger

function of a magical defensive or protective charm. The iron objects recorded in those finds, the nail from Khuyut Rabbou'a, and the ring-headed nails from Ctesiphon served to bind, to nail fast the contents. We conclude that the earthenware jars found in Parthian and Sassanian contexts, sealed with bitumen and containing metal cases, occasionally associated with papyrus remains and metal rods, did not represent any apparatus with a practical use in the modern sense, *e.g.*, the generation of electricity. Rather, they were, as Kühnel (1932) described, containers for "conjurations, blessings and the like, written perhaps on papyrus", which had been deposited to exercise a protective, defensive, or occasionally harmful magic spell." [31, 37]

In short, by discussing the magical meaning of metals in antiquity, *Paszthory* argued that objects found at Seleucia and Ctesiphon were only containers for blessings or incantations written on organic materials.

In his book "The History of Electrochemistry" published in 1985, *L. Dunsch*, reproduced the photograph of the Parthian Battery (Fig. 14) and made the following remarks:

"Evidence for the earliest application of electrochemical knowledge have provided excavations, which were carried out in the thirties of this century in Iraq. The American LEROY WATERMANN and later the Viennese painter WILHELM KÖNIG have found parts of a galvanic mono-cell in Tel Omar (Seleucia) and Khujut Rabua while excavating there. A clay jar, in which a copper cylinder was suspended, served as depository for this mono-cell from Parthian times (~ 250 B. C. to 250 A. D.). An iron rod was positioned in the copper cylinder and isolated from it by means of asphalt. The bottom of the copper cylinder was covered with a layer of asphalt, obviously to prevent a contact between the iron rod and the bottom of the copper cylinder. The structure of the

"A cell was constructed in accordance with the Khuyut Rabbou'a find, to investigate the processes at the electrodes. As electrolyte I chose in each case a hydrous solution of about 10% sodium chloride with about 5% acetic acid or citric acid. It appeared that with the given arrangement the reduction of oxygen at the anode [*sic*] could only proceed at the rate with which the oxygen dissolved in the electrolyte (and used in the drawing of current) was replaced from the atmosphere. The rate of this process determines the fall in potential, which, from about 0.5 v initially, at once decreases to 0.1-0.2 v with use. Sealing the copper cylinder, which is characteristic of the original finds, at once brings the process to standstill. Erosion of the iron electrode occurred in the experiments at the neck of the iron rod. The tapering of the iron spike in the original find corresponds, therefore, to its initial shaping and not to erosion during a use in the postulated fashion." [31, 37]

The author concluded his article by following comments:

"Magic texts had to be written on suitable material, sympathetic to the being responsible for the intended effect (gold, silver, papyrus, silk, or parchment for protective magic; lead for curses); they had to be rolled up perhaps, often tied with thread, housed in suitable metal cases for magical protection, provided if necessary with sharp or pointed objects, and worn as a amulet or deposited....The unglazed earthenware jars of various shapes and sizes were merely containers; they served as protection against mechanical damage during deposition. The sealing of the porous earthenware jars might have been of only magical significance, since the jars would in any case not have been watertight; in the same way as the bronze cylinders were closed at both ends despite having been only rolled together. Bitumen of course was available as an easily worked material for any sealing and insulating. The iron and bronze pins sometimes associated with the groups of finds under investigation had, in the objects found at Seleucia, the occult known for some times". He also mentioned the possible use of the "electric vases", as he put it, for medical purposes:

"It is also possible that the galvanic current found application in the medicine for purposes such as "electrotherapy". After all, electric shocks from electric fish were employed for healing purposes. It is most likely, however, that the oriental "magicians", the sorcerers, were among those who made a fortune by applying such "electric vases"." [30]

In 1985, *E. Paszthory* published a prolonged article under the title "Electric Current Generation or Magic" in which he strongly opposed the idea that the so-called Parthian Battery could have been used as a power source to gold plate base metal objects. Referring to the exhibition of Art and Culture of Mesopotamia organized by the Museum for Prehistory and Early History in Berlin-Charlottenburg in 1978/79, where the finds from Khujut Rabbou'a were displayed, and describing *König*'s discovery at great length, he went on to express his deep skepticism:

"A review of the literature isolates twelve comparable finds from Parthian and Sassanian contexts to which a similar function has been ascribed....The finds are unsuitable for the generation of electric current. They have only an apparent resemblance to mono-cells ("dry batteries")." [31, 37]

Pointing out that there was no evidence in the literature of antiquity of gold solutions used for gold plating and no reference was made to them in alchemical instructions, *Paszthory* continue to describe experiments that he himself had carried out:

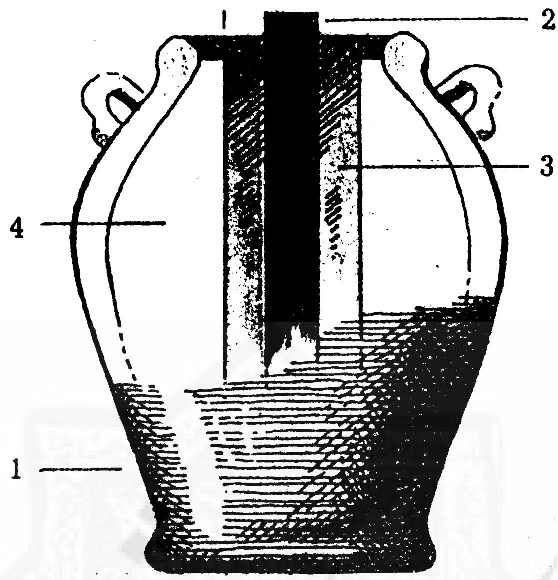


Fig. 16a: *Wilke*'s hand-made drawing of the Parthian Battery [30]

1: Clay jar, 2: Soft iron core covered with lead and bitumen, 3: Copper pipe with bitumen cover, 4: Electrolyte solution

Under the heading "Mysterious electric vases", *Wilke* first discussed in some details the findings from Seleucia and Ctesiphon and continued to describe their function as follows:

"By filling of one such vase with vinegar one could obtain an electric current of 1,5 volts [sic]....As far as the practical use of these "electric vases" is concerned, we still have to resort to conjectures. The electric current flowing from such vases is certainly sufficient enough to plate silver or gold onto copper objects, although chemical methods for plating silver or gold had already been well known for some times." [30]

It is not quite clear, what *Wilke* meant by observing that "...chemical methods for plating silver or gold had already been well be estimated. Just for comparison: High quality batteries for modern flashlights have an energy density of 100 Wh/kg. By the help of the electric current flowing from this cell, one can gold plate a silver figurine having a height of 3 cm in 2 just hours. The gold plating of a breastplate may last somewhere between 10 to 20 days." [26]

1982 The German weekly magazine "Die Zeit" announced in its issue No. 45 of November 5th, 1982, under the heading "E as in Electricity" that electricity was used by the Parthians 2000 years ago. Describing the Parthian Battery in details and representing a sketch of the "Ur-Batterie" (Original Battery), it reported on experiments, which were performed successfully at General Electric's High Voltage Laboratory in Pittsfield, Massachusetts, in 1940 and later confirmed by *A. Eggebrecht* on the occasion of the exhibition in Hildesheim, in 1978. The magazine came to the conclusion that these results were strong proof that the apparatus found at Khujut Rabbou'a was nothing but a battery. It added that the same was true for other cells discovered in Seleucia on the Tigris and in the neighborhood of the old Parthian capital Ctesiphon.

Finally, Die Zeit could not help but jump to the conclusion that

"Now there is evidence beyond any doubt that the Parthians, who conquered Mesopotamia in 141 B. C., knew of the electric battery already in the time of Caesar and Cleopatra." [27]

1985 *H. H. Wilke* presented in his book entitled "The Birth of Technology" a hand-made drawing of the Parthian Battery, which can be seen from Fig. 16.

galvanic cell discovered by *König* and used by Parthian goldsmiths to gold plate silver artworks.

1981 In his paper called "The Old Parthians Electroplated Already 2000 Years Ago" [26], *H. Grossmann* reproduced a photograph of the Parthian Battery similar to that shown in Fig. 14 and strongly supported *König*'s views. He stated that the Parthians were definitely capable of gold plating silver objects and mentioned that a few findings from the Parthian era were in fact made of silver, but plated with an extremely thin gold layer. He also gave a short report on the experiments performed by the scientists of the Battery Development Department of the Robert Bosch GmbH in Stuttgart, one of the largest European electric companies. It was said that the scientists were stimulated by the sensational antique objects exhibited in Hildesheim and had decided to carry out experiments in order to solve the enigma of the Parthian Battery. Their preliminary report is given below:

"The cell is constructed as a copper-iron element. The electrolyte [used by the Parthians] is not known and can not be determined. Nevertheless, natural liquids such as wine, vinegar, or seawater, i. e., tartaric and ascetic acid, or saline solution can be used. Experiments with saline solution have delivered best results. The voltage of the cell amounts, depending on the nature of the electrolyte used, to 0.2 - 0.5 volts. The maximum electric current obtainable form the cell varies between 0.5 and 5 mA. Results were achieved in replicas using a 5 per cent saline solution. The voltage was 0.25 volts; discharge time at a current of 250 mA was about 200 h, that is, almost three months. Through refilling the cell with pure water, the water consumption could be compensated for. Considering the present state of the electrode, it can be assumed that a discharge time of tenfold may be achieved. Based on expected discharge time, an energy density of 1 Wh/kg could

Kirchner included in his reportage three photographs, which are reproduced in Fig. 15, to document the gold plating experiment of the small silver figurine carried out by *K. Pengel*.

It is worth mentioning that the replica under discussion is obviously an open reconstruction model, since there is no asphalt stopper on top of the jar. *G. Eggert* has therefore taken *Kirchner* to task observed:

"Kirchner let a Hildesheim restorer wearing a white coat pose as a chemist with a reconstruction model to lend more credibility to the claim. In the book accompanying the television series, Kirchner (1979) states after uncritical presentation of the find of a battery that the battery development department of a certain company was to perform experiments to solve the enigma of the Parthian "battery". First publish the results, then do the research?" [48]

In 1978, an article by *G. Dubpernell* entitled "Evidence of the Use of Primitive Batteries in Antiquity" was published in the Proceedings of the Symposium on Selected Topics in the History of Electrochemistry [25], in which the author gave a brief account of on electrodeposition of gold in antiquity. He included in his paper *Waterman*'s report of 1930 on excavations at Seleucia and the English translation of *König*'s article of 1938 as well as the passage in his book dealing with the Parthian Battery.

1979 In 1978/79, the exhibition of Art and Culture of Mesopotamia was on display at the Museum für Vor- und Frühgeschichte (Museum for Prehistory and Early History) in Berlin-Charlottenburg. The exhibition was considered to be most interesting from a scientific point of view, because one more time the Parthian Battery was exhibited under the position No. 183. In the description of the display was mentioned that the copper cylinder and the iron rod were parts of a bath, and you can see for yourself the difference between them. You can see the gold layer here quite clearly; the other figurine appears to be silver. The layer thickness of the gold layer is about 0.1 μm (1 μm is equal to 1 millionth of a meter)."[23]

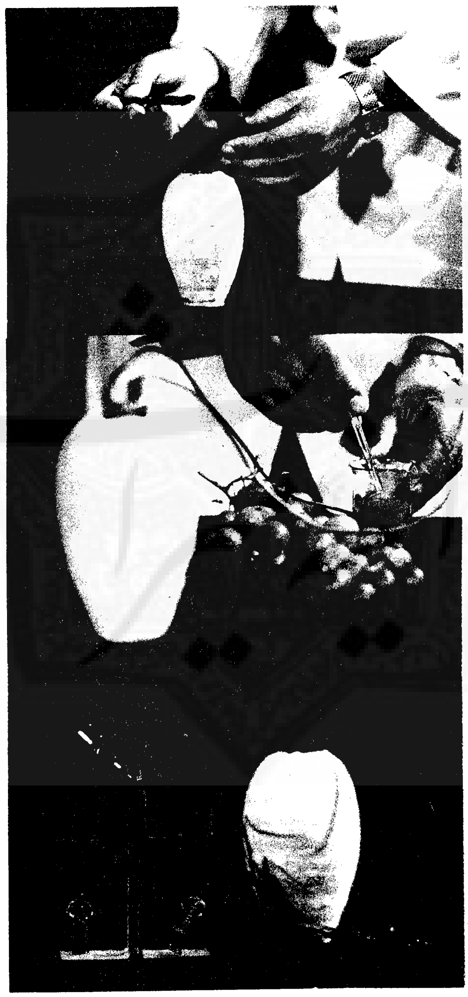


Fig. 15: Demonstration of gole plating a small silver figurine on the occasion of the exhibition "Sumer Assyria Babylon" at Roemer-und Pelizaeus-Museum in Hildesheim, Germany, in 1978, using a replica of the Parthian Battery [23]

with grapefruit juice. The tartaric acid of the grapefruit is completely sufficient to make it act as electrolyte and generate a voltage, which will be displayed on the gauge. The voltage amounts to approximately 0.5 volts. The surprising thing about this discovery is that it shows that the old Mesopotamia had its own Galvani and Volta, so to speak. As far as the practical application of this electric power source is concerned, our knowledge is relatively little. It is presumed that galvanic coatings such as silver or gold might have been deposited onto pieces of jewelry by means of such devices." [23]

"How this can be achieved in practice? Kurt Pengel from Hildesheim, who is an electroplater by profession, is going to use a new experimental setup[37] and demonstrate that."

Kurt Pengel: "We have here an electric current source, which supplies an electric current of 150 μA and a voltage of 0.5 volts. We have already prepared two baths, each containing a gold salt solution, potassium gold cyanide. For each bath we need about 8 g gold per liter. We have connected a piece of pure gold as anode (positive pole). Now, we immerse the object to be gold plated, a small metallic figurine, into the electrolyte and connect it as cathode (negative pole). What we want is a useful gold layer. According to our calculations based on the dimensions of the figurine, the process of gold plating will take about 3 hours. Therefore, we have put a similar object into the gold bath for the last three hours[38]. Now, I will remove both figurines from the gold

---

37. According to M. Pezold [54], one replica of the Parthian Battery similar to that used by Kurt Pengel is at the Technical Museum in Vienna.

38. G. Eggert takes Kirchner to task in that he observes: "Kirchner let a Hildesheim restorer wearing a white coat pose as a chemist with a reconstruction model to lend more credibility to the claim. In the book accompanying the television series, Kirchner (1979) states after uncritical presentation of the find of a battery that the battery development department of a certain company was to perform experiments to solve the enigma of the Parthian "battery". First publish the results. then do the research?" [48]

Before Christ?" In this report *Winton*'s and *Al-Haik*'s views on the subject were presented.

Also in 1978, in his reportage entitled "Eyewitness Accounts from all Over the World" based on the exhibition in Hildesheim, the German journalist *G. Kirchner* from the Zweites Deutsches Fernsehen, ZDF (Second German Television Station) gave an extensive account on Parthian culture and civilization. An extract from this reportage is given below:

"The Parthians must have been a very capable and resourceful people. Unbelievable as it sounds, they did work with electric current almost 2000 years ago! How do we know that? This can be easily explained on a sensational find, and with the help of an experiment performed by Rolf Schulte, a chemist from Hildesheim." [23]

Rolf Schulte: "Archeologists found this plain vessel near Baghdad. By the time it was found it had an asphalt stopper. Asphalt occurs in this region quite often directly on the surface of the Earth and has found numerous applications. The word stems from the Greek language and means something like bitumen. Originally, an iron rod protruded from the top of the asphalt stopper; today, it is completely corroded. In the clay jar was a copper cylinder, which was soldered and provided with a bottom. On the bottom there was an asphalt layer, almost 5 mm thick. This layer had the task to prevent the iron rod from touching the bottom of the copper cylinder. Such an assembly allows only one conclusion: It is an electric cell, a galvanic element. The only thing missing is a liquid solution, an electrolyte. If the vessel is filled with an electrolyte, it will work. However, we are not supposed to do so using the precious original. For this reason we have duplicated the vessel and the whole assembly using similar materials. Now, let us fill the replica

Fig. 14: Photograph of the Parthian Battery (clay jar, copper cylinder, iron rod) published in the exhibition catalogue of the Roemer- und Pelizaeus-Museum in Hildesheim, Germany, on the occasion of the exhibition "7000 Years of Art and Culture Between Euphrates and Tigris" in 1978 [22]

"Unbelievable as it sounds, some 1800 years before Galvani...the Parthians knew an electrical cell.", was the description of the display. In the exhibition catalogue, it was pointed out that the Parthian Battery would provide a voltage of about 0.5 volts if a 5 per cent tartaric acid solution were used as electrolyte. *A. Eggebrecht*, the director of the museum, demonstrated that it was possible to obtain a voltage of about 0.5 volts from a replica of such battery using a solution of freshly pressed grapefruit juice as electrolyte. In the exhibition catalogue was also mentioned that Parthian magicians might have used such devices for medical purposes such as electric shocks and electrotherapy.

In a special supplement to the "Hildesheimer Allgemeine Zeitung", which was published on the occasion of the exhibition, there was a detailed report on the Parthian Battery under the title "Did the Ancients in Mesopotamia Obtain Electric Current form Batteries 100 Years

1977 The Parthian Battery was mentioned in a textbook on electroplating of plastics written in English by a group of German scientists and edited by *R. Weiner*. The authors reproduced *König*'s photograph of the find at Khujut Rabbou'a in the second chapter of the book and made the following comment on the subject:

"Some time ago small clay jars were found with metallic parts inside; they may have conceivably served as current sources for electroplating. Iron rods arranged centrally in copper pipes were connected in the jars with asphalt, and by using vinegar or citric acid, the galvanic cell was able to discharge current. It worked exactly like the first galvanic cell constructed about 1800 by Volta. But we do not know how initial electrical conductivity was achieved and if any electroplating occurred." [21]

1978 In the summer and fall of 1978, to be more specific, from June 23 to September 24, the Roemer- und Pelizaeus-Museum in Hildesheim, Germany, presented an exhibition under the title "7000 Years of Art and Culture Between Euphrates and Tigris". On display were more than 200 objects from the Iraq National Museum in Baghdad giving a comprehensive insight into the life of the Mesopotamian kingdoms of Sumer, Assyria, and Babylon. Scientists took a keen interest in this exhibition, since among others the Parthian era was presented in greater details. In the exhibition catalogue under the position 182 a photograph (Fig. 14) of the discovery at Khujut Rabbou'a was reproduced together with a detailed report on its origin and possible usage.

Rabboua) and uncovered many finds date back to parthian period (227-126 B. C.). The most important of the finds was a pottery jar (15 cm height). The discover of this jar was of high importance becouse of the materials found in it. These materials were a copper cylinder with an iron bar fixed in its center with little extends out of its opening. This cylinder is covered by a layer of bitumen and its copper base is also covered with this substance. The jar itself is covered by bitumen too. On examining these contents it was found that they formed the substances of electric battery represented a simplified cell similar to the substances of the battery known (Galvani) for, if a kind of acid added to (Khiut Babboua battery) it will become analogous to (Galvin) battery. Khiut Rabboua battery dates back to the beginning of Parthian period, that is B. C. era. So the ancient people of Iraq preceded other nations in this invention. This battery is now displayed at Iraq Museum and regarded as an oldest kind of dry electric battery discovered so far. " [25]

Also in 1972, *J. O'M Bockris* and *K. K. N. Reddy*, the authors of a textbook entitled "Modern Electrochemistry – An Introduction to an Interdisciplinary Area" made mention of the Parthian Battery and stated their views as follows:

"Very remarkable discoveries have been made more recently concerning the apparent existence of a type of crude electrical storage device at least 1400 years before the time Volta (1800). The first discovery was made during excavations in Khjut Rabuah, near Baghdad, by König in 1936. The apparatus (estimated to have originated between 300 B. C. and 300 A. D.) was essentially an iron-copper element. There is evidence that gold plating was carried out in 2500 B. C. Thus, it appears that flowing electricity was only *re*discovered in the 18th century." [20]

silversmiths of Baghdad, within the present century, used a similar apparatus for gold-plating their works. Those who knew about this method long assumed that the silversmiths had learned their electroplating from western sources. Although archeologists are not yet agreed about the mysterious jars, we must at least consider the strange possibility that electroplating was discovered in Iraq in ancient times; that, despite the ravages of the Mongols in +XIII, this technique survived down to the present century; and that, nevertheless, it failed to spread to other lands, presumably because the metal workers kept it secret." [19]

1972 On March 3, 1972, the Iraq Museum in Baghdad sent a letter to an American advertising agency in New York, stating:

"In response to your kind letter, we are pleased to send you a brief information with photo. Permission to reproduce the photo of the Electric Battery of Baghdad is granted and source should be kindly credited. We will be glad to send the photo freely without any charge.

With our best wishes

Enclosures: Photo, Note" [25]

This letter, carrying the number 2373, was signed by *Tariq Al-Naime*, the then Director-General of Antiquity in the Iraq Ministry of Information. The photograph of the Parthian Battery, which was included in this letter, was the same as presented by *König* in his first paper (Fig. 4). The note that was sent together with the letter was a release of the Iraq Museum on "The electric battery". It is given below in its original wording:

"In 1936 the Directorate General of Antiquities carried out excavation works in the mound east of Baghdad known as (Khiut

In his paper, which in fact deals in greater detail with industrial manufacturing of batteries, *Huber* contented himself with mentioning very briefly the discovery by *König* and reproducing his photograph of the finds of Khujut Rabbou'a.

In 1970 appeared a new edition of *L. Sprague de Camp*'s book entitled "The Ancient Engineers" [35], in which the author gave the following account:

"To the ancients, whose ideas about elements were very different from ours, a metal that looked like gold was considered a kind of gold. Brass was one expensive *ersatz*[36] gold; another was an alloy of silver, arsenic, and sulfur. Egyptian craftsmen also learned to plate or coat the cheaper metals with costlier ones. In fact, some oriental craftsmen may have gone further than that. In 1936, at Khujut Rabu'a, was found a small pottery jar, about $5\frac{1}{2}$ inches high and $3\frac{1}{8}$ inches in diameter. Inside was a cylinder of thin copper, closed by an asphalt plug. Inside the cylinder was a rusted iron rod. Similar jars, without the metal cylinder and rods, had been found at the ruins of Seleucia-on-the-Tigris, twenty-four miles below Baghdad. Three larger jars containing Khujut Rabu'a respectively ten copper cylinders, ten iron rods, and ten asphalt plugs, not yet assembled as in the Khujut Rabu'a jar, turned up at Ctesiphon, across the Tigris from Seleucia. All these objects date approximately from Roman Imperial times. The only use that anybody has been able to conceive for them is as battery cells for electroplating small metal objects with gold. It has also transpired that the

---

35. The first edition of this book was published in New York, 1960.

36. Ersatz is a German word and means "surrogate".

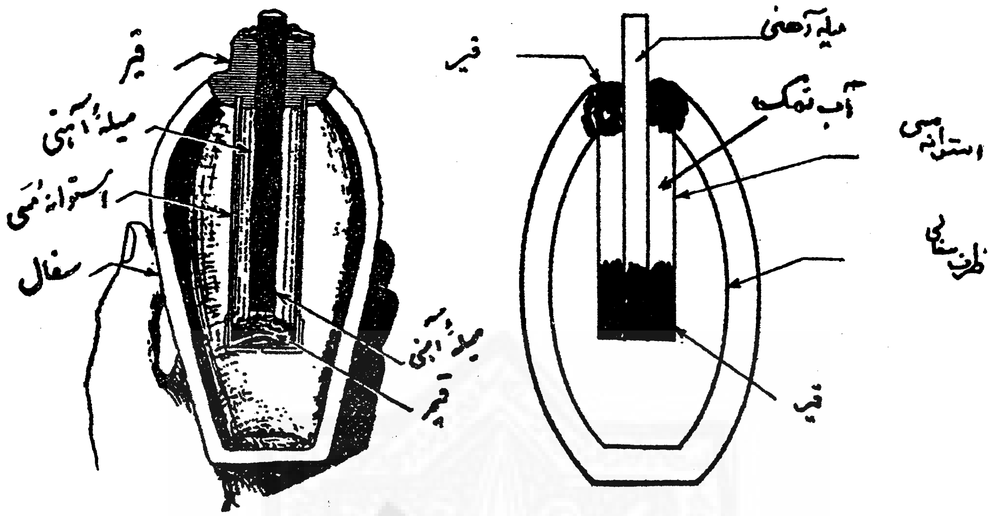


Fig. 13: Cut-away models of the Parthian Battery with explanations in Persian of its different parts appeared in two Persian books published in Tehran in 1967 [17] and 1984 [29]

The sketch of the Parthian Battery in Fig. 13, right, has been taken from *M. Farshad*'s book entitled "The History of Engineering in Iran" published in Tehran in 1984 [29]. In his short account of the event leading to the discovery of the Parthian Battery, the author refers to the previously mentioned book by *H. Nayyer-Nouri* and gives his own schematic representation of the find without further specifications.

1970 Based on the results of investigations carried out by previous researchers, *H. Huber* opened his paper entitled "The Galvanic Cell, a 2000-year-old Battery in the Age of Nuclear Energy" published in 1970 with following introductory remarks:

"A shocking title in the light of the fact that until most recently we were justified in assuming that the discovery and investigation of galvanic phenomena should be considered as a master piece of the contemporary natural sciences." [18]

unwilling to believe that effects of current electricity could be known to our Mesopotamian ancestors 2000 years ago."[14]

Winton was, however, dubious about the real usage of this object and concluded his report by a cautionary remark stating that despite all indications, the Baghdad Battery should remain in the realm of conjecture until further and absolutely conclusive evidence was found. He concluded his report by saying:

"The answer to this tantalising enigma must rest with the keen eye and the delicate hand of the field archeologist. Till that day I must not allow myself to believe in Baghdad Batteries B. C." [14]

1963 *W. F. M. Gray*, the first to construct a replica of the Parthian Battery, published a paper under the title "A Shocking Discovery", which he opened with the following remarks:

"Electric batteries, 2000 years ago!!! Surprised? No need to be, really. There were some pretty smart metal workers in the ancient city of Baghdad, Persia. They did a lot of fine work in steel, copper, gold, and silver....Occasionally, we feel a bit smug about our tremendous advances in the nuclear sciences and the like, but when we are scooped by some ancient metal smiths we are most assuredly brought to earth and humbled." [15]

1967 For the first time mention was made of the Parthian Battery in a Persian book entitled "Iran's Contribution to the World Civilization" [17] by *H. Nayyer-Nouri*. Referring to an article published in "Science Digest" in 1957 [15], the author gave a short report on the discovery by *König* and included the cut-away model built by *Gray*. The picture with explanations of different parts of the battery in Persian is reproduced in Fig. 13, left.

"Imagine a thin-walled copper vessel about the size of a number 8 torch battery, an iron rod set axially in it and separated from the copper cylinder by means of a bung made of asphalt and by a thin disc of asphalt on the bottom of the vessel. Now if one were to set these objects in front of a physicist, or an electrician, for that matter, any person who only vaguely remembers his school physics, what would his reaction be? Would these objects, arranged in this way ring a bell in his memory? Simple cell: Galvani, Volta[33], Daniell[34]. Yes, of course! Put some acid in the copper vessel - any acid, vinegar will do - and, - hey, presto! - you have a simple cell which will generate a voltage and give a current of electricity. Several such cells connected together in series would make a battery of cells which would give enough current to ring a bell, light up a bulb or drive a small electric motor. No difficulty! Completely obvious and completely credible....And if this curious device was not used as a source of electricity, for what purpose was it used? Perhaps you can think of one, I can't." [14]

He continued to comment:

"Perhaps the incredibility is in the mind of the unbelievers and that arrogant pride in our modern scientific achievements makes us

---

33. Alessandro Votla (1745-1827), Italian physicist, repeated Galvani's experiments with metals and the muscles of dead animals. In 1792 he concluded that Galvani had been wrong in assuming that the electricity, which made the frog twitch, came from the animal's muscles and nerve tissues. Volta correctly postulated that the source of the electricity in Galvani's experiments had been in the junction of two different metals and the animal's body fluids. Nevertheless, for many years current electricity was called Galvanic electricity.

34. John Frederic Daniell (1790-184), British chemist invented in 1836 a primary electrical cell. The Daniell cell consisted of a central zinc cathode dipping into a porous pot containing zinc sulfate solution. The porous pot was, in turn, immersed in a solution of copper sulfate contained in a copper can, which acted as the cell's anode. The Daniell cell was the first reliable source of direct-current electricity.

and it is pertinent to ask, first, whether any evidence exists that the process was in fact employed and, further, whether there are grounds for the slightest justification of the much broader claim to phenomenal antiquity….Is it reasonable to expect that experimental science having led to the discovery of electroplating, subsequently practiced for over 2000 years (necessarily in a number of distinct civilizations), would not have promoted further experiment with multitude cells, which must sooner or later have resulted in the discovery of the electric spark, and other characteristic effects?" [13]

Looking for an alternative explanation for the objects found at Khujut Rabbou'a, and without having the opportunity of visual examination of the findings, *C. MacKechnie Jarvis* suggested that

"The object found is a cell of modern origin and its presence in the desert in the neighborhood of Baghdad can be explained by the activity of telegraph enterprise during the second half of the 19^{th} century, when overland telegraphs were erected by the pioneer companies. Alternatively, it is possibly more recent and may be attributed to the desert campaign in Mesopotamia during the 1914-18 War." [13]

1962 During the summer and fall of 1962, *W. Winton* from the Science Museum in London had a chance to examine closely the Parthian Battery when he was on mission in Iraq for the reorganization of the Iraq National Museum in Baghdad. He examined the cell in the Baghdad Museum and found that "It was in fact as described". In his paper "Baghdad Batteries B. C.", published in 1962 in the Journal of Archaeology and History in Iraq, he summarized his observations as follows:

"It is interesting to mention here the extensive research made in March 1960 by Mr. John B. Pierczynski of the University of North Carolina on this intriguing discovery. Mr. Pierczynski conducted laboratory experiments with replicas of this unit and obtained very favorable results. When he used a 5 per cent solution of vinegar or wine as electrolyte, one-half volt of current was gained from each cell for a period of eighteen days. This, he says, is sufficient enough to electroplate silver onto copper. He further expresses the notion that this object may represent the antique forerunner of the electroplating process used by local silversmiths." [16]

All authors cited so far were in favor of *König*'s power source and gold plating hypotheses. However, in an article published in 1960 by *C. MacKechnie Jarvis*, the author expressed criticism and pointed out:

"König's description is that of a relatively sophisticated electric cell. He refers to a copper cylinder which appears to be intact, and there is nothing in König's description to the contrary. On the other hand, the top of a completely oxidized iron rod "was covered by a yellowish-gray, fully-oxidized thin coating of a metal which looked like lead". This somewhat conflicting statement demands an explanation for the apparent survival of the copper and the decay of the lead. Is it possible that "the fully-oxidized thin coating of a metal which looked like lead"(!) was in fact, a compound of tin? If this proved to be the case, the similarity between the construction of the ancient and modern would be even more remarkable." [13]

The author continued to say:

"König, we are told, was of the opinion that galvanic gold-plating had been carried out not only at this period but as early as 2500 B. C., According to *Winkler*'s detailed account, the voltage of the galvanic cell was measured to be approximately 0.5 volts when a solution of 10 per cent ascetic acid was used as electrolyte and the cell was not loaded. The voltage dropped, however, to 0.44 volt as soon as a current of 1 mA was drawn from the cell. Using 33 per cent ascetic acid, the voltage of the cell was measured to be 0.47 volts at the beginning and 0.30 volts after 10 minutes under a load of 1 mA. The author reported that he had achieved a cell voltage of about 0.52 volts by employing an electrolyte of 50 per cent ascetic acid, and 0.54 volts by using a solution of 10 per cent citric acid instead. He continued to state:

"König also conjectured that galvanic gold-plating had been carried out with these or similar elements as early as 2500 B. C. In 1937 there were also ten elements from Seleucia in the Berlin Museum….All these finds have probably afforded proof that "flowing electricity", which after Galvani is called galvanic electricity, was known in the past, that is long before he appeared on the scene." [13]

As one can see from this sketch in Fig. 12, a metal strip, shown dotted, resting over the neck of the vase, was *Winkler*'s suggestion for making a connection between adjacent elements to obtain a higher voltage for gold plating purposes. *Winkler* went so far as to suggest that the elements found in Seleucia would have been used for stationary operations, since the electrolyte had to be replenished or even substituted for, whereas the galvanic cell discovered at Khujut Rabbou'a was used as a portable power station.

According to *A. Al-Haik*'s report, evidence for correctness of *König*'s hypotheses was delivered by an American scientist in 1960. The passage dealing with this event reads as follows:

In 1959, for the first time, the Parthian Battery was mentioned in the introductory chapter of a German textbook dealing with the historic development of electroplating [11]. The authors described in greater details the site of the discovery and the different parts of the find. Referring to previously published papers in Germany, they pointed out:

"Similar objects were found among the remains of the old Parthian culture. However, none of them was as well kept as this one. It is worth mentioning that also remains of iron and copper rods were discovered lying around the clay vase. They might have served either as connecting rods or as spare parts." [11]

1960 *W. Winkler* published a paper entitled "Galvani and Volta Only Rediscoverers" [12] in which he reported that he had built a replica of the Parthian Battery. Fig. 12 represents the cross-section of this replica.

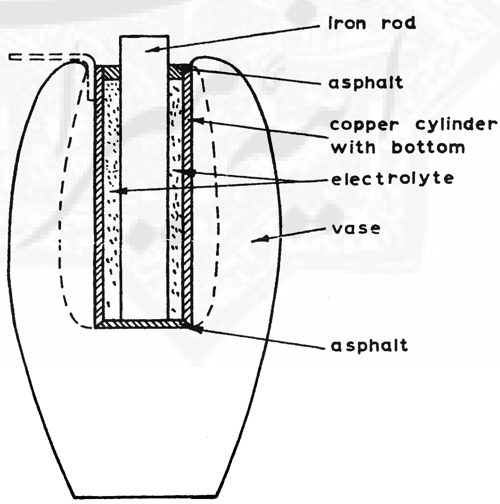


Fig. 12: Schematic representation of the replica of the Parthian Battery built by. *W. Winkler* based on *König*'s data and photographs [12]

Winkler's suggestion for making connection between adjacent elements was to use a metal strip resting over the neck of each vase.

11 shows the sketch of a replica of one these vases, which was included in this report.

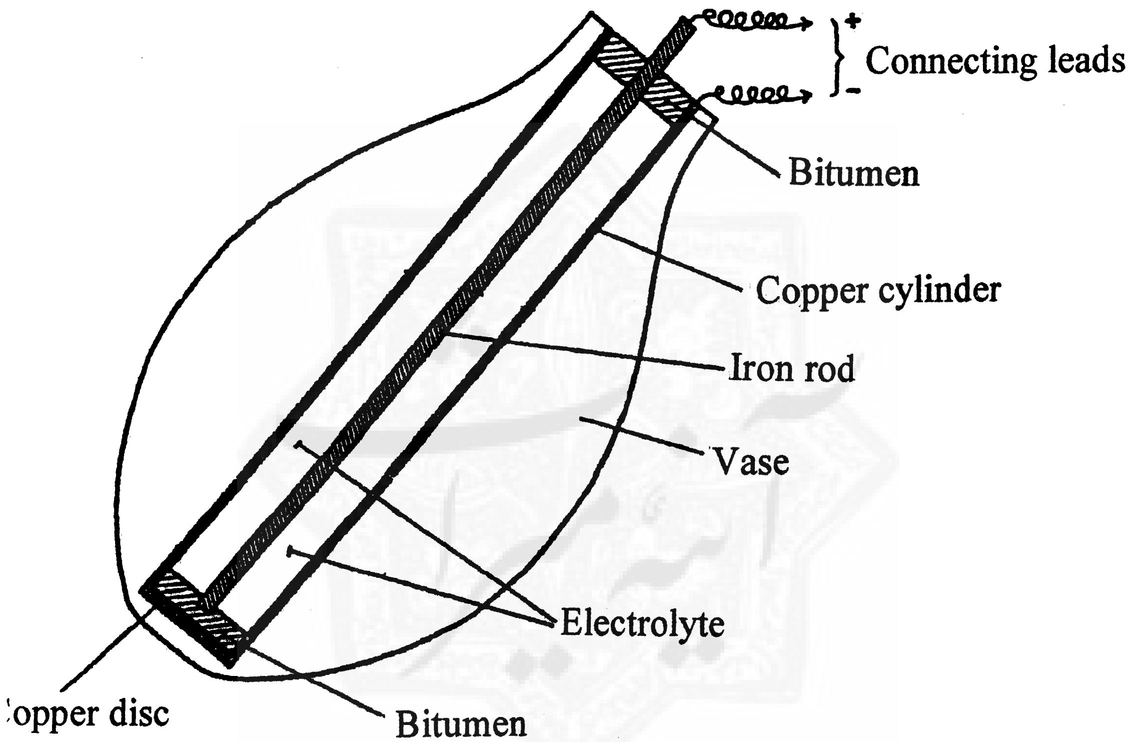


Fig. 11: Schematic representation of the replica of an electric battery found in Mesopotamia during excavations carried out by an American excavation expedition [9]

The vase was, the report states, 12 cm high and contained a copper cylinder of 7-cm height in which an iron rod was placed. The electrolyte used to generate electric current was copper sulfate. The iron rod and the copper cylinder were connected together by means of connecting leads as indicated in Fig. 11.

"Of course you can "taste" it and this might be called magical experiments. Maybe it was even used for an assumed curative value, since somebody might have had the idea that the "taste" was similar to medicinal herbs." [6]

1957 *M Schwalb* published a paper[32] in which he included a picture of *Gray*'s working model of the Parthian Battery and remarked:

"What electrolyte the Parthian jewelers used is a mystery, but *Gray*'s model works well with copper sulfate. Acetic or citric acid, which the ancient chemists had in plenty, should be even better." [8]

Concluding his paper, *Schwalb* continued to conjecture:

"Up-and-coming Baghdad silversmiths were goldplating jewelry – using electric batteries....Cleopatra didn't have electric lights in her palace, but some Parthian admirer could easily have sent her a bracelet electroplated with gold." [8]

1959 In a German technical magazine by the name of "Elekto-Welt" [9] appeared an article by an anonymous author reporting on the return of an American archeological expedition form Syriac-Persian sites, which had brought along various finds of special interest to the historians of technology and electrical engineers. According to this article the expedition members had performed extensive excavations near the ancient city of Seleucia on the river of Tigris and discovered a number of unglazed small vases. Some of them were empty; others contained iron rods and copper cylinders. The excavators had also found copper discs, short thin metal wires, and pieces of bitumen. Fig.

---

32. *Schwalb*'s article is the condensed form of a report published in 1956 in "The Laboratory" [7]

1954 As mentioned earlier, *König* published his first article in 1938 and his book in 1940. Neither of them received much attention because of the war. Only in 1954, when *W. Ley* published an article entitled "The Elements of Khjut Rabu'a and Ctesiphon" [6] the subject came to the attention of the world scientific community. *Ley* included in his paper *König*'s hand-made sketch and reproduced a photograph of *Gray*'s reconstruction of the Parthian Battery, which had been at display at the Berkshire Museum in Pittsfield. He expressed his views on the subject as follows:

"It was perhaps well that Wilhelm König was not a professional archeologist, for he looked at the find with open eyes and decided that this, records or not, could have been an electric element and nothing else....As a matter of fact, it couldn't be anything else.... What gave the whole a special flavor was that these urns were not found in a grave, as the excavating archeologists more or less expected, but were lying among the ruins of a house that was well away from the other settlements. Moreover, they were associated with bowls that the experts proclaimed to have been magic paraphernalia. Obviously the separate building had been the warlock's house, where strange things went on....Nobody who knows all the facts doubts that they did have "galvanic" batteries in Baghdad at about the time of Christ and for a few centuries thereafter. But when it comes to the question of what was done with them, we still have to resort to conjecture. Such a battery is rather weak and even if the "magicians" learned the trick of using several of them in conjunction, the output of current is small." [6]

W. Ley referred also to the possible medical use of such a device, stating:

Fig. 10b shows the cut-away model of the Parthian Battery constructed by *Gray* to be exhibited at the Berkshire Museum in Pittsfield, Massachusetts.

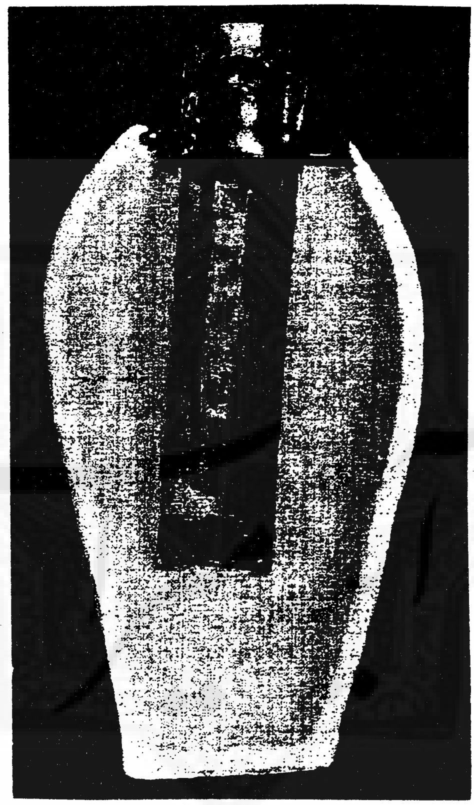


Fig. 10b: Photograph of the cut-away model of the Parthian Battery prepared by *W. F. M. Gray* in 1940 and exhibited at the Berkshire Museum in Pittsfield, Massachusetts [15]

Obtaining electric current from the replica of the Parthian Battery constructed by *Gray* was considered by many to be one strong proof of the functionality of such a cell.

later put it. As solder *Gray* applied a 60/40 tin-lead alloy, which he described as "one of the best in use today". He pointed out in his paper:

"In making the display models of the Persian batteries, I learned to my dismay that asphaltum available to us would flow cold. All of the components of the reconstructed cells gradually collapsed and ran together. What kind of asphaltum did Noah and these ancients have or what did they do to it to keep it nonfluid at room temperatures? I had to resort to black sealing wax." [15]

Fig. 10a *W. F. M. Gray* holding his replica. The Palmyran relief behind him is typical of the era of the world's first electrochemists.

Fig. 10a: *W. F. M. Gray,* an electrical engineer at the General Electric's High Voltage Laboratory in Pittsfield, Massachusetts, holds the first working replica of the Parthian Battery, which he built in 1940 [7]

---

31. Reconstruction models made by Gray are no longer on display but can be seen by appointment in the Berkshire Museum, Pittsfield, Massachusetts. [48]

thing *König* had not tried to do was to find out how well a replica of his battery would work. This was done by *Gray*, who described later how he had become aware of the Parthian Battery:

"In 1939, I first read about these archeological findings in an article by *Dr. Willy Ley*, famed rocket scientist." [15]

Gray volunteered to test *König*'s power source hypothesis by duplicating one of the Parthian Battery and seeing whether it worked. So he decided to write to *W. Ley* to obtain all the information available for the purpose of building a replica of the ancient battery. In one of his papers on the subject, he noted:

"He [*W. Ley*] supplied me with the complete drawings and details of these cells from which I constructed a working model and a cutaway cell for the Berkshire Museum in Pittsfield, Mass., in 1940. They may be found there today.[31]" [15]

König had given the dimensions of the battery and established the composition of the metals involved analytically. Based on his analytical results, the compositions of the iron rod and the copper cylinder were very close to those commercially available. So there were no difficulties as far as materials for building the replica were concerned. The only unknown factor was the nature of the electrolyte used by the goldsmiths of the Parthian and Sassanian kingdoms. However, the choice was somewhat narrowed down to substances that could have been in the use then. Acetic or citric acid was definitely known to the Parthians. Nevertheless, *Gray* decided to use a solution of copper sulfate as a likely electrolyte, which "worked quite well for a short time", as he was rediscovered by the Italian Dottore Galvani and made widely known to humanity."[30] [5]

Gamow included a hand-drawn sketch of the Parthian Battery in his book, which is reproduced in Fig. 9.

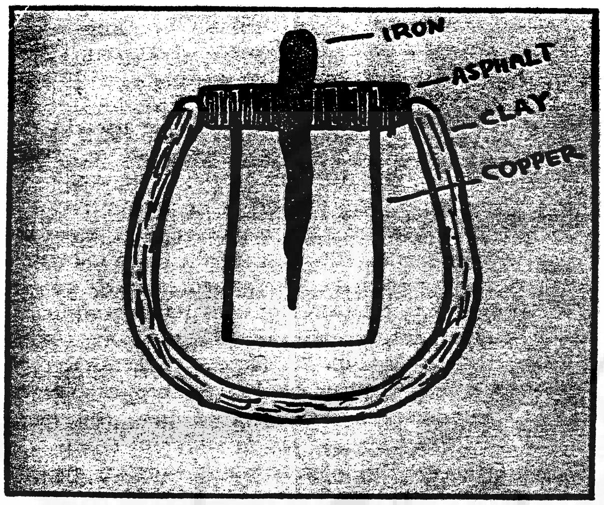


Fig. 9: *Gamow*'s hand-made sketch of the Parthian Battery [5]

Gamow made no mention of the source of his information. It is, therefore, not clear whether he was aware of *König*'s paper of 1938, or his knowledge was based on one of the two short reports by *W. Levy*, which were both written and published before *König*'s book appeared in 1940.

In 1940, *W. F. M. Gray*, an electrical engineer at the General Electric's High Voltage Laboratory in Pittsfield, Massachusetts, presented the first working reconstruction of the Parthian Battery. One

30.In the first edition of his book published in 1940, *Gamow* spoke of an "Ancient Arabian Electrogilding", in the 1952 edition, however, he made mention of an "Ancient Persian Electrogilding"

1939 *König*, who suffered much from the climate of Iraq in general and of Baghdad in particular became severely ill and decided to return to Vienna. There, he used his spare time to write a book under the title "Nine Years in Iraq" describing many of his experiences in Iraq. His book was published in 1940 giving a brief account (pp. 165-168) of the "galvanic element".

By the end of 1938, nothing of the discovery had been published in any language other than German. *W. Ley* did so in the form of two short reports. One was published in America in "Astounding", the other in England in "Discovery", both by coincidence, in the March issues of 1939 [6].

1940 *Georg Gamow* (1904-1968), the famous Russian-American physicist, published his book entitled "The Birth and Death of the Sun", in which he wrote:

"The first practical use of electricity and electric current takes us back to the distant past. In recent excavations at Khujut-Rabua, not far from the city of Baghdad, a very strange type of vessel has been found among the relics that probably belong to the first century B. C. It consists of a vase, made of clay, inside of which is fastened a cylinder of pure copper. Through a thick asphalt cover on its top is driven a solid iron rod, the lower part of which has been eaten away, probably by the action of some acid. This assembly could hardly have been used for any other purpose than that of generating a weak electric current, and was most probably used by Arabian silversmiths, long before the reign of the fabulous Harun al Rashid, for electrogilding their wares. In the backs of little shops in colorful oriental bazaars, electric currents were depositing uniform layers of gold and silver on earrings and bracelets almost thousand years before the phenomenon of electrolysis favor of *König*'s views offered additional arguments to prove his case; others, being highly critical of his gold plating hypothesis, tried their best to prove him wrong.

The desire to provide evidence for the true purposes of such devices in antiquity and to come up with conclusive proof concerning their plating capabilities still continues to be a strong driving force for many scientists and experts from all over the world. They continue to either adopt *König*'s gold plating hypothesis without any criticism, or to question it categorically.

In the following, the major events, which took place after the discovery, are reviewed chronologically and some of the scientific activities are outlined in details.

1937 *König* took a trip to Berlin on leave of absence, and there he was shown in the Berlin Museum similar finds which had not been on display. The finds consisting of three fairly large clay vessels had been discovered in the ruins of Ctesiphon and dated from somewhat more recent period, the Sassanian kingdom (224 – 651 A. D.). One of them contained ten copper cylinders, the second had ten iron rods and the third held ten asphalt plugs with holes in the centers.

1938 The German newspaper "Die Neue Leipziger Zeitung" (The New Leipzig Journal) broke the news of the discovery at Khujut Rabbou'a in greater details and suggested that Parthian goldsmiths were obviously able to employ such apparatuses to produce electric power and electrodeposit gold onto base metal objects. The newspaper pointed out that the existence of such devices were kept strictly secret by these artisans so that only a small circle of initiates knew about it. This would explain why the art of gold plating became a "lost art". The article was later abstracted and published in 1940 in a German metal finishing magazine under the title "Electroplating 2000 Years ago?" [4]

of elements conducive to the reception of an electrotherapeutic device of this sort. These researchers believe that Parthian magicians stimulated and excited the nerves of their patients by means of their batteries, and to this end, they used such units connected in series to obtain higher voltages. [32]

P. T. Keyser [41], who is a strong advocate of the idea that such devices were associated with magicians, holds the view that these apparatuses became in the course of time merely a conjurors' trick and gradually faded from view, just as the magicians of Mesopotamia did.

Pros and Cons

König's article and book [1, 3], in which he reported on the curious objects found at Khujut Rabbou'a and put forward his ideas regarding the possible uses of such devices in antiquity, were published during World War II and did not received much attention. As a consequence, his reference to the galvanic cell with plating capability went more or less unnoticed. After the war, which had prevented the immediate follow-up of the discovery, the news of the find aroused much curiosity in the scientific community and engendered many publications [1-60], in which the discovery was outlined and the Parthian Battery was dealt with.

The attribution of the find to the Parthian era was startling and prima facie somewhat suspect. It posed a number of questions, the answers to which would demand a considerable amount of investigations. Soon, however, all researchers and commentators involved in this subject were convinced that the find from Khujut Rabbou'a was undoubtedly from Parthian times.

The next contentious issue was the alleged usage of such cells for plating purposes. Many scientists and experts from different countries performed extensive laboratory experiments to find out the real use of these puzzling and mysterious findings. Their aim was to confirm or refute the hypotheses put forward by *König*. Some authors who were in

One question remains still unanswered. What type of container did Parthian goldsmiths use to carry out gold plating. After all, apart from the electric power source and gold cyanide solution, a plating tank is required in which gold plating can be performed. No such plating tank has been found so far at the sites where such devices were discovered. According to *D. E. Von Handorf*, this lack of evidence may be explained by assuming that Parthian goldsmiths were rather secretive about their art and never allowed anyone to associate their battery with gold plating [59]. These artisans were highly placed and respected people and when they died, they were given formal burials and the only things, which were buried with them, were their batteries. The other possibility is that other vessels found on the sites could have served as plating tank, but their real usage went unnoticed by the archeologists.

In order to electrodeposit gold, the Parthian Battery described by *König* must be immersed into a plating tank containing gold cyanide solution (cf. Fig. 5). Furthermore, it is necessary that the object to be gold plated be held on a hook connected to the iron rod of the battery. The iron spikes found in the neighborhood of the find might have served this purpose. The unglazed and porous clay jar could have provided the electrolytic connection between the gold cyanide solution and the electrolyte of the battery.

MEDICAL APPLICATION HYPOTHESIS *König* postulated that devices such as those discovered at Khujut Rabbou'a may have also been used by Parthian doctors and magicians to heal patients with electric shocks. He mentioned the effect of electric current flowing from such cells on germ containing fluids. The fact that such cells are capable of generating electric currents, which are generally of positive clinical effect according to the modern medicine, confirms the *König*'s assumption that they could have had a medical purpose in Parthia. [30]

Experts who tend to believe that such devices may have been used for purposes other than gold plating have taken up *König*'s idea. They point to the Mesopotamian medical practice, which included a number was thickened with 500 g crushed bitter-almond kernels or 500 g crushed morello cherry kernels, fed with 1 g brewer's yeast, and left to stand for 48 hours at 30-40 °C with periodic stirring. The pH of the 'soup' fell from a value of 6.0-6.2 to 4.5-4.6. They were filtered through woolen cloths and 0.5 g gold dust was scattered into each of the milky liquors while stirring well. After standing for two days with occasional but thorough stirring, the solutions were filtered through powdered charcoal. We obtained very good electrolyzable solutions of the potassium-gold-cyanide complex with a gold content of 0.3 or 0.4 g/liter, and a electrical conductivity of 6 or 8 mS/cm. With V=0.7 volts, copper and silver plates were gilded with a current density of about 50 mA/cm². Thanks partly to the content of 'shine additives', which arose simultaneously with the enzymatic decomposition, gleaming and pore-free gold layers were produced." [31, 37]

Other investigations have shown that gold cyanide can be formed while preparing gold leaf through hammering gold sheets between leather flaps. Badly tanned, rotten leather causes gold to oxidize and change into a complex gold cyanide compound such as $K[Au(CN)_4]$. Furthermore, Parthian goldsmiths might also have treated gold with crushed fruitstones in aerated liquids. Due to such treatment, one of the components of the fruit stone called amygdalin separates the cyanide ions hydrolytically. Thus, gold interacting with air will oxidize and build a gold cyanide compound. [27]

> According to *D. E. Von Handorf* [59], recently, *J. W. Dini* has provided a list of natural food crops that contain significant amounts of cyanide compounds. One of these is a tuber called cassava, which apparently has been available since antiquity. *Handorf* is of the opinion that Parthian goldsmiths could have learned that some gold leaf mixed with concentrated cassava leaching would provide the necessary source of gold cyanide solution.

water. Such a process seems to have been quite possible in the large marshlands of those times near the rivers Euphrates and Tigris, though under considerable efforts. Much easier and more convincing appears another method. The Parthians might have decomposed gold together with the gall or bile of animals and prepared in such a way a liquid bath. Or, they might have packed gold between the skins of dead pigs, goats, or oxen. Normally, the protein fibers of the animal skin absorb the tannin in a way that the skin dries out like leather. Among the most important organic tannins, tannin plants, are the oak (Quercus valonea) and the shrubs of sumac (Rhus coriaria). However, if the leather is not completely tanned, acids are formed, which dissolve the gold which is packed inside the leather. By the help of such a "gold soup", the Parthians were able to carry out electroplating." [23]

> *E. Paszthory*, who strongly opposes *König*'s gold plating hypothesis, has shown that gold cyanide solutions could easily have been produced millennia ago. His straightforward approach contains detailed information regarding the preparation of a usable gold electrolyte. It is given below in full:

"I have investigated, on the basis of our current chemical knowledge, by what process in antiquity a gold solution might have been created, perhaps by chance. A review of the literature on the flora of the area indicates that plants which contain amygdalin, a cynogenic glucoside, were already indigenous. Thus bitter almonds, which along with other kinds of fruit such as apples, pomegranates, cherries, and morello cherries, whose kernels contain abundant amygdalin (up to 300 mg HCN/100 g), were already being cultivated by the 5th century B. C. as far away as Greece. Enzymatic decomposition of hydrous solutions of amygdalin yields Prussic acid solutions which could dissolve metallic gold. In my simulation of this process, 1 liter of drinking water

At this point it must be mentioned that gold, the most noble metal in practice, dissolves only in a mixture[28] of nitric and hydrochloric acids. However, such strong acids were not known to Parthian goldsmiths, let alone their mixtures. In order to gold plate base metal objects, as suggested by *König*, they not only needed direct current electricity, but also gold cyanide solutions as well. The crucial issue is how did they produce the chemical compound gold cyanide?[29] Or did they employ other solutions from which they could deposit gold in a satisfactory manner? It is most interesting to find out what type of electrolyte was available at that time.

Since there was probably no solvent for gold in the Parthian era, chemists and electrical engineers have come up with various assumptions to demonstrate how Parthian gold smiths might have obtained gold cyanide, which is necessary for the gold plating, but does not occur in nature. Some of these ideas are outlined below.

G. Kirchner, who is one of the staunchest followers of *König*'s gold plating hypothesis, concludes his reportage on the Parthian art of gold plating with the following remark:

"We do not know exactly how the Mesopotamian goldsmiths prepared their galvanic bath. Gold was widely spread already six thousands years ago in Mesopotamia. However, the Parthians definitely did not know the chemical compound gold cyanide. This gold salt dissolves easily in water, so that the electroplating process would be very simple. But, such an explanation must be excluded. Chemists and electrical engineers have, therefore, made other assumptions. Gold dissolves very quickly and entirely in humic acid, that is, in brackish

---

28.The mixture consisting of 1 part by volume of concentrated nitric acid (HNO_3) and 3 parts by volume of concentrated hydrochloric acid (HCl) is called "aqua regia" (royal water) because it dissolves gold, the "royal metal".

29.Gold cyanides were discovered in 18^{th} century and were applied in 1839 by John Wright to plate gold Electrolytically.

solutions of gold complex compounds are needed whose deposition potentials are considerably less than that of pure gold. Gold cyanide ions such as $[Au(CN)_2]^-$ are most suitable, since they dissolve easily in water and can be reduced to gold metal according to reaction <6> at a potential of only –0.61 volts, which is much lower than that of Au^+.

$[Au(CN)_2]^- + e^- \rightarrow Au + 2CN^-$ <6>

Fig. 8 illustrates the basic experimental setup, which is needed for the electrodeposition of gold. The gold cyanide ions are reduced at the cathode where they are deposited as a gold layer on the object to be gold plated.

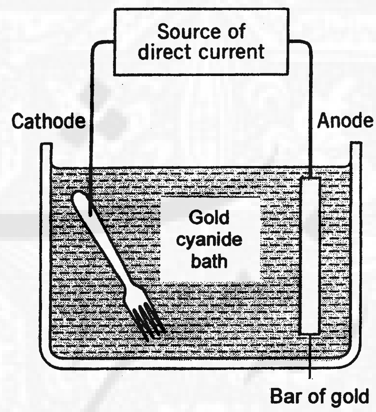


Fig. 8: Apparatus for electroplating gold. Gold cyanide ions are reduced at the cathode where they are deposited as a thin gold layer on the object to be gold plated.

The gold bar replenishes the supply of the gold ions in the electrolyte solution. In the course of time, gold is gradually transferred from the bar at the anode onto the object at the cathode.

---

electricitatis in motu musculari commentarius" (Commentary on the Effect of Electricity on Mascular Motion), which gained general acceptance.

electricity after Galvani[27], was known an infinitely long time before him." [3, 25]

Gold plating hypothesis In principle, a galvanic cell can be used for electroplating metallic coatings onto the surfaces of metal objects, provided it supplies sufficient electric current as long as the plating process lasts. The electrolyte used for this purpose must contain the ions of the metal (Me^{z+}) to be deposited (z is the valency of the positively charged metal ion and indicates the number of electrons it must take up to become an electrically neutral atom). In the plating tank the object to be plated is the cathode. It is connected to the anode, which is often the metal to be deposited. The metal ions, moving loosely around in the electrolyte, are sooner or later attracted to the cathode. When they reach the object, they take up electrons, become neutralized, and plate out onto its surface. The cathodic metal deposition may be expressed by the following reaction:

$$Me^{z+} + z \cdot e^{-} \rightarrow Me \quad \langle 4 \rangle$$

In order to electrodeposit gold, the anode of gold and the item to be gold plated must be connected through a conductor with the terminals of the electric power source and immersed in a gold salt solution in the plating tank.

In theory, the reduction of gold ions (Au^{+}) can be described by the following reaction:

$$Au^{+} + e^{-} \rightarrow Au \quad \langle 5 \rangle$$

This reduction reaction requires, however, a potential of 1.71 volts, which is remarkably high. For this reason,

---

27. The Italian physiologist *Luigi Galvani* (1737-1798), professor of anatomy at the university of Bolonga, discovered in 1786 the so-called galvanic electricity (galvanism) when he noticed that touching a frog with a metal instrument during a thunderstorm made the frog twitch. He concluded that electricity was causing the contraction and postulated incorrectly that it came from the animal's muscle and nerve tissues. He summarized his findings in 1791 in a paper called "De viribus

ampere-hours [Ah]. It is determined by the quantity of electrons that can be released at the anode and accepted at the cathode. As soon as one of the electrode processes, either the anodic or cathodic reaction, comes to an end, for what ever reason it may be, the flow of electrons will stop, and as a result, no electric current will flow anymore from the cell. Such a battery is rather weak and one has to use several of them in conjunction to produce sufficient voltage and electric current.

König himself was aware of this and noted in his book:

"When I met Professor *E. Kühnel* of the Berlin Museum in Vienna on my leave of absence in 1937 (he had himself excavated for several years in Ctesiphon in the neighborhood of Seleucia) I asked him if he had ever found such vessels with copper cylinders with iron rods held by asphalt, during his excavations. This brief description was sufficient and he informed me that such vessels were often found, but it did not occur to anyone what they might be. I asked him for photographs of the findings, which must be in the Berlin Museum. When I received the pictures, there were a few lines with the question whether I could piece anything together from them. The three pictures showed:

one large clay vessel and its contents: a number of copper cylinders;

one large clay vessel and its contents: a number of iron rods;

one large clay vessel and its contents: a number of asphalt stoppers each with a hole.

The three pots came from the same place of discovery. One day the explanation came to me, I began to count 10 copper cylinders, 10 iron rods and 10 asphalt stoppers; it must be ten stored electric cells in the disassembled state! With all these discoveries it can indeed be considered to have been shown that "flowing" electricity, which we have named Galvanic

Table 1: Suggested cathodic reactions taking place at the surface of the copper cylinder [48]

Cathodic reaction	**Reduction of**	**Source of reactant**	**Reference**
$Cu^{2+} + 2 \cdot e^- \rightarrow Cu$	Cupric ions to copper metal	Copper sulfate electrolyte	M. Schwalb 1957
$O_2 + 2H_2O + 4 \cdot e^- \rightarrow 4OH^-$	Oxygen gas to hydroxides ions	Oxygen dissolved in the electrolyte contained in the bottom-closed copper cylinder	W. Jansen et al. 1987 E. Paszthory 1989
$2H^+ + 2 \cdot e^- \rightarrow H_2$?	Protons to hydrogen gas	Mineral acid solutions	W. Jansen et al. 1993
$OC_5H_4O + 2H^+ + 2 \cdot e^- \rightarrow HOC_6H_4OH$	p-quinone to p-hydroquinone	Secretion of centipedes etc.	W. Jansen et al. 1993
$O_2 + H_2O + 4 \cdot e^- \rightarrow 4OH^-$	Oxygen gas to hydroxides ions	Oxygen from the air	G. Eggert 1995

Some of the suggested cathodic reactions are more or less of speculative character, since the sources of their reactants, mineral acid solutions, were most probably unknown to the Parthian gold smiths.

The electric current generated in the cell due to the build-up of a voltage continues to flow as long as electrons are released at the anode and consumed simultaneously at the cathode. However, one has to realize that the amount of the electric current flowing from such a cell is determined by the resistance of the total circuit, including that of electrolyte. The voltage decreases in the course of time because of the internal resistance of the cell and the slowness of the electrochemical processes at the electrodes. That is why the cell has a limited energy content, referred to as capacity and usually given in acid and citric acid were well known to them, one may assume that they probably made use of them as electrolytes.

To answer the third question, one has to consider that the voltage, which develops in a galvanic cell (E_{Cell}), is determined by the difference between the normal potentials of the electrodes employed. By definition, its value is equal to normal potential of cathode (E_C) minus normal potential of anode (E_A), that is, $E_{Cell.} = E_C - E_A$. In theory, the voltage of the Parthian Battery amounts to +0.79 volts, since the normal potential copper is +0.35 volts and that of iron is +0.35 volts. Experiments carried out by scientists using replicas of the Parthian Battery and different electrolytes have shown, however, that such a cell is capable of generating a voltage of only 0.5 volts. The electric current, which flows from such a cell, amounts to a few milliamps [mA].

The electrochemical reactions leading to the build-up of the potential difference between the iron rod and the copper cylinder and flow of electric current comprises of the anodic dissolution of iron according to reaction <3> and a cathodic reaction of unknown nature, which takes place simultaneously at the copper cylinder.

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 \cdot e^- \quad <3>$$

Reaction <3> indicates that the iron atoms enter the electrolyte as iron ions (Fe^{2+}) leaving behind electrons (e^-), which flow through the external connecting wire towards the copper cylinder to be consumed by the cathodic reaction.

The nature of the cathodic reaction depends on a number of factors, particularly the type and concentration of the electrolyte involved, the purity of the copper cylinder, the temperature, and the magnitude of the actual potentials of iron and copper in the ekectroyte used.

Since it is still unknown which type of electrolyte was used by the Parthian goldsmiths, scientists who have examined the Parthian Battery have come up with various suggestions regarding the possible cathodic reaction taking place at the copper cylinder. Table 1 contains some of these proposals.

Three questions must be answered in this connection:

Firstly, how did the Parthian goldsmiths connect the iron rod with the copper cylinder?

Secondly, what kind of electrolyte did they use?

Thirdly, what voltage and electric current can such a battery supply?

To answer the first question, one needs to remember that thin wire-like bronze or iron rods were found next to the urns, as reported by the archeologists. As a point of departure, one may assume that the Parthian goldsmiths might have used them as connecting means between the iron rod and the copper cylinder.

As far as the second question is concerned, the simple answer is that any electrically conductive fluid may be used as electrolyte. In the course of time researchers and commentators have suggested various possibilities. *König* himself vaguely spoke of an acid or alkaline liquid. *W. F. M. Gray* [15], who was the first to build a working replica of the Parthian Battery, used a copper sulfate solution. *W. Ley* [6] and H. *M. Schwalb* [8] confirmed *Gray*'s suggestion when reporting on his model. *E. K. Hornauer* [10] employed vinegar and lemon juice; his approach was followed by *H. Winkler* [12]. Following *J. B. Pierczynski* [16], *W. Winton* [14] and *A. Al-Haik* [16] suggested wine or vinegar as possible electrolytes. *W. Jansen* et al. [40] had the idea of using benzoquinone[26]. *P. T. Keyser* [41] favored besides citric acid and vinegar, distilled vinegar, claiming that the latter was likely used by Parthian goldsmiths. *N. Kanani* [47] suggested freshly pressed grapefruit juice, or better wine. What kind of aqueous solutions did Parthian goldsmiths use remains, of course, a matter of speculation. Given the fact that acetic

26. Quinones occur naturally in the secretions of some beetles and centipedes; as much as 300 mg can be found in large centipedes.

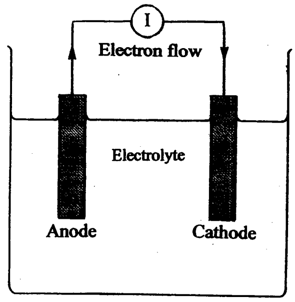


Fig. 6c: With an ammeter (I) connected between the anode and cathode of a galvanic cell, a positive electric current can be measured.

On close inspection, one realizes that the arrangement of the iron rod and copper cylinder in the clay jar according to *König*'s sketch (Fig. 4) establishes a galvanic cell, in which the iron rod is the anode and the copper cylinder the cathode. The clay jar is probably to keep the cell upright. Such an assembly is capable of supplying electric current provided the two electrodes are connected together and the copper cylinder is filled with a suitable electrolyte, as indicated in Fig. 7.

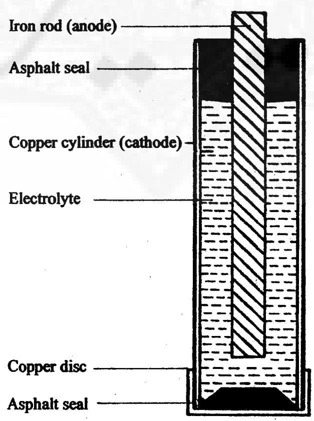


Fig. 7: Arrangement of the iron rod (anode) and the copper cylinder (cathode) in the unit found at Khujut Rabbou'a

change in the system, but the electrode has developed an electrochemical potential.

Now, if another metal, referred to as cathode, with lesser tendency to dissolve is immersed in the electrolyte, a potential difference, or voltage, will build up between anode and cathode, as depicted in Fig. 6b, since the anode potential is more negative than the cathode potential.

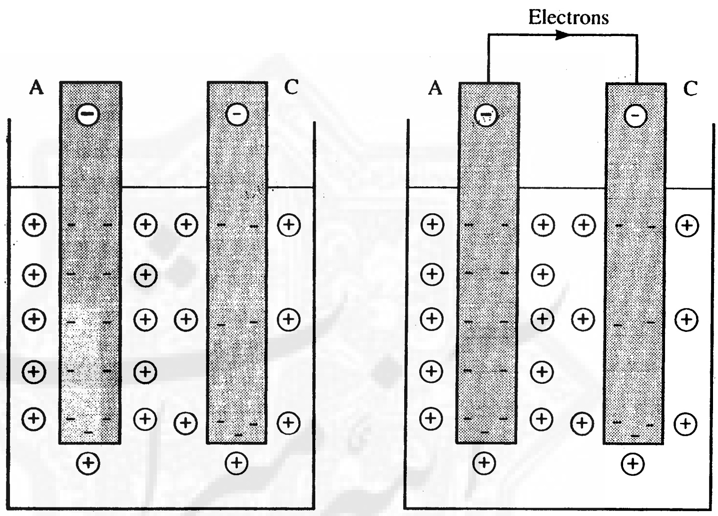


Fig. 6b: If two dissimilar metals, referred to as anode (A) and cathode (C), are immersed in an electrolyte, a potential difference, or voltage, builds up between them, left. The potential difference causes the electrons flow from the anode towards the cathode if they are connected together by means of a wire, right.

It follows that a potential difference is always developed when two unlike metals are dipped into an electrolyte. The amount of the potential difference is determined by the physical and chemical nature of the electrodes. As a result of this potential difference, the electrons will flow from the anode towards the cathode as soon as they are connected together by means of a wire, as shown in Fig. 6c. The flow of electron constitutes an electric current that can be measured by means of an ammeter. This arrangement is depicted in Fig. 6c.

called electrolyte. Modern electrochemistry provides the basic theory of the process, which takes place in a galvanic cell.

If a piece of a metal is immersed in an electrolyte, as shown in Fig. 6a, the metal atoms will leave their lattice sites and enter the electrolyte solution in the form of positively charged metal ions leaving behind negatively charged electrons.

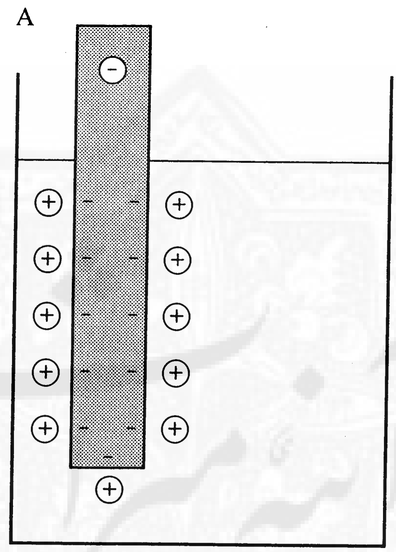


Fig. 6a: If a piece of metal is immersed in an electrically conductive solution the metal atoms will leave their lattice sites and enter the solution in the form of positively charged metal ions (+) leaving behind negatively charged (-) electrons.[25]

The metal electrode is called anode, and the process is referred to as anodic dissolution. The anode dissolution will, however, come to an end in a fraction of a second due to the strong attractive forces acting between the positively charged metal ions and negatively charged electrons. The system reaches a dynamic equilibrium, in which metal ions are continually entering and leaving the electrolyte. There is no

25. Trethewey, K. R. and Chamberlain, J.: "Corrosion for Science and Engineering", Addison Wesley Longman Limitted, Essex, England, 1995, p. 41 and 78

"It is conceivable that the magicians of Khjut Rabuah were also doctors, and healed with the electric current of such a cell. Its voltage is indeed not so small and if one brings the iron and copper of the battery into contact with the tongue, one can readily detect the current. Probably he would also be somewhat aware of the strange effect of the two poles of such an element on disease and germ containing fluids. This phenomenon was called electrotropism[24] and is still scarcely understood even today." [3, 25]

To summarize, *König* was of the opinion that the Parthians might have used devices such as those discovered at Khujut Rabbou'a for three purposes:

To generate electric current (Power supply hypothesis)
To gold plate base metal objects (Gold plating hypothesis)
To heal diseases by electric shocks (Medical application hypothesis)

König's interpretations have often been cited, but are still a matter of discussion. In the following an attempt will be made to discuss *König*'s hypotheses.

POWER SUPPLY HYPOTHESIS To examine *König*'s first hypothesis, it is necessary to consider the action of a galvanic cell or element. A galvanic cell is a device for producing a voltage and delivering an electric current as a result of electrochemical reactions. It consists of two dissimilar metals, generally referred to as electrodes, or more specifically, anode (A) and cathode (C), which are connected together by means of a wire and immersed in an electrically conductive solution,

---

23. Ur was an ancient city in Sumer, on site now in southeastern Iraq. In the Old Testament, it was called "Ur of the Chaldees."

24. Electrotropism or galvanotropism refers to bodily orientation in relation to an electric current.

ions enter the salt solution, and the electrons flow through the copper wire towards the object to be gold plated. There, they are taken up by the surrounding gold ions (Au^+), which plate out according to reaction <2> as gold layer (Au) onto the surface of the object.

The gold-plating process described above displays two disadvantages. Firstly, the gold content in the gold cyanide solution depletes during the plating process and must be replenished. Secondly, the contact between the two liquids through the porous clay jar may lead to contamination of the gold cyanide solution.

König explained his gold plating hypothesis in more details in his book:

"Bronze and copper containers were known from Tell Asmar[22] from a much earlier time, about 2500 B. C., which had a stranger, often blue patina, which flaked off very easily. The containers were of a similar shape as the contemporary ones form Ur[23], only the metal was different. No obvious explanation was found why the blue noble corrosion layer of the Tell Asmar vessels fell off even with a light blow. Had copper containers probably been gold plated, in order to attain a competitive position with wealthy Ur? It would be logical to imagine that an electrodeposited gold layer had hindered the firm growth of the blue basic carbonate. A primitive process of gold plating is still in use in Baghdad today on a secret electrical basis. Probably it is older than one might think?" [3, 25]

Apart from his power source and gold plating hypotheses, *König* came up with another interesting idea suggesting that the Parthians might have used such devices for medical purposes as well. In his book he expressed his views on this matter as follows:

22. See König's hand-drawn map of the excavation sites, Fig. 1.

With regard to *König*'s hypotheses to be discussed later, it is important to inspect the gold-plating equipment used by the goldsmiths in Baghdad.

According to *König*'s drawing the porous clay jar (A) containing the gold cyanide solution is placed in a cooking vessel (B) filled with a solution of common salt, most probably sodium chloride solution (NaCl). The metallic object to be gold plated (D) is immersed in the gold cyanide solution contained in the porous clay jar, and the zinc bar (F) is suspended in the common salt solution. Both metals are in electric contact by means of the copper wire (E) held in place by the suspension rod (C). The porous nature of the clay jar provides the electric connection between the gold cyanide solution and the common salt solution. Thus, the equipment combines an electric power source, the cooking vessel with the zinc bar, and a plating bath, the porous clay jar containing the gold cyanide solution, in one unit. This arrangement makes it clear that electrodeposition of gold requires two cells, the voltage-generating cell and the plating cell[21]. The clay jar described by *König* would have acted as voltage-generating cell.

With the equipment described above the voltage, which develops between the object to be gold plated and the zinc bar is obviously sufficient enough to affect gold plating. Grossly oversimplified, the process of gold plating in this equipment may be reduced to the following two reactions:

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^- \quad <1>$$
$$Au^+ + e^- \rightarrow Au \quad <2>$$

Reaction <1> indicates that the zinc bar dissolves in the form of zinc ions (Zn^{2+}) setting free electrons (e^-). The zinc

21.It should be mentioned that the deposition of gold can also be performed without using an external power source. The process is referred to as electrolss gold plating. In general, electroless plating occurs when a less noble metal is immersed in a solution containing ions of a more noble metal. The solution must contain a reducing agent, and the object to be plated must act as a catalyst and trigger the plating process.

> cannot be determined[20]; that one can silver and gold plate galvanically with a simple element of zinc and copper, and that the process applied to metallic antiques for reduction purposes consists of nothing more than the cathodic reduction in the polarized element (for this purpose one brings the antiques which still contain metal into contact with zinc or iron in an acid or dye bath.)" [1, 25]

To lend more credibility to his claim, *König* also reported that Iraqi jewelers in Baghdad used a rudimentary galvanic cell that reminded him of the finds. He included in his paper a sketch of this ancient gold-plating equipment, which is reproduced in Fig. 5.

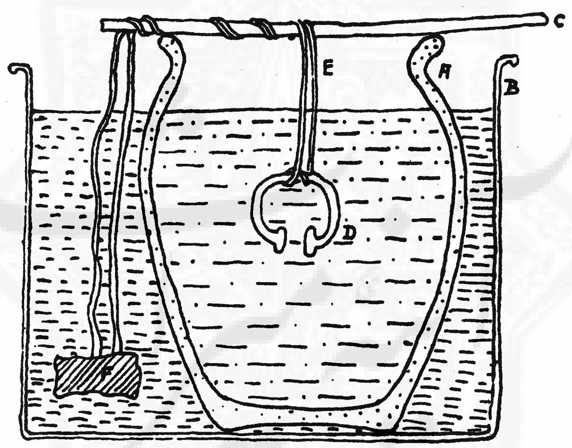


Fig. 5: *König*'s drawing of the ancient gold-plating equipment, which was in use in Baghdad.

A: Porous clay jar containing gold cyanide solution, B: Cooking vessel containing solution of common salt, C: Suspension rod holding in place a copper wire, D: Object to be gold plated, E: Copper wire, F: Zinc bar

20.G. Eggert strongly opposes König's claim that the Baghdad gold-plating equipment is of ancient origin. In his paper entitled "On the Origin of a Gilding Method of the Baghdad Silversmiths" published in 1995 [45], he tries to prove that the gold-plating method of the Baghdad silversmiths is identical to the process invented by John Wright in 1839. The invention was patented on March 25th, 1840, by G. R. & H. Elkington under the title "Improvements in Coating, Covering, or Plating certain Metals" (British Patent B. P. 8447:). Eggert notes: "All in all, an ancient origin for the gilding method of the Baghdad silversmiths is highly speculative, but so far cannot be ruled out on technical grounds. Its likelihood can only be judged by comparison with the alternative hypothesis of a modern origin. Therefore, there is no reason to postulate that this process is a relic of ancient knowledge."

> "What could be done with such batteries? That they were not only built but also used could be seen from the "electrode nature" corroded iron pieces of the Baghdad discovery, as Dr. *W. Gangl* in Vienna observed. For what purpose had such batteries been used?" [3, 25]

He himself delivered the answer by stating:

> "The clay vase with the copper cell had been found in a house outside of the settlement; nearby there were three clay vessels with magic inscriptions. Similar copper cells had been found in ruins in Seleucia on the Tigris, also some which showed a different kind of arrangement. A wide-neck clay vessel was closed with asphalt and in it stuck iron and copper rods one after another, with long projecting ends above the closure stopper. Here was already displayed an attempt to increase the voltage of the battery! This discovery and others of a similar nature had already been published, however without commentary." [3, 25]

Having said that, *König* put forward the daring theory according to which the Parthians might have used such batteries as electric power source for electroplating[19] gold onto the surfaces of base metal objects to improve their appearance and enhance their apparent values. In his paper he stated his electroplating hypothesis as follows:

> "We still know nothing closer today regarding the separate stages of development of this apparatus. However, it seems entirely possible that such an apparatus already had existed at that time. I might mention in this connection that even today the silversmiths in Baghdad use a primitive wet process for gold plating with the application of zinc, the origin of which

19.Electroplating is defined as the act of coating something with metal by means of an electric current. Modern electroplating started around 1800 when A. Volta discovered the battery.

employed by Parthian goldsmiths to generate electric power arguing that all the materials used were common and the manufacture was well within the ability of the people of that time. He expressed his views as follows:

> "Only conjunctures can be made regarding the use of the apparatus from Khujut Rabu'a. From its parts and their arrangement one might think that it must be a kind of "galvanic" element or battery[18]. ...One accordingly has to assume that the copper cylinder would have contacted a liquid which was either basic or acid. The above explanation of the apparatus was agreed to by *Oswald Menghin* and *W. Gangl* of Vienna. I recently learned that *E. Kühnel*, the Director of the State Museum in Berlin, who had himself conducted excavations in Ctesiphon at Baghdad, found there together with discoveries from the Sassanid era a larger number of similar vessels with copper and iron attachments of unknown purpose. It also appears to be a question of "galvanic" elements in connection with these vessels of undoubted Sassanid origin, the use of which will probably be explained by further investigation." [1, 25]

Later, *König* explained his idea in more details in his book:

> "The answer to the question as to the use of the curious find caught me by surprise when I brought all the parts into relationship to each other and considered their careful separation from each other by insulating asphalt: It must be an electric battery! One need only to put in an acid or alkaline liquid and the battery would be finished. I expressed my view with caution, as it could be only confirmed by further circumstances or discovery and discoveries." [3, 25]

The next question *König* put to himself was:

---

18. A galvanic element or cell is a device that converts chemical energy directly to electric energy. The term battery designates, in strict usage, an assembly of two or more galvanic cells. The term, however, is often applied also to a single galvanic cell.

by placing the iron rod into the copper cylinder and both of them into the clay jar.

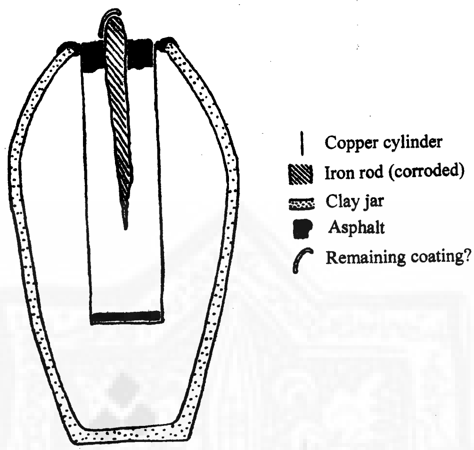


Fig. 4: *König*'s hand-made drawing of the assembly created by placing the iron rod into the copper cylinder and fixing them concentrically in the clay jar [1]

From this schematic representation one can see that the copper cylinder is placed centrally into the clay jar, and the iron rod, held in place by a bung made of asphalt, hangs concentrically with the line of the axis of the copper cylinder. The upper end of the iron rod protrudes above the asphalt stopper; its sharp end does not come into contact with the bottom of the copper cylinder, which is covered with a thin asphalt layer.

Because of the apparent similarity of this assembly to a modern dry battery[17], *König* speculated that such an arrangement of the objects found at Khujut Rabbou'a could have served as a galvanic element or battery. He was the first to suggest that such a device could have been

17. Modern batteries employ a zinc cup and carbon rod.

> relationship was previously not detected. It is a striking fact that these vessels were not found in a burial place, but in a building placed separately and containing also magician's dishes and vessels." [1, 25]

In further excavations undertaken in 1931/32 jointly by the Islamic Art Section of the Staatliches Museum, Berlin, and the Metropolitan Museum of Art, New York, led by *E. Kühnel*, six sealed unglazed earthenware jars were found, each containing little rolls of metal or metal nails.

König's Hypotheses

König found himself confronted with the tantalizing question of what purpose the mysterious objects found at Khujut Rabbou'a might have had? He decided to deal with this question systematically and continued searching for any further details that could help him to establish the real use of them in antiquity.

Two months later, on August 29th, 1936, he sent one complete set of the device to the University of Vienna to be examined by Professor *O. Menghin* and Dr. *W. Gangl*, the then director of the Bundesanstalt für Lebensmitteluntersuchungen in Wien (The Austrian Federal Agency for Food Investigation in Vienna). *Gangl* was, according to *König*, friendly enough as to personally undertake the chemical analyses. Unfortunately, there are no records available on the results of these investigations.

Looking desperately for an answer to his question regarding the possible use of the findings in antiquity, *König* finally hit upon the idea to put them together in a logical manner. What came out of his idea was an assembly that looked like a galvanic element. The hand-made drawing, which he included in his article published in 1938, is reproduced in Fig. 4. It is a cut-away model of the assembly he created isolated on the mounds with every indication that it is later that the first Parthian level. None of the jars were connected with burials. Three incantation bowls were found in the same vicinity. Two of these were of the usual Aramaic variety, covered with the simulation of writing. One of them was placed as a cover over the other and the receptacle thus formed contained an egg-shell covered with the same design. The third bowl, which was inscribed with Syriac writing, had been broken. The date of these objects may be inferred in general from a small cloth bag (the fibre of which is still intact) which was found in close proximity and which contained a small quantity of copper and silver coins, the silver exemplars being definitely Sassanian." [25]

According to *Waterman*, the Tel' Omar specimens lacked the iron cores, and were closed at both ends. On opening, the copper cylinders were found to be full of plant fibers. Their discoverer, at a loss what to think about them, concluded that the plant fibers had originally been writing material and had fallen apart after twenty centuries of drying.

König was aware of the Tel' Omar finds and, referring to *Waterman*'s report, he noted in his paper:

> "During the excavations at Tel' Omar (Seleucia) four similarly formed clay vessels were found, of which three likewise contained a copper cylinder. Differently from the above described discovery, these vessels lacked the iron core. Moreover, the copper cylinders were closed on both ends and contained flakes of plant fibers, which the excavator was inclined to consider decomposed writing material (Papyrus?). The fourth vessel contained only pieces of a broken glass container and no metal. It is interesting that all four vessels with which the first three above mentioned were found, were each provided with a bronze rod (Cu) and up to three iron rods (wires?). In spite of many external similarities a constructive

---

University of Michigan Press, 1931

L. Waterman's report[16] on the first of these excavations was published in 1931. It is given below in full:

"The sealed jar is one of four examples found during the closing days of the 1930 season at T.T. 30). All are small jars, from six to eight inches in height, of very common unglazed ware, but of different types. Two have a handle, the others none. All were sealed with bitumen stoppers. Only one was found in an upright position and it contained fragments of a small glass bottle. The other three were lying in a horizontal position and each was held in place by small rods set upright at the ends and sides. These rods were from six to ten inches long and projected slightly above the jar. Each jar had one iron rod, and the rest being of bronze. The maximum number of rods found with any one jar was four. Each of the three horizontally placed jars contained a small bronze cylinder originally sealed at both ends. The cylinders were all of the same dimensions, being approximately one and one-forth inches in diameter and three inches long. Each cylinder originally contained what appears as a tightly wrapped roll, though in one instance, owing to the loosening of the ends of the cylinder, the contents had become a mass of mere flakes. A second roll had partially disintegrated, so that only a small closely wrapped core is preserved. The third appears to be intact and gives the impression of a roll of paper folded over at the ends. A preliminary microscopic examination of the flake proves the substance to be plant and not animal fiber, hence probably papyrus. In any case, there is presumably evidence of writing, which will be verified as soon as practicable. The jars were found at different points and in no observable order, but scattered about a peculiar rectangular structure built of sun-dried bricks, which stands

---

16. Waterman, L.: "Preliminary Report Upon the Excavations at Tel Umar, Iraq", Ann Arbor,

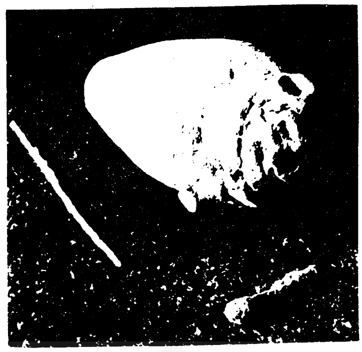


Fig. 3a: Sealed jar of common unglazed earthenware discovered at the archeological site of Tel' Omar during the excavation in 1930 (*L. Waterman*: "Preliminary Report Upon the Excavations at Tel Umar, Iraq", pl. XII)

It is interesting to note that next to the clay jar, one thin, almost wire-like bronze rod and three wire-like iron rod were found.

Fig. 3b: Copper cylinder, originally sealed at both ends, discovered at the archeological site of Tel' Omar during the excavation in 1930 (*L. Waterman*: "Preliminary Report Upon the Excavations at Tel Umar, Iraq", pl. XII)

> on a small excavating expedition, in order to investigate the hill of Khujut Rabuah. In this way something peculiar was found and brought to me, after passing through many hands. In a vase-like container of bright yellow clay, the neck of which had been removed, a copper cylinder was stuck, held in place by asphalt. The vase was about 15 cm high; the cylindrical tube with a closed bottom made from sheet copper had a diameter of 26 mm and a height of 9 cm. In the latter a completely oxidized rod of iron was found, held in place by a sort of stopper of asphalt, the upper end of which protruded about 1 cm above the stopper and was coated with a yellow-gray, completely oxidized thin layer of a metal with the appearance of lead. The lower end of the iron rod did not extend to the bottom of the cylinder, upon which there was a layer of asphalt about 3 mm thick." [3, 25]

The question, which kept *König* occupied at this stage, was whether anything like these objects had been discovered before. The answer he found to his question was positive. Three different excavations had been carried out earlier at the Seleucia trading post of Opis, some 25 miles down river from Baghdad, all in the 1930's by an excavation team from the University of Michigan, and had yielded small devices with iron and copper parts. They were discovered together with incantation bowls employed by magicians, and no one had been able to make out the use, which had been made of them. Four similar vases had also been found at Tel' Omar in the vicinity of Seleucia. The sealed earthenware jar and the small bronze cylinder originally sealed at both ends shown in Fig. 3a and 3b are one of four examples found there.

relics from Parthian times. The apparatus consisted of a clay jar, a cylinder made from copper sheet, and an iron rod. The jar was oblong-oval of whitish-yellow baked clay with a flattened surface to stand on (height 14 cm, largest diameter 8 cm[15]). The neck had been intentionally removed and the circular broken place showed traces of asphalt. The neck opening had a diameter of 33 mm. The cylinder made from copper sheet (height 98 mm, diameter 26 mm) was placed in this jar. The lower end of the cylinder was sealed off with a round copper sheet fastened in place by bending over the edges of the cylinder wall. The joint with the cylinder wall edges had apparently been produced by soldering (soft solder). The metal used for soldering could no longer be determined; there was in its place still only a whitish incrustation. The chemical analysis of the copper showed it to be fairly pure copper with traces of zinc, lead and iron. The rod-shaped iron object (77 mm long) was found inside of the copper cylinder. It was completely oxidized. At the top it was held by asphalt stopper which fitted into the upper edge of the cylinder wall. When the apparatus was found, this stopper was in place in an unbroken condition. The iron object, the upper end of which extended 10 mm above the asphalt stopper, was held firmly in place by the stopper, concentrically with the line of the axis of the cylinder, so that it hung in the cylinder. On the projecting end of the iron rod a sort of coating – like covering was noted. Down below the iron core had been increasingly worn away or corroded. The exposed bottom end could not have come into contact with the bottom of the cylinder, since there was an asphalt layer about 3 mm thick over the cylinder bottom. " [1, 25]

In his book, which was published two years later in 1940, *König* reported again in some details on the subject. The following description of the discovery and the objects found has been taken from this book:

"The discovery was reported to the office of antiquities as required by law. The museum sent out a commission, and later

15. Al-Haik describes the jar in his report [16] as 18 cm high and 9 cm wide.

"Deutsche Bergwerks-Zeitung" (The German Journal of Mining) [2]. In his paper, *König* presented a photograph (Fig. 2) of the objects found and gave a detailed description of the different parts.

Fig. 2: Objects discovered during the archeological excavations in 1936 at Khujut Rabbou'a (The collection is in the custody of the Iraq Museum in Baghdad, bearing the registration number IM. 29209-29,211.) [1]

From left to right: clay jar, iron rod between fragments of asphalt for spacing, copper cylinder (The scale is 10 centimeters long.)

König's account of the discovery reads as follows:

"In the excavations of the Iraq Museum in Khujut Rabu'a, located southeast of Baghdad on the railroad line to Kirkuk, an apparatus was found in the summer of 1936, the nature and purpose of which was unknown. The place of the find is a ruin hill which was part of what had been a settled area having quite unexpected occurred. They found strange objects of unknown nature. The archaeologists considered the findings at first as just another ordinary discovery and did not become very excited about them. However, it did not take them too long to realize that they were actually digging out peculiar objects of unknown purposes.

In his detailed report, "The Rabbou'a Galvanic Cell", *A. Al-Haik* gave the following account of this discovery:

"The site was soon examined by the Iraq Antiquities Department and identified as an important settlement of the Parthian time (248 B. C. - 226 A. D.) with good archaeological prospects. The Department has, therefore, started digging here immediately. These excavations brought to light some 613 stratified pieces of various objects comprising sarcophagi, skeletal remains, pottery and glass vessels, beads, stone objects, bricks engraved with symbolic characters, metal objects, clay figurines, etc. But more spectacular among these artifacts, from a scientific standpoint, was a curious aggregate composed of an ovoid pottery jar (18×9 cm) with dented mouth containing hollow copper cylinder with one end closed, iron rod and a number of bitumen crumbs; all found in level F. IV (b). This collection is now in the custody of the Iraq Museum, Baghdad, bearing registration numbers IM. 29209-29211." [16]

König has included a hand-drawn map of the area involved in his book. On this map, which is reproduced in Fig. 1., one can locate the archeological site at Khujut Rabbou'a near the old Parthian capital Ctesiphon.

König, who was in charge of the laboratory of Iraq National Museum in Baghdad, studied the "curious aggregate". He published his observations in an article entitled "A Galvanic Element from Parthian Times?" which appeared on January 1st, 1938, in the German magazine "Forschungen und Fortschritte" (Research and Progress) [1]. The same article was published later, on January 16th, 1938, in the

This account is based on *Wilhelm König*'s[14] description in his book entitled "Nine Years in Iraq" [3] which was published in 1940. The translation of the same passage by *G. Dubpernell* reads as follows:

"In the year 1936 there was a great flood which converted the part of Baghdad lying east of the Tigris into an island for weeks. When finally most of the flood water had run off, been absorbed and evaporated, there remained in numerous low-lying areas of the city and its suburbs, large pools in which billions of flies found their breeding place. The ministry of health checked the possibilities of opposing the danger of malaria. Since there was no high ground in the immediate neighborhood of Baghdad from which materials could be taken to fill in the pools, they got the idea of carrying off a hill of loam which lay directly on the stretch of road to Khanakin. During the excavation of this elevation it was found that it was an ancient mound containing the ruins of a dwelling place. It was later found that it contained relics from Parthian times, about 300 B. C. to 300 A. D." [25]

The fact of the matter is that, in the summer of 1936, in the course of earth-moving operations carried out at Khujut Rabbou'a near Ctesiphon the excavators came across an ancient site on June 14th. They proceeded routinely with their excavation work until something

14. There is a great deal of confusion about König's nationality, academic background and professional responsibilities in Iraq among the scientists and journalists who have concerned themselves with the Parthian Battery. Some of them refer to him as an Austrian and director of the Iraq National Museum in Baghdad, others claim that he was a German national and head of the German excavation expedition near Baghdad. According to G. Dubpernell [25], e.g., König was a German who became involved with excavation activities and became later director of the Baghdad Museum. The fact of the matter is, however, that König came from Vienna/Austria and was a painter by profession being very much interested in natural sciences and technical matters. He left his hometown in 1930 and went to Berlin. There, he became by chance a member of the German Warka Expedition and attached to the Iraq National Museum in Baghdad, although he was not, by training, a scientist. In 1931, following a proposal by the Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft (The German Emergency Association of Science), he was elected assistant to the German leader of the Baghdad Antiquity Administration as head of the laboratory. König spent almost nine years in Iraq until he returned to Berlin in 1938 for health reasons [3].

"*Surena*, the great Parthian general, used to take his concubines to the battlefields on two hundred sedan chairs. The majority of his female companions were musicians, singers, and dancers."[12]

The Discovery

Prior to discussing the Parthian Battery, it may be interesting to read the story of the event which led to its discovery. The following account, which sounds a little like fiction, is given by *W. Ley*:

"Baghdad is at the Tigris river and in 1936, the Tigris produced a major flood. The low-lying portions of Baghdad were covered by a few inches of water for a long time and these large and shallow puddles were extremely welcome to female mosquitoes as a place for depositing their eggs. Draining the puddles was apparently impossible and it was decided to fill them in. However, there are no hills in the immediate vicinity of Baghdad and the material needed had to be taken from a small hill a few miles to the southeast of the city. That hill bore the local name of Khujut Rabu'a[13] and happened to be conveniently located at the railroad track which leads from Baghdad to Khanaqin. As the workmen started loading their cart with sand and dirt from the hill, they came across ruins. Both the Iraq Museum and the government stepped in and their experts were unanimous in declaring that these were the remnants of a settlement from the time of the Parthian kingdom, which existed from 250 B. C. to 224 A. D." [6]

---

12. Kanani, N.: "Die persische Kunstmusik: Geschichte, Instrumente, Struktur, Ausführung, Charakteristika", Berlin, 1996, p. 11

13. Other transcriptions of this Arabic name are: Chuyut Rabuah, Khuyut Rabbou'a, Khujut Rabou'a and Khiut Rabboua. W. König uses the transcription Khujut Rabu'a in his article [1, 2] and Khujut Rabuah in his Book [3]. With reference to A. Al-Haik [16], the transcription Khujut Rabbou'a is used throughout the present article, save the original quotations.

Fig. 1: König's hand-drawn map showing the geographical position of the excavation site at Khujut Rabbou'a near the old Parthian capital Ctesiphon[3]

There were also significant developments in the realm of music during the Parthian period[11]. In fact, many innovations of greatest importance for contemporary Persian music can be traced to those times. A great deal of musical traditions from that time bear witness to the intimate love of the Iranian people for this fine art, a deep affection that has survived the centuries. Also from a scientific point of view, many musical works of art from the Parthian era are of great significance for the understanding of traditional Persian music. These artistic remains often provide detailed and valuable information concerning the structure of different musical instruments in antiquity.

When narrating the story of the battle between the legendary Parthian commander *Surena* (murdered in 54 B. C.) and his Roman counterpart *Crassus*, *Plutarch* (46-125 A. D.), the famous Roman historian, gives an illustrative description of a typical episode:

11. Boyce, M.: "The Parthian G□s□n and Iranian Minstrel Tradition", Journal of the Royal Asiatic Society (JRAS), 1957, pp. 10-45

Painstakingly manufactured coins, marvelously decorated drinking horns, beautifully designed potsherds, and many other relics and works of art from this era testify to the high level of the Parthian civilization and cultural accomplishments. An impressive example of the remarkable workmanship of the Parthian craftsmen is a large bronze statue. It represents a man wearing an outfit of belted jacket and leggings. After a popular Parthian fashion, he is carrying his hair in bunches under a headband. *J. H. Iliffe* describes this piece of art as follows:

"The statue, which is most impressive, and gives a picture of a Parthian prince of the Blood, would be spectacular whatever its period and origin."[8]

The Parthians excelled themselves also in the realm of architecture and thus deeply inspired the succeeding dynasties in Iran. Their architectural innovations have amazed generations of historians. According to *J. H. Iliffe*:

"The chief new architectural feature that emerges from these buildings, to enjoy later a long history in the Sassanian[9] and Muslim Arab periods, is the long tunnel-vaulted hall or Iwan open to the front and close at the back, of which the most familiar example is in the remains of the Sassanian Taq-i Kisra Arch at Ctesiphon."[10]

---

8. Iliffe, J. H.: "Persia and the Ancient World", in "The Legacy of Persia" by A. J. Arberry (editor), Oxford at the Clarendon Press, 1968, pp. 1-38, p. 29

9. The Sassanian dynasty was founded by Ardashir I in 224 A. D. after he succeeded in overthrowing the Parthians. The dynasty was named after Sassan, an ancestor of Ardashir. The Sassanids, who ruled over a huge empire form their capital Ctesiphon, were overthrown by Moslem Arabs during the years 637-651 A. D.

10. Iliffe, J. H., p. 28

many of the Western converts to this faith realized its Persian provenance."[6]

Speaking of religious matters, one may remember that *Jesus Christ* was born at a time when the Parthians had already been on the historical scene for almost 250 years. The Holy Scripture of the Christian faith tells the story of infant *Jesus'* birth as follows:

"Now after Jesus was born in Bethlehem of Judea in the days of Herod the King, behold, magi from the east arrived in Jerusalem saying: "Where is He who has been born King of the Jews?""

Magi, a caste of wise men specializing in astrology, medicine, and natural sciences, were Zoroastrian priests with considerable power and influence. If one were to believe the story of infant *Jesus'* birth according to *Matthew's* Gospel, then one would have to assume that the three wise men who traveled to Bethlehem to pay homage to infant *Jesus* were Zoroastrian magi from Parthian Iran.[7]

> As mentioned before, the Parthians were fair enough to allow religious minorities to follow their own faith and to practice their own rituals unhindered. There is also conclusive evidence of political and cultural tolerance exerted by the Parthian rulers vis-à-vis their subjects. Being tolerant of cultural diversities, the Parthians considered themselves as the protectors of the rich and manifold cultures they had taken over. So a wide variety of cultures and traditions began to flourish under their soft rule.

---

6. Lockhart, L., p. 331

7. It is worth mentioning that the English words magic, magical, magician, and magus have their origins in the Persian denotation moq or madjus meaning Zoroastrian priest. Expressions such as magic bullet, magic eye, magic lantern, magic spell, and magic square are quite common in the English literature.

more than a century, no challenge to the hegemony of their Eastern rivals.

Due to such victories the prowess of the Parthian cavalry in the art of archery became proverbial as "the Parthian shot".[4]

The American historian *Will Durant* (1885-1981) notes:

"They (the Parthians) were brave warriors and honorable foes, treated prisoners decently, admitted foreigners to high office, and gave asylum to refugees. They were tolerant of religious diversities, allowing the Greeks, Jews, and Christians among them to practice their rituals unhindered. They themselves, veering from Zoroastrian orthodoxy, worshipped the sun and the moon, and preferred Mithra to Ahura-Mazda."[5]

With regard to Mithraism, remarks made by the English historian *L. Lockhart* are most interesting. He notes:

"It was during the Parthian period that Rome received, indirectly, a legacy from Persia. Many of the Roman legionaries who had been sent to Cilicia and other outlying provinces to guard them against the traditional foe proved more vulnerable to their enemy's religion than to his army, and became converts to Mithraism. Its militant element had a strong appeal for the Roman soldiers, and it was through them that the religion spread to all parts of the Roman world. It is improbable, that

---

4. This expression is still used in the English language as a figure of speech. The American novelist Francis B. Harte (1836-1902) has used the phrase "A Parthian volley of explosives from Uncle Billy" in one of his short stories.

5. Durant, W., p. 529

B. C.) and his army. *Crassus* was killed and his head was brought to the court of the Parthian king *Orodes* (58-38 B. C.) just as he was attending a cultural event. Legend has it that when the gory head was being presented to the king, one of the actors seized it and cited, to the delight of the audience, the famous poem by the Athenian dramatist *Euripides* (480-406 B. C.):

> "We bring from the mountains
> A young lion freshly killed,
> A fortunate prey."[2]

Another attempt on the part of the Romans to beat the Parthians, the battle of 36 B. C. led by *Mark Antony* (80-39 B. C.), was similarly abortive and ended with a decisive defeat for the Roman legions. *Sextus Propertius* (49-15 B. C.), a Roman poet and musician, who would pluck his lyre in praise of war to please his masters, now began to sing another song to his mistress *Cynthia*:

> "Why should I raise sons for
> Parthian triumphs?
> Nochild of ours shall be a oldier."[3]

On occasions such as these two battles, the Parthians succeeded in blocking the aggressive Roman advances into their territory. The Romans, in turn, finally realized that their glorious army was no match for the extremely mobile and flexible Parthian cavalry and made, for

---

2. Lockhart, L.: "Persia as Seen by the West", in "The Legacy of Persia" by A. J. Arberry (editor), Oxford at the Clarendon Press, 1968, pp. 319-358, p. 329

3. Durant, W.: "The Story of Civilization, Part III: Caesar and Christ", Simon and Schuster, New York, 1972, p. 235

long and fierce war of attrition against them. *Arsaces I*, the founder of the Parthian dynasty, was soon in firm control of much of the Iranian plateau. His successors continued to expand their rule in all directions. Thus, it did not take very long until the Parthians established themselves as undisputed sovereigns of a vast empire whose borders reached from the river Oxus in the east to the river Euphrates in the west.

The Parthians ruled over Greater Iran, that is, Persia and its neighboring countries, more than 500 years, longer than any other dynasty in the entire history of Iran. The map reproduced here shows the Parthian Empire in the 1st century B. C.

By the end of the second century B. C. all Persia and Mesopotamia were absorbed into the Parthian Empire, which entertained, according to the season, three capitals: Hecatompylus in Parthia, Ecbatana in Media, and Ctesiphon on the lower Tigris. The photograph shown below gives an idea of the great royal palace at Ctesiphon.

The Parthians soon turned out to be not only fearless and awesome warriors but also resourceful merchants, and as such they greatly profited from the exchange of goods between China and Rome via the famous Silk Road. They remained in control of the overland route to China for centuries. Chinese silk and other Far Eastern merchandise had to go through Parthian Iran along the Silk Road, pass through Dura-Europus and Seleucia[1] to reach Rome and the Romans.

Continuous struggles for expanding their empire westwards finally brought the Parthian kings into sharp conflict with their powerful rivals, the Romans. The first major encounter between the two superpowers occurred in 53 B. C. and resulted in a disastrous defeat for the imprudent Roman proconsul *Marcus Licinus Crassus* (112-53

---

1. The former Seleucid capital, Seleucia on the Tigris, lay opposite the old Parthian capital Ctesiphon on the other bank of the Tigris river (see map of the Parthian Empire). It remained for centuries a Greek city in the Parthian realm.

The Parthian Battery

Naser Kanani
Atotech Deutschland GmbH, Berlin
Technical University of Berlin

For Misha & Mahbubeh

Introduction

The Medes appeared on the historical scene in the 9th century B. C. and built at the early stages of their history a confederation of Iranian tribes. In the course of time, however, they became sovereigns of a vast area and established the first Iranian Empire.

The era of the Persians began in 550 B.C. when *Cyrus the Great* (559-529 B.C.) from the Achaemenid line governing over Persia, deposed the Median kingdom and established himself as the King of the Kings. Under his successors the Achaemenid Empire reached its greatest extent embracing the major parts of the then known world.

In 334 B. C., *Alexander the Great* (336-323 B. C.) succeeded in overrunning the Persian Empire and putting an end to the Achaemenid era. After his death, fierce fighting broke out among his generals over the division of his huge empire. In 300 B. C., after prolonged and bloody internal battles, *Seleucus* (187-175 B. C.) who was one of *Alexander*'s most powerful commanders finally succeeded in seizing control of the entire Middle East and establishing a Hellenistic rule in Persia that lasted almost a century and a half.

Very soon, however, the Seleucid rulers experienced the first major challenge to their control of Iran when the Parthians, a nomadic Iranian tribe, only 60 years later staged a

ح، معلوم و هو قوس، ی ح لأنه تمام میل درجة الشمس فقوس، م ی، معلوم.

و ایضا قد تقاطع فیما بین قوسی، ه ج، م ج، قوسا، ه ب، م ط، تکون نسبة جیب قوس، ه ج، الی جیب قوس، ح ط، مؤلفة من نسبة جیب قوس، ه ب، الی جیب قوس، ب ی، و من نسبة جیب قوس، م ی، الی جیب قوس، م ط، و قوس، م ج، ربع دائرة معدل‌النهار و قوس، ه ب، ربع دائرة مع عرض‌البلد و قوس، ب ی، عرض‌البلد قوس معلوم لما قد بیناه و قوس، م ط، معلوم لأنها ربع دائرة مع، ی، یکون قوس، ح ط، معلومة فقوس، ه ط، معلومة و هی تمام‌الدائر الی نصف قوس‌النهار. و انت اذا تأملت‌البرهان علی‌الدائر اذا کانت الشمس مائلة عن معدل‌النهار و یکون الدائر اقل من نصف فضل‌النهار وقفت علیه بسهولة ان شاء اللّٰه تعالی.

تمت رسالة ابی الوفاً فی معرفة ما مضی من‌النهار من ساعة و اقامة البرهان علی **ذلک** ـ والحمدالله تعالی کثیرا و صلواته علی نبیه محمد و آله اجمعین.

ح ولنرسم على نقطتى، ز ح، قوس، ز ج ط، من دائرة عظيمة كما علمنا ثاوذوسيوس فى‌المقالة الاولى من كتاب الاكر فتكون قوس، ح ط، ارتفاع‌الشمس‌الوقتى فلأنه قد تقاطع فيما بين قوسى، ا ز، ا ب، قوسا، ز ط، ب ه، تكون نسبة جيب قوس، ز ا، الى جيب قوس، ا ه، مؤلفة من نسبة جيب قوس، ب ط، الى جيب قوس ط ح، و من نسبة جيب قوس، ب ج، الى جيب قوس، ب ه، لكن قوس، ز ا، مساو لقوس، ز ط، تصير نسبة جيب قوس، ح ط، الى جيب قوس، ا ه، كنسبة جيب قوس، ب ح، الى جيب قوس، ب ه، و قوس، ح ط، معلومة لأنها الارتفاع‌الشمس‌الوقتى و قوس، ا ه، معلوم لانه ارتفاع نصف‌النهار لليوم و قوس، ب ه، معلوم لأنه نصف قوس‌النهار فتصير قوس، ب ح، معلومة و هوالدائر من‌الفلك.

و ايضا فلتكن الشمس فى‌البروج الشمالية او لجنوبية و نجعل دائرة ، ا ب ج، نصف‌النهار و نصف دائرة الافق، ا د ب، و ربع معدل‌النهار، ج د، و مركزالشمس نقطة ، د، و سمت‌الرأس نقطة ، ه، و نجيز على نقطتى، ه ز، قوس، ه ز ط، فتكون قوس، ز ط، قوس‌الارتفاع و هو معلوم فلأنه قد تقاطع فيما بين قوسى، ک ز ح ج، قوسا، ک ل، ح د، تكون نسبة جيب قوس، ک ج، الى جيب قوس، ج ه، مولفة من نسبة جيب قوس، ک ل، الى جيب قوس، ل ز، و من نسبة جيب قوس، ح ز، الى جيب قوس، ح ه، لكن قوس، ک ج، مساولقوس، ک ل، تكون نسبة جيب قوس، ل ز الى جيب قوس، ج ه، كنسبة جيب قوس، ح ز، الى جيب قوس، ح ط وقوس ل ز معلومة لأنها ميل درجة الشمس و، ج ه، معلوم لأنه عرض‌البلدد يكون، ح ز، معلوما لأنه تفاضل قوسى، ح ه، ح ز، معلوم و هو، ز ه، تبقى قوس، ح ط، معلوما و ايضا نسبة جيب قوس، ه ا، الى جيب قوس ج ا، مؤلفة من نسبة جيب قوس ه ط الى جيب قوس، ط ح، من نسبة جيب قوس، ز ح، الى جيب قوس، ز ک، يكون لأجل ما قد منا ذكره قوس، د ح، معلومة فقوس، ح ج، معلومة و ايضا من أجل ان نسبة جيب قوس، ک ه، الى جيب قوس، ج ه، مؤلفة من نسبة جيب قوس، ک ز، الى جيب قوس، ز ل، و من نسبة جيب قوس، ح ل، الى جيب قوس، ح ج، تكون قوس، ل ح، معلومة و قوس، ج ل، معلومة و هو تمام الدور الى نصف قوس‌النهار.

معرفة الدائر و الشمس فى‌البروج الشمالية و السمت شمالى

و ايضا فلتكن دائرة الافق دائرة ، ا ب ج د، و دائرة نصف‌النهار، ب ه د، و دائرة معدل‌النهار، ج ه، و سمت‌الرأس نقطة ، ز، و موضع‌الشمس نقطة ، ح و نرسم على نقطتى، د ح، دائرة ز ح ک، من دائرة عظيمة فتكون، قوس، ه ط، تمام‌الدائر الى نصف قوس‌النهار فقوس ح ط، تمام نصف فضل‌النهار الى الدائر فلأنه قد تقاطع فيما بين قوسى، ز ک م، ک، قوسا، ز ب، م ح، تكون نسبة جيب قوس، ز ک، الى جيب قوس، ک ح، مؤلفة من جيب قوس، ز ب، الى جيب قوس، ب ى، و من نسبة قوس، م ک، الى جيب قوس م ح، و قوس، ز ک، مساولقوس، ز ب، فتصير نسبة جيب قوس، ى ب، الى جيب ح ل، كنسبة جيب قوس، م ى، الى جيب قوس، م ح، و قوس، ى ب، عرض‌البلد و قوس، ح ک، ارتفاع‌الشمس‌الوقتى و هما معلومان و تفاضل قوسى، م ى، م

قطرالدائرة تکون قوس ز ب، الدائر و یکون خط، ط ک، جیب نصف فضل‌النهار لأن قوس، ک ب، فضل‌النهار فان کان خط، د ک، اطول من جیب نصف فضل‌النهار اواقصر منه کما فی‌الصورة الاولی و الثانیة فان الدائر یکون معلوما و ذلک ان خط، د ک، معلوم کما قد تبین فیما تقدم، فط د، معلوم لأنه جیب نصف فضل‌النهار یصیر خط، ه ط، معلوما و هو جیب قوس، ز ک، و قوس ز ک، معلوم لأنها نصف فضل‌النهار فقوس، ز ب، معلوم و هی‌الدائر ان کان قیاسنا شرقیا و هو تمام‌الدائرة الی قوس‌النهار ان کان غربیا فان کان خط، د ه، مساویا لجیب نصف فضل‌النهار فان‌الدائر یکون حینئذ مساویا لنصف فضل‌النهار کما هو موجود فی‌الصورة الثالثة و هی هذه فان کانت‌الشمس فی‌البروج الجنوبیة فان قوس‌النهار لامحالة یکون اصغر من نصف‌الدائرة العظمی و بمثل لذلک الصورة الرابعة فیکون خط، ب ط، هو قطر الدائرة و قوس، ب ا ج، قوس‌النهار و خط، ا د، جیب‌النهار و خط، د ح، جیب نصف فضل‌النهار و قوس، ب ط، نصف فضل‌النهار، ز ب، و قوس‌الدائر فلان، د ه، معلوم لأنه مساولخط، ح ک، الذی علمناه و، د ح، معلوم لأنه جیب نصف فضل‌النهار یکون جمیع خط، ه ح، معلوما و هو جیب قوس، ز ط، فقوس، ز ط، معلومة و، ب ط، معلوم انه نصف فضل‌النهار، فزب، معلوم و هوالدائر اوتمام‌الدائر الی قوس‌النهار.

رسالة الدائر بحسب هذاالبرهان

نضرب جیب ارتفاع‌الشمس‌الوقتی فی جیب‌النهار فما اجتمع نقسمه علی جیب ارتفاع نصف‌النهار الیومی فما خرج من‌القسمة نحفظه فان کانت الشمس فی احدالاعتدالین فانا نقوس ما حفظناه فی جدول‌الجیب فما خرج من‌القوس فهوالدائر ان کان القیاس شرقیا و ان کانت‌الشمس فی‌البروج‌الشمالیة فانا ننظر الی ما حفظناه فان کان اکثر من جیب نصف فضل‌النهار و جعلنا ما بقی قوسا و زدناه علی فضل‌النهار فما اجتمع فهوالدائر ان کان القیاس شرقیا، و ان کان ما حفظنا اقل من جیب نصف فضل‌النهار اسقطناه من جیب نصف‌النهار و جعلنا ما بقی قوسا و القینا ذلک‌القوس من نصف‌النهار فما بقی فهوالدائر ان کان‌القیاس شرقیا و ان کان ما حفظناه مساویا لجیب نصف فضل‌النهار فان الدائر حینئذ تکون مساویا لنصف فضل‌النهار فان کانت الشمس فی‌البروج الجنوبیة فانا نرید ما حفظناه علی جیب نصف فضل‌النهار فما اجتمع قوسناه فی جدول‌الحیب فما خرج من‌القوس القیناه نصف فضل‌النهار فما بقی فهوالدائر ان کان‌القیاس شرقیا و فی جمیع ما تقدم ذکره ان کان‌القیاس غربیا فانا نسقط‌الدائر الذی حصل معنا و القیاس شرقی من قوس‌النهار فما بقی هوالدائر من‌الفلک منذ وقت طلوع‌الشمس الی وقت‌القیاس.

معرفة الدائر بالشکل‌القطاع

فتکن دائرة الافق دائرة ، ا ب ج د، و دائرة نصف‌النهار دائرة ، ا ه ج، و دائرة معدل‌النهار و دائرة ، ب ه د، و سمت‌الرأس نقطة ، ز، و لتکن‌الشمس فی احد الاعتدالین ولیکن موضعها نقطة ،

ط، فاقول ان عمود، ز ح، مساولجيب ارتفاع‌الشمس‌الوقتى. برهان ذلک ان نخرج من نقطة ، ز، عمود، ز ى، على سطح‌الافق فهو موازلخط، ح ط، لأن، ح ط، فى دائرة نصف‌النهار القائم على زوايا قائمة فهو عمود على سطح الافق و كل عمودين على سطح واحد فهما متوازيان و قد تبين ذلک اجمع فى‌المقالة الحادية عشر من كتاب اقليدس فى الاصول فكل واحدة من زوايتى، ط ى، قائمة لان الدائرة اليومية قائمة على سطح دائرة نصف‌النهار على زوايا قائمة و قد اخرج فى‌الدائرة اليومية خط، ز ح، عمود اعلى، ب ه، الفصل المشترک لهما يكون، ز ح، عمود اعلى، سطح دائرة نصف‌النهار فهو عمود على جميع‌الخطوط التى تخرج من نقطة ، ح، فى سطح دائرة نصف‌النهار - و قد تبين ذلک ايضا اجمع فى‌المقالة الحادية عشر من كتاب اقليدس فى‌الاصول فزاوية ، ز ح ط، ايضا قائمة فذو اربعة اضلاع، ز ح ط ى، قائمة الزوايا متوازى‌الاضلاع فاضلاعه، المتقابلة متساوية كما تبين فى‌المقالة الاولى من كتاب اقليدس فى‌الاصول فخط، ز ى، مساو لخط، ح ط، لكن خط، ز ى، هو جيب‌الارتفاع للشمس الوقتى فخط، ح ط، مساولجيب ارتفاع‌الشمس‌الوقتى و ذلک ما اردنا ان نبين.

و اذا قد تبين ذلک فانا نبين كيف نعلم مدار من‌الفلک على اختلاف وجوهه فلتكن دائرة الافق، دائرة ، ا د ب ج، و خط، ا ج، الفصل المشترک لدائرة نصف‌النهار و دائرة الافق و قوس، ج د، قوس نهار اليوم و الشمس على نقطة ، ز، و نخرج من نقطة ، ز، خط، ز ح، عمودا، على ه ح، الذى جيب‌النهار و نخرج من نقطة ، ح، خط ح ط، عمودا، على خط، ا ب، فيكون لما بينا خط، ح ط، ارتفاع‌الشمس‌الوقتى و نخرج من نقطة ، ه، عمود، ه ى، على خط، ا ب، فيكون، ه ى، جيب ارتفاع نصف‌النهار اليومى فمثلثا، ه ى ط، ح ط ى، متشابهان لان خط، ح ط، موازلخط، ه ى، قد بين ذلک اقليدس فى‌المقالة السادسة فتكون نسبة ، ب ه، الى، ه ى، كنسبة ، ح ط، الى، ح ى، و خط، ب ه، معلوم لأنه جيب ارتفاع نصف‌النهار اليومى و خط، ه ى، معلوم لانه جيب‌النهار و خط، ط ى، معلوم لانه جيب ارتفاع‌الشمس‌الوقتى ليكون خط، ح ى، ايضا معلوما و اذ قد علمنا خط، ح ى، فانا نبين اختلاف‌الوجوه‌الذى يقع فى‌الدائر بعد معرفة خط ح ى، فنجعل دائرة ، ا ب ج، الدائرة اليومية و قوس، ب، ا، ج قوس‌النهار و خط، ا ط، جيب‌النهار و خط، ر ه، مساويا‌الخط، ح، ط الذى علمناه والشمس على نقطة ، ز فالشمس فى يوم‌القياس ليس يخلو من ان تكون فى احد الاعتدالين او يكون مائلا عن الاعتدال فان قوس، ج ا ب، يكون نصف دائرة و خط، ز، ه، يكون جيب قوس، ز ب، الذى هو الدائرة لأن، ب ج، قطر الدائرة فان كان القياس شرقيا فان خط، ز ه، يكون جيب‌الدائر و ان كان‌القياس غيربا فان خط، ز ه، يكون جيب‌الدائر فان تمام‌الدائرة الى قوس‌النهار التى هى نصف‌الدائرة و قوس، ز ب، يكون‌الدائر فان كانت الشمس فى‌البروج الشمالية فان قوس‌النهار لامحالة يكون اعظم من نصف دائرة عظمى و نجعل لذلک مثالا آخر يتبين منه صحة ما نريده من اختلاف الاوضاع.

و ذلک بان نجعل دائرة ، فان تمام‌الدائرة الى قوس‌النهار التى هى نصف‌الدائرة ا ب ج، كما عملنا الدائرة اليومية و قوس، ب ا ج، قوس‌النهار و خط، ا ب، جيب‌النهار و خط، د ه، مساويا‌الخط، د ک، الذى علمنا آنفا و نقطة ، ى، موضع‌الشمس و نقطة ، ط، مركز‌الدائرة و خط، ک ط ى،

معرفة الدائر من‌الفلک

اذا کان قوس‌النهار و ارتفاع نصف‌النهار و ارتفاع‌الوقت معلومة بالرسالة المعرفة فترسم دائرة ، اب ج د، و نتوهمها دائرة الافق و نخرج قطره، اب، و نتوهمه الفصل المشترک لدائرة نصف‌النهار و دائرة الافق و نجعل قوس، ج ز د، قوس‌النهار فیکون خط، ج د، الفصل المشترک الدائرة الیومیة و دائرة الافق و نقسم، ج ر د، بنصفین علی نقطة ، ر، و نجعل نقطة ، ط، مرکزالشمس فیکون قوس، ط د، الدائر من‌الفلک و هوالذی نرید ان نعلمه و نصل، زه، فلان دائرة نصف‌النهار تقطع کل واحدة من دائرة الافق و الدائرة الیومیة علی زوایا قائمة فیکون خط، ز ه، عمود اعلی خط، ج د، و نخرج من نقطة ، ط، خط، ط ل، موازیا لخط، ر ه و نخرج من نقطتی، ز ط، خطی، ط م، ز س، عمودین علی سطح‌الافق و نصل، م ن، فلأن خط، ز ه، موازلخط، ط ل، و خط، ز س، موازلخط، ط م، لأنهما جمعیا عمودان سطح‌الافق ـ تکون زاویة ، ل ط م، مساویة لزاویة ، ه ز س، کما بین اقلیدس فی‌المقالة الحادیة عشر من‌الاصول، و زاویتا، م س، قائمتان یکون مثلث، ط م ل، شبیها بمثلث ز ه س، کما بین فی‌المقالة السادسةمن کتاب‌الاصول و لأجل ذلک تکون نسبة خط، ط م، الی خط، ط ل، کنسبة خط، س ز، الی خط ز ه، ولکن خط، ط م، معلوم لأنه جیب ارتفاع‌الشمس الوقتی و خط، ز س، معلومه لأنه جیب ارتفاع نصف‌النهار و خط، ه، معلوم لأنه جیب‌النهار یکون خط، ط ل، معلوماً. فیکون فصل ما بین، ط ل، و، زه، معلوما لأنهما جمیعا معلومان و هو خط، ز ع، لکن، ز ع، هو جیب قوس، ز ط، المعکوس فقوس ز ط، معلومة و قوس، ز د، معلومة لأنها نصف قوس‌النهار فقوس، ط س، معلومة و هوالدائر من‌الفلک منذ وقت طلوع‌الشمس الی وقت‌القیاس و ذلک ما اردنا ان نبین.

هذاالبرهان بحسب رسالة حبش و غیره من‌الحساب و هو ان نضرب جیب ارتفاع‌الوقت فی جیب‌النهار و نقسم ما اجتمع علی جیب ارتفاع نصف‌النهار فما خرج من‌القسمة القیناه من جیب‌النهار فما بقی جعلناه قوسا معکوسا و اسقطناه من نصف قوس‌النهار اذا کان قیاسنا قبل نصف‌النهار وزدناه علی فضل نصف‌النهار ان کان قیاسنا بعد نصف‌النهار فما بقی بعد ذلک او اجتمع فهوالدائر من‌الفلک.

معرفة ما مضی من‌النهار من ساعة بوجه احسن من‌الذی تقدم ذکره

ینبغی ان تقدم لهذاالبرهان مقدمة مستعان بها علی عمله و هی هذه.

اذا اخرج من مرکزالشمس عمود الی جیب‌النهار و اخرج من مسقط‌العمود الی الفصل المشترک دائرة نصف‌النهار و دائرة الافق فان ذلک العمود یکون مساویا لجیب ارتفاع الشمس‌الوقتی.

فلتکن قوس، اج، بین دائرة ، ا ب ج د، نصف دائرة نصف‌النهار الظاهر و قوس، ا د، نصف دائرة الافق یکون خط، ا ب، الفصل المشترک لدائرة نصف‌النهار و دائرة الافق ولیکن، ب ه، جیب‌النهار و مرکزالشمس نقطة ، ز، و لنخرج من نقطة ، ز، عمود، ز ح، و من نقطة ، ح، عمود، ح

Le texte d'Abu al-Wafa

رسالة ابى الوفا محمدبن محمدالبوزجانى الى ابى على احمدبن على‌بن‌السكر فى اقامة البرهان على‌الدائر من‌الفلک من قوس‌النهار و ارتفاع نصف‌النهار و ارتفاع‌الوقت

بسم‌الله الرحمن الرحيم

لولا ما انت عليه ايهاالفاضل، من شريف اخلاقک وكريم افعالک و محبتک للنظر فى هذه‌المعانى، من‌العلوم‌التعليمية ، لمّا سهل على‌الفكر فى شىء منه مع‌العلل‌المتواترة و تقسم‌القلب بالاسفارالدائمة و لكن محبتک للرياضيات و لما تعلم بالبرهان‌الهندسى مع ما يضاف‌اليه من اياديک القديمة و حقوقک الواجبة يحملنى على‌الفكر فيما هو اصعب من‌هذا و ابعد من‌الوهم منه وارجو ان‌الله يعينى على ذلک و يبلغنى المجاب فيما يؤثره ان شاءالله و به الثقة .

و قدكنا تجاربنا فى هذه‌الايام معانى من‌الهيئة فسمعتک تحكى عن قوم من افاضل وقتنا ان الدائر من‌الفلک ليس تعلم حقيقته و لايمكن ان يبرهن عليه و خاصة اذا كانت الشمس فى‌البروج الشمالية اوالجنوبية و ان الرسالة التى يعمل بهاالخاص و العالم المثبتة فى‌اكثر الزيجات و هى‌المنسوبة الى حبش‌بن‌عبدالله‌الحاسب، انمّا هى عن تقريب دون تحقيق. فعظم ذلک على و علمت ان‌الذى حملهم على هذه فى‌البرهان على‌الدائر من‌الفک.

هذاالكلام قلة رياضتهم فى‌الاصول‌الهندسية وان دربتهم فى‌الاشكال‌الكرية يسيرة فاقمت‌البرهان على تلک‌الرسالة و اوضحت‌البرهان على هذه‌المعانى بوجوه اخر و بينت اختلاف وجوه يقع فيه فان‌المعنى الثانى قديجوز ان يقال ان كثيرا من‌المتقدمين قد غلطوا فيه فاما معرفة ما مضى‌النهار من ساعة اعنى‌الدائر من‌الفلک منذ وقت طلوع‌الشمس الى وقت‌القياس. فانه يعلم من وجوه كثيرة . فان قوس‌النهار و ارتفاع نصف‌النهار و موضع‌الشمس و عرض‌البلدد وسعة المشرق اذا كان ارتفاع‌الوقت او سمت‌الوقت او جيب‌الطالع مع شىء من هذه‌المعانى معلومة . فان‌الدائر من‌الفلک يكون معلوما، ضرورة بالبرهان‌الهندسى الذى لايشوبه شى من‌الشكوک و كذلک يعلم كل واحد من‌المعانى الباقية ، اذا كان ثلاثة معانى اخر معلومة غيره ولو لااعلمه من ضيق‌الوقت لاوردت‌البرهان على جميعها فان‌الامر فى‌ذلک سهل و لست اشک انه سهل عليک اذا معنت الفكر فيما اوردته فى هذه‌الموضع.

مقدمات

فضل‌النهار: هو فضل ما بن قوس‌النهار و نصف‌الدائرة العطمى فى‌الكرة . جيب‌النهار: هو جيب قوس‌النهار معكوسا. جيب نصف‌النهار: هو فصل ما بين جيب‌النهار و الجيب‌العظم.

$$\sin\varphi = \frac{\sin \mathrm{a_t} \cdot \sin \mathrm{MY}}{-(\cos \mathrm{MY} \cos\delta - \sin \mathrm{MY} \sin\delta)}$$

$$\sin\varphi = \frac{\sin \mathrm{a_t}}{-\mathrm{cotg}\ \mathrm{MY} \cos\delta + \sin\delta}$$

$$\text{Donc : } \sin\varphi \cos\delta \mathrm{cotg}\ \mathrm{MY} = -\sin\varphi \sin\delta + \sin \mathrm{a_t}$$

et après avoir simplifié il obtient:

$$\mathrm{tgMY} = \frac{\sin\varphi \cos\delta}{\sin\varphi \sin\delta - \sin \mathrm{a_t}}$$

Abu al-Wafa après avoir déterminé ainsi l'arc MY applique pour la deuxième fois le théorème de Ménelaüs pour le triangle YTS et la sécante MLB et il écrit:

$$\frac{\sin \mathrm{SL}}{\sin \mathrm{TL}} = \frac{\sin \mathrm{SB}}{\sin \mathrm{YB}} \cdot \frac{\sin \mathrm{MY}}{\sin \mathrm{MT}}$$

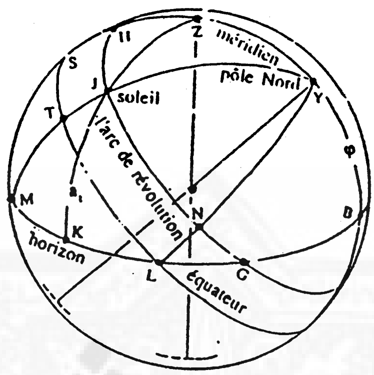
$$\text{ou : } \frac{\sin 90^\circ}{\sin \mathrm{TL}} = \frac{\sin(\varphi + 90^\circ)}{\sin\varphi)} \cdot \frac{\sin \mathrm{MY}}{\sin(\mathrm{MY} - 90^\circ)}$$

Puisque MY était déjà calculé dans cette relation TL est la seule inconnue que l'on peut déterminer en degré.

Mais l'arc TL est égal à l'arc JN. L'arc NG = e peut être facilement calculé en fonction de φ et δ. Or l'arc recherché JG est égal à JN+e.

Le calcul d'Abu al-Wafa s'arrête ici, mais après avoir obtenu l'arc JG en degrés, il faut encore le transformer en heures et minutes etc... afin de connaître l'heure exacte.

δ. Le texte d'Abu al-Wafa ne contient pas de figure, mais d'après ses indications très précises nous pouvons tracer la figure suivante:



Dans cette figure S est intersection du méridien passant par le zénith, avec l'équateur. TJ = δ est la déclinaison du soleil[6], et NG = e, est l'excès du méridien[7] (فضل نصف النهار)

Comme on le voit dans la figure, les côtés du triangle JZY rencontrent le cercle de l'horizon en M, K et B. Abu al-Wafa utilise le théorème de Ménélaüs que voici:

$$\frac{\sin \mathrm{ZK}}{\sin \mathrm{KJ}} = \frac{\sin \mathrm{ZB}}{\sin \mathrm{BY}} \cdot \frac{\sin \mathrm{MY}}{\sin \mathrm{MJ}}$$

ou encore:

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \mathrm{a_t}} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \varphi} \cdot \frac{\sin \mathrm{MY}}{\sin(\mathrm{MY} - 90^\circ + \delta)}$$

$$\text{Ce qui donne : } \frac{1}{\sin \mathrm{a_t}} = \frac{\sin \mathrm{MY}}{\sin \varphi \sin(\mathrm{MY} - 90^\circ + \delta)}$$

$$\sin \varphi = \frac{\sin \mathrm{a_t} \sin(\mathrm{MY})}{-\cos(\mathrm{MY} + \delta)}$$

6. La distance angulaire du point J à l'équateur céleste, mesurée par l'arc JT, est sa déclinaison. On la représente par la lettre δ.

7. L'excès du méridien pour un point de la sphère est la différence entre l'arc méridien du cercle parallèle à l'équateur et passant par ce point, et l'arc méridien de l'équateur.

D'autre part, nous avons:

$$\overline{\mathrm{TL}} = \overline{\mathrm{H'H}} = \overline{\mathrm{H'Z}} + \overline{\mathrm{ZH}} = \overline{\mathrm{ZH}} - \overline{\mathrm{ZH'}}$$

et comme $H'Z = r(1 - \cos h) = \text{vers}\ _r h$ nous pouvons écrire alors:

$$\text{vers}\ _{\mathrm{r}}\mathrm{h} - \mathrm{H'Z} = \mathrm{ZH} - \mathrm{H'H} = \text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta - \mathrm{TL}$$

$$\text{Donc : } \mathrm{TL} = \text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta - \text{vers}\ _{\mathrm{r}}\mathrm{h} \qquad (2)$$

En comparant (1) et (2) on obtient:

$$\text{vers}\ _{\mathrm{r}}\mathrm{h} = \text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta - \frac{\text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta \cdot \sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_t}}{\sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_m}}$$

$$\text{Donc : } \mathrm{h} = \text{arc vers}\ _{\mathrm{r}} \left(\text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta - \frac{\text{vers}\ _{\mathrm{r}}\theta \cdot \sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_t}}{\sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_m}} \right)$$

par conséquent, on peut calculer "h" c'est-à-dire l'arc d'horaire en fonction des arcs qui sont connus. La démonstration d'Abu al-Wafa s'arrête ici, mais pour connaître l'heure exacte il faut transformer l'arc "h" qui est en degrés en heures, minutes et secondes de temps. Il est d'ailleurs facile de se rappeler que:

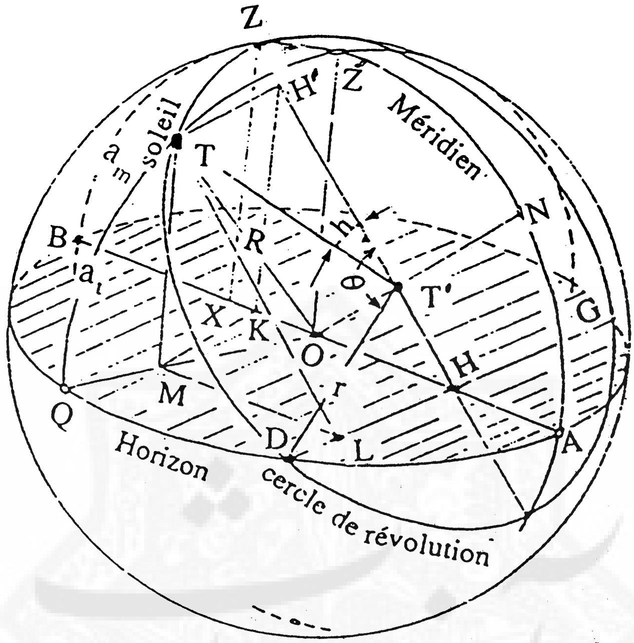
$$360° = 24 \text{ heures}$$
$$15° = 1 \text{ heure}$$
$$1° = 4 \text{ minutes}$$
$$1' = 4 \text{ secondes}$$

Etude d'un cas particulier

Abu al-Wafa après avoir ainsi démontré la formule de Habash dans le deuxième chapitre de son traité intitulé:

معرفة الدائر بالشكل القطاع a effectué une brève étude par le théorème de Ménélaus du cas particulier où la course du soleil est parallèle à l'équateur.

Il s'agit en effet de calculer l'angle horaire du soleil en fonction de la latitude locale φ, la longitude du soleil a_t et la déclinaison de celui-ci



Dans cette figure R et r sont respectivement le rayon de la sphère céleste et le rayon de l'arc de révolution.

De T nous traçons la perpendiculaire TM au plan de l'horizon. Nous traçons aussi la perpendiculaire TL à DG l'intersection de l'horizon avec le cercle de révolution.

De Z la position du soleil à midi nous traçons également la perpendiculaire ZH à DG. Et de T nous menons la perpendiculaire TH à ZH' puis de H' perpendiculaire H'K au plan de l'horizon.

Les triangles TML et ZHX sont semblables et nous avons:

$$\frac{\mathrm{TL}}{\mathrm{ZH}} = \frac{\mathrm{TM}}{\mathrm{ZX}} \Rightarrow = \frac{\mathrm{ZH.TM}}{\mathrm{ZX}}$$

Dans le triangle rectangle ZDH nous avons:

$$\mathrm{ZH} = \mathrm{r} + \mathrm{T'H} = \mathrm{r} + \mathrm{r}\cos(\pi - \theta) = \mathrm{r}(1 - \cos\theta) = \mathrm{vers}\ {}_{\mathrm{r}}\theta$$

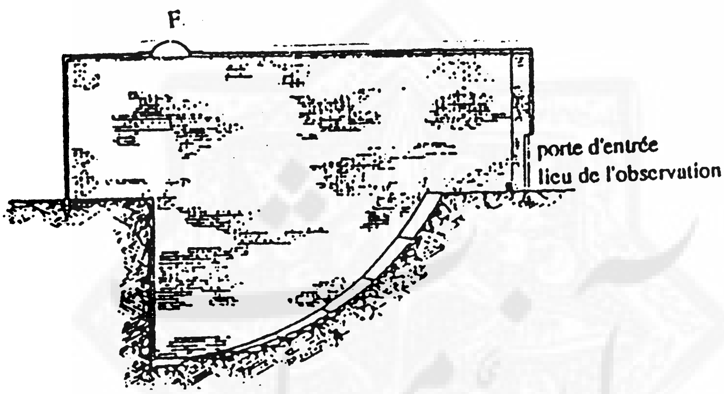
Donc:

$$\mathrm{TL} = \frac{\mathrm{vers}\ {}_{\mathrm{r}}\theta \cdot \sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_t}}{\sin_{\mathrm{R}} \mathrm{a_m}} \tag{1}$$

verticale du lieu TZ, de 0° à 90° de l'horizon vers le zénith Z

$$a_t = \text{arc } aA$$

Il faut signaler que les astronomes islamiques mesuraient l'arc a_t grâce à un instrucment appelé *sextant.* Al-Khojandi, astronome contemporain d'Abu al-Wafa en a d'ailleurs fabriqué un en le nommant "Sextant Fakhri" en l'honneur de roi Bouyide Fakhr al-Dawla[5].



Sextant Fakhri reconstitue à patir de la description de Khojandi par E. Wiedemann

La démonstration d'Abu al-Wafa

Supposons ABD le grand cercle de l'horizon et soit le diamètre AB son intersection avec le grand cercle du méridien.

Pour un observateur situé au point O le milieu de AB, le point Z' sur le grand cercle du méridien sera le zénith.

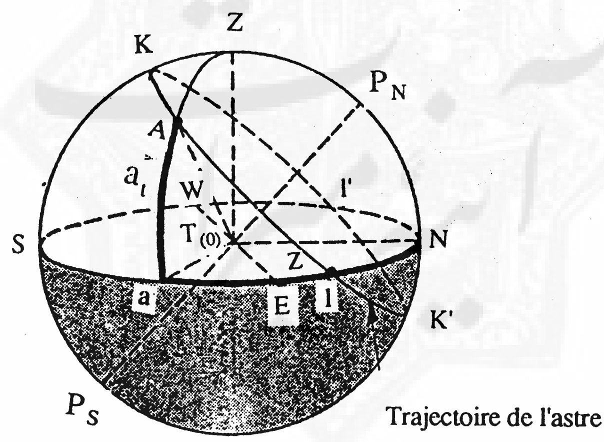
Soit T la position du soleil au moment de l'observation. DT sera alors l'arc de révolution où la trajectoire du soleil qui s'est levé en D.

5. Comme on le voit dans la figure, cet instrument fonctionnait comme une chambre noire. Il se composait d'une ouverture F, placée verticalement dans la direction du méridien du lieu et d'un arc de 60 degrés. A midi, les rayons du soleil passaient par F, formant sur la concavité du sextant une image circulaire. Celle-ci permettait aux astronomes de calculer la hauteur du soleil.
Sur cet instrument voir: E. WIEDEMANN, "Über den Sextant des al-Chogendi" *Archiv. für Gesch. der Naturwiss. und der Technik,* 2 (1910) pp. 149-51.

Terre schématisée par un point T placé au centre de la sphère céleste. Le point O sera confondu avec T sur la figure, mais sa position sur la Terre restera cependant précisée par la verticale TZ.

2° - Mouvement apparent des astres:

La sphère céleste, dont nous avons parlé est donc coupée en deux par le plan horizontal SN, et seuls les astres situés au dessus de ce plan sont visibles pour l'observateur placé en O, confondu avec T sur la figure. Les astres apparaissent à l'Est, semblent s'élever dans le ciel en décrivant sur la sphère céleste un cercle jusqu'au méridien du lieu et redescendre ensuite de la même façon pour disparaître à l'horizon du côté de l'Ouest. Tel est le cas de l'astre A qui se lève en 1, passe au méridien en K et se couchhe en 1'.



sphère céleste

3° - Coordonnées horizontales de l'astre A

Azimut Z:

Il est est compté dans le plan horizontal, de 0° à 360° à partir du Nord vers l'Est

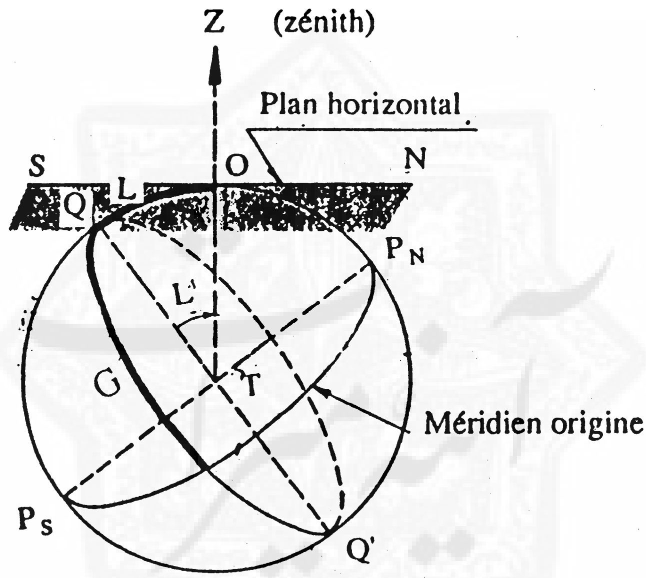
$$Z = \text{arc Na}$$

Hauteur a_t:

Elle est comptée sur le grand cercle qui contient à la fois l'astre et la deux sphères étant concentriques, le problème ne paraît pas à première vue très difficile.

1° - Les coordonnées d'un observateur situé sur la Terre

La figure suivante représente la Terre, avec la "ligne des pôles" $P_N - P_S$. Le plan passant par Q Q' et par le centre T et perpendiculaire à la ligne du pôle s'appelle "l'Equateur".



La Terre

Un point O de la Terre est défini par:

- sa latitude L (ou φ) comptée de 0° à 90° de l'Equateur vers le Pôle Nord, ou de 0° à 90° vers le Pôle Sud.

- sa longitude G, comptée de 0° à 180° vers l'Ouest, ou vers l'Est, à partir du méridien origine.

- la ligne TO prolongée est la verticacle du lieu O; elle perce la sphère céleste en un point Z, appelé "zénith".

- le plan SN perpendiculaire en O à la verticale limite sur la sphère céleste l'horizon du lieu O. Dans ce plan horizontal, le Nord se trouve dans la direction exacte du Pôle Nord.

Etant donné la faiblesse du rayon de la Terre comparativement à sa distance aux étoiles ou au soleil, on suppose, dans ce qui va suivre, la

Dans cette formule on trouve aussi une ligne trigonométrique que les mathématiciens islamiques appelaient "Jaibe al-Mankus" ou "sinus verse"[1]. Le sinus verse d'une arc θ se symbolise par vers θ.

Dans le cercle trigonométrique au rayon unité nous avons toujours la relation suivante:

$$\boxed{\text{vers}\,\theta = 1 - \cos\theta}$$

La formule de Habash est équivalente à celle que l'on trouve dans *Khandakhadyaka* du mathématicien indien Brahmagupta. Abu al-Wafa dans, un petit traité intitulé:

فی اقامة البرهان علی الدائر من الفلک من قوس النهار و ارتفاع نصف النهار و ارتفاع الوقت

après avoir énoncé la formula de Habash[2] a démontré mathématiquement son exactitude.

Ce traité a été publié en 1948 à Haydarabad[3]. En 1960 N. Nadir a effectué une étude sur ce traité[4]. Dans cet article nous étudions la démonstration d'Abu al-Wafa.

Avant d'étudier la démonstration d'Abu al-Wafa quelques remarques préliminaires sont nécessaires.

Remarques préliminaires

Pour mesurer l'heure locale d'une ville, il faul tout d'abord chercher les points, ou lignes repères qui permettent d'établir une correspondance entre les coordonnées d'un observateur situé sur la sphère terrestre. Ces

---

1. "sinus verse" existait jusqu'au XVIII siècle en Europe, car on le trouve dans le *Cours de mathématique* de Bézout, 2ème partic 1798, p. 214.

2. Abu al-Wafa présente ainsi la fonction de Habash:
نضرب جیب ارتفاع الوقت فی جیب النهار و نقسم ما اجتمع علی جیب ارتفاع نصف النهار فما خرج من القسمة القیناه من جیب النهار فما بقیا جعلناه قوسا معکوسا و اسقطناه من نصف قوس النهار اذا کان قیاسنا قبل نصف النهار و زدناه علی فضل نصف النهار ان کان قیاسنا بعد نصف النهار فما بقی بعد ذلک او اجتمع فهو الدائر من الفلک.
C'est à dire: "Nous multiplions le sinus du méridien (vers θ) par le sinus de l'altitude du soleil au moment de l'observation (sin a_t) et nous divisons le résultat par le sinus de l'altitude du soleil à midi (sin a_m). Ce qui sort de cette division sera retranché du sinus du méridien (vers θ). Le résultat sera le sinus vers du temps recherché (Vers h). Nous le retranchons de la moitié de l'excès du méridien si nous faisons notre mesure avant midi et nous le rajoutons à celui-ci si nous faisons la mesure après midi.

3. *Rasa'il al-mutaqaddimin wa muâsiri al-Biruni*, Haydarabad, 1948.

4. N. NADIR, "Abu al-Wafa' on the solar altitude", *The Mathematics Teacher*, 53 (1960) pp. 460-3.

La méthode d'Abû al-Wafa pour la détermination du temps

Jafar Aghayani-Chavoshi
Epistémologue et historien des sciences
Université Technologique de Sharif
Teheran, Iran

Aujourd'hui on mesure le temps grâce aux "horloges" de divers types, alors que dans l'Antiquité et au Moyen-ège la mesure du temps reposait sur les mouvements du soleil et des étoiles. En effet, pour connaître l'heure pendant la nuit les astronomes anciens utilisaient une méthode basée sur l'observation de la hauteur d'une étoile connue, prise au moment où elle varie rapidement. Ils appliquaient également cette méthode pendant le jour quand ils connaissaient la position du soleil.

La méthode des hauteurs, déjà connue des astronomes grecs de l'Antiquité a été perfectionnée par les astronomes islamiques.

La première formule exacte apppartient à Habash al- Haseb, grand astronome iranien du IXème siècle.

La formule de Habash dans le langage mathématique moderne est la suivante:

$$\text{vers h} = \text{vers}\,\theta - \frac{\sin a_t \,\text{vers}\,\theta}{\sin a_m}$$

où θ = le méridien

a_t = l'altitude du soleil au moment de l'observation

h = l'angle horaire

a_m = l'altitude du soleil à midi

Ayene-ye Miraf, vol.5, no.4 (no.20), pp. 97-112

Both al-Kāshī and Van Ceulen are connected to the World Mathematics Year 2000. Van Ceulen's determination of π in 35 decimals was not published during his life, but at his wish it was engraved on his tomb in a church in Leiden in Holland, when he died in 1615. Sometime during the nineteenth century, the tombstone disappeared as a result of building activities in the church. Fortunately, a drawing of the inscription on the tombstone was preserved in an 18-th century English travel guide (see Figure 11). On the occasion of the World Mathematics Year 2000, the Dutch Mathematical Society has reconstructed the tombstone and reinstalled it in the church on July 6,2000, in a ceremony at which the Crown Prince of Holland was present, and at which Professor Henk Bos of Utrecht gave a historical introductions[19]. It is equally appropriate that the University of Kashan has decided to honour al-Kāshī in the world mathematics year 2000. Al-Kāshī and Van Ceulen show that mathematicians if different cultures can do outstanding work and reach similar results. Their work symbolizes the unity of mathematics.

19. Henk J.M. Bos, De cirkel gedeeld, de omtrek becijferd en pi gebeiteld: Ludolph van Ceulen en de uitdaging van de wiskunde [The Circle Divided, the Circumference Computed, and Pi Engraved: Ludolph van Ceulen and the Challenge of Mathematics], *Nieuw Archief voor Wiskunde*, 5. Series. **1** (Sept. 2000), pp. 259-262.

n-gons in a circle with radius 1 in van Ceulen's work. The same polygons were also considered by al-Kāshī. By doubling Van Ceulen's last number 402,653,184 we obtain the number of sides of the final polygon of al-Kāshī: $3.2^{28} = 805,306,368$.

Figure 10 shows Van Ceulen's computation of the side of a 3.2^{31}-gon. From the fourth to the twenty-eighth step, the computations of al-Kāshī and Van Ceulen are equivalent.

Al-Kāshī computed for $n = 3, 6, 12, 24, 48, \cdots, 3.2^{28}$ the quantity c_n with

$$c_n = 120 \cos \frac{180}{n}, c_{2n} = \sqrt{60(120 + c_n)}$$

Van Ceulen computed for $n = 24, 48, \cdots 3.2^{31}$ the quantity $\tilde{c}_n$ with

$$\tilde{c}_n = 2 \cos \frac{180}{n}, \tilde{c}_n = \sqrt{2 + \tilde{c}_n}$$

Of course $c_n = 60\tilde{c}_n$.

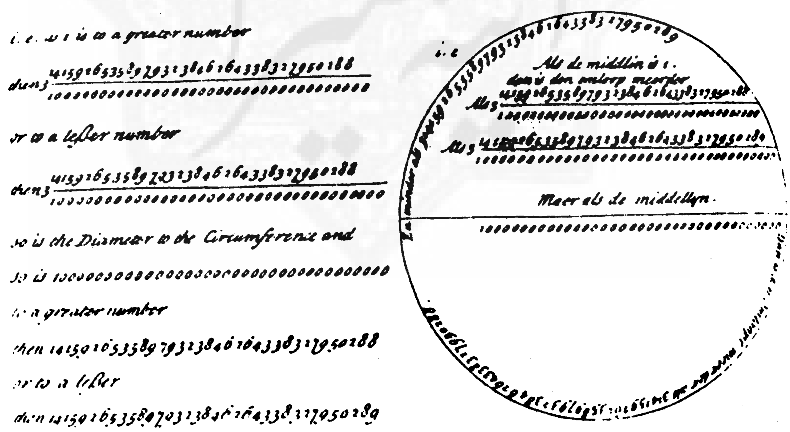
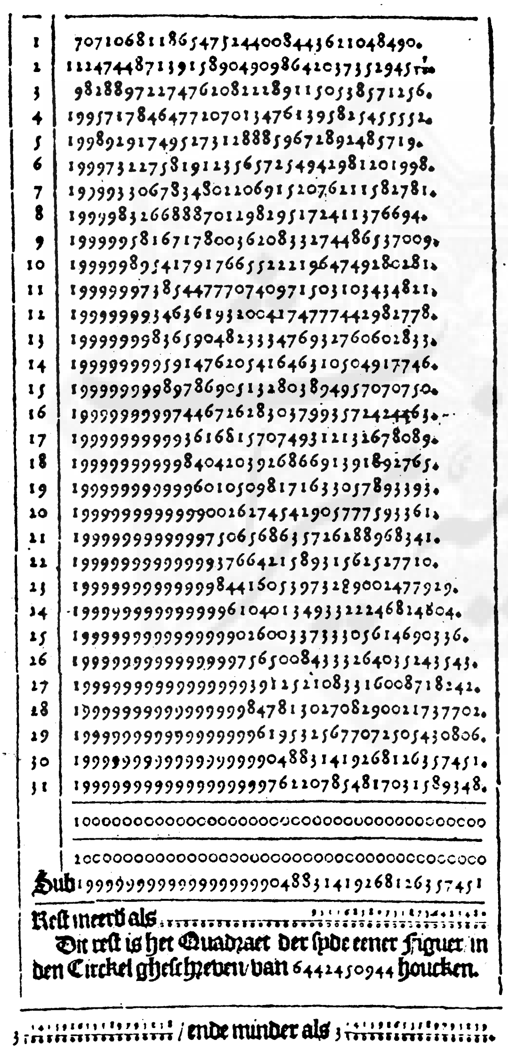


Figure 11. The inscription on Van Ceulen's tomb in a 18-th century travel guide.[18]

18. Reproduced from R.M. Th. Oomes, J.J.T.M. Tersteeg, J. Top, Het grafschrift van Ludolph van Ceulen [The inscription on the Tomb of Ludolph van Ceulen], *Nieuw Archief voor Wiskunde* 5e serie, 1 (2000), *p. 159.*



1	7071067811865475244008443621048490.
2	11224744871139158904909864203735294510.
3	9828897227476208222891150338571256.
4	19957178464772070134761395825455552.
5	1998929174952731288859672892485719.
6	19997322758191235657254942981201998.
7	199993306783480220691520762111582781.
8	1999983266888701298295172411376694.
9	19999958167178003620833274486537009.
10	19999989541791766552221964749280281.
11	199999997385447770740971503103434821.
12	1999999993463619320041747777442982778.
13	199999999836590482333476932760602833.
14	199999999959147620541646310504917746.
15	199999999989786905132803894957070750.
16	199999999997446726283037993572424463.
17	199999999999361681570749312132678089.
18	199999999999840420392686691391892765.
19	199999999999960105098171633057893393.
20	199999999999990026274542905777593361.
21	199999999999997506568635726288968341.
22	199999999999999376642158931562527710.
23	19999999999999984416053973289002477929.
24	19999999999999999610401349332224682480 4.
25	199999999999999990260033733305614690336.
26	1999999999999999975650084333264035243543.
27	1999999999999999999391252108331600871824 2.
28	19999999999999999998478130270829002173770 2.
29	199999999999999999996195325677072505430806.
30	199999999999999999999048831419268126357451.
31	199999999999999999999976220785481703158934 8.
	1000000000000000000000000000000000000000000
	2000000000000000000000000000000000000000000

Sub 199999999999999999999904883141926812635745 1

Rest meerdan als [illegible]

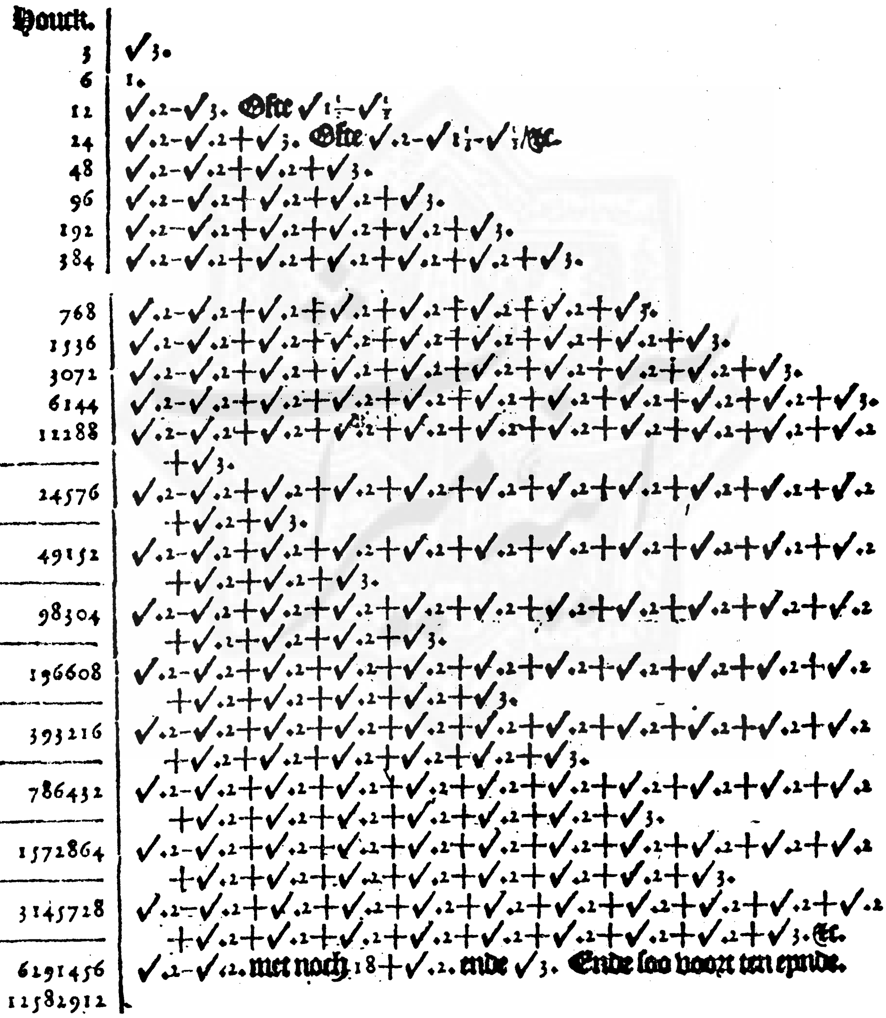
Dit rest is het Quadraet der syde eener Figuer in den Circkel gheschreven/ van 6442450944 houcken.

3 [illegible] / ende minder als 3 [illegible].

Figure 10. Van Ceulen's computation of the side of a 3.2^{31}-gon.

explained the computation of the side of a 360-gon through the numerical solution of a cubic equation.

Unlike al-Kāshī, van Ceulen performed all his computations relating to π in the decimal system, and he chose a circle with radius 1. Van Ceulen also used the algebraical notation which had been developed in Renaissance Europe. Figure 9 displays a list of sides of inscribed regular



Hoeck.	
3	√3.
6	1.
12	√.2-√3. Ofte √1½-√½
24	√.2-√.2+√3. Ofte √.2-√1½-√½&c.
48	√.2-√.2+√.2+√3.
96	√.2-√.2+√.2+√.2+√3.
192	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
384	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
768	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
1536	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
3072	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
6144	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
12288	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√3.
24576	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√3.
49152	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√3.
98304	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√3.
196608	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
393216	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
786432	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
1572864	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3.
3145728	√.2-√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2 +√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√.2+√3. &c.
6291456	√.2-√.2. met noch 18+√.2. ende √3. Ende soo voort ten eynde.
12582912	

Figure 9. Algebraic expressions for sides of polygons.

mals. In his final π-computation in[16], Van Ceulen used a 64,424,509,440= 15.2^{32}-gon to obtain π in 20 decimals.

Van Ceulen's approximation of π became known in Iran one century after his death. The Iranian author Muḥammad Bāqir Yazdī, says around 1100 H./A.D. 1700 in a passage cited by Professor Qurbānī[17] that some mathematician from Europe showed that if the diameter of the circle is an 1 with 11 zeros, the circumference is 314 159 265 481. I have been unable to identify the author of this approximation. Muḥammad Bāqir Yazdī then says that someone else found by a more accurate computation: if the diameter is 1 with 20 zeroes, the circumference is between 314 159 265 358 979 323 847 and ... 846. This "someone else" is probably Van Ceulen, because the approximation is expressed in the same way in his work and even on the front page (Figure 8). Professor Qurbānī considers this transmission from Europe to the Islamic world as the event which defines the end of the medieval Islamic period in mathematics [14, p.4].

The fact that Van Ceulen's work in similar to the work of al-Kāshī does not imply that Van Ceulen knew al-Kāshī's work. Van Ceulen was working in a period in which there was much interest in π in Western Europe. Some ignorant European scholars claimed that they had found the quadrature of the circle, and hence an exact value of π. Van Ceulen and his colleagues spent much time in refuting these allegations, and thus they found more and more decimals of π. Al-Kāshī, however, was not in such a fortunate situation. As far as we know, none of his colleagues were working on the same problem. In the Islamic tradition before al-Kāshī, very little attention had been paid to the determination of π. The only values of π that had been found were by products of computations of the sine of one half or one-quarter of a degree. These earlier computations involved a regular polygon of at most 720 sides. In the determination of π, and in comutational mathematics as a whole, al-Kāshī was a pioneer.

Van Ceulen's work is longer than that of al-Kāshī and devoted to a wider range of subjects. Unlike al-Kāshī, van Ceulen also deals with the computation of sides of regular polygons in general by means of the solution of algebraic equations. Al-Kāshī does not discuss this subject in his "encompassing letter", although it certainly interested him, for in his "Letter on the chord and the sine" *Risāla fi'l-watar wa'l-jaib* he

16. Van Ceulen 1596 *op. cit.* 14.

17. Abu'l-Qāsem Qorbānī, *Zendegināmeh-ye Riyāẓidānān-i dawre-ye Islāmī*, Tehran 1995, p. 5.

π can used the series

$$\frac{\pi}{6} = \arctan\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.(1 - \frac{1}{3.3} + \frac{1}{5.3^2}\cdots)$$

Soon afterwards, Machin used the more efficient relation

$$\frac{\pi}{4} = 4\arctan\frac{1}{5} - \arctan\frac{1}{239} = 4.(\frac{1}{4} - \frac{1}{3.5^3} + \frac{1}{5.5^5}\cdots) - (\frac{1}{239} - \frac{1}{3.239^3} + \frac{1}{5.239^5}\cdots)$$

By these and similar formulas, European mathematicians were able to find the first 500 decimals of π correctly. Further progress was made after the second world war by means of desk calculators and computers. Faster algorithms have also been found in recent years. To date, more than 200,000 million decimals of π are known. These computations have little practical value, but are of theoretical interest in connection with the statistic distribution of the decimals.

In the third part of this paper I would like to briefly compare al-Kāshī's "encompassing letter" with the work by Ludolph van Ceulen in which he determined π to 20 decimals, because of the interesting parallels between these two works, Van Ceulen's wrote his work in the Dutch language and he called it "Van den Cirkel", meaning "about the circle." the work was published in Delft in Holland in 1596. The front page (Figure 8)[15] displays a portrait of Van Ceulen and a circle with diameter an 1 with 20 zeros. Inside the circumference it is stated that the number 3 14159 26535 89793 23846 is shorter (than the circumference) and 3 14159 26535 89793 23847 is longer (than the circumference). The text under the circle concerns a problem in financial mathematics, which is of no interest to us here.

By transforming the number $\tilde{c}_n$ of Van Ceulen into the sexagesimal system, we obtain the number c_n in al-Kāshī's computation. The multiplication by 60 causes a shift of one position in the sexagesimal system. Thus on line 28, van Ceulen's number 1 99999 99999 99999 98478 13027 08290 02173 7702 corresponds in the sexagesimal system to the number 1; 59, 59 59 59 59 59 59 59 59 50 47 52 12 30 48 37 49 54 40 ..., Al-Kāshī abtains 1 59; 59 59 59 59 59 59 59 50 47 52 12 30 48 37 49 54 40 ... at the end of his 28th computation. (The conversion of van Ceulen's number produces four more sexagesimals which have not been mentioned here.)

Because van Ceulen carried the computation three steps further (to a 3.2^{31}-gon), and because he used 39 decimals, he obtained π in 18 deci-

15. Ludolph van Ceulen, *Vanden Cirkel* [On the Circle], Delft: Jan Andriesz, 1596.

Table 2 is a list of mathematicians (not all "world-record holders") who approximated π in this way, with the polygons they used. In 1593, another Dutch mathematician, Adriaan van Roomen, approximated π in 15 decimals with an inscribed 251 658,240 = 15.2^{24}-gon, so he just failed to break al-Kāshī's world record. Van Rooman was ofcourse unaware of al-Kāshī's work. In some cases we know the result but not the computation so it is not possible to say precisely what polygons were used. The error in the approximation by polygons can be estimated by Taylor series.[13] If π is approximated by the average of the circumscribed and inscribed regular n-gon, the error is proportional to n^{-2}.

If π is to be approximated to k decimals by means of this method, it can be shown that the computations should be done in at least $2k$ decimals. Ludolph van Ceulen was the last world-record holder who used this simple method. To obtain 35 decimals of π, he must have used a regular polygon with more than 10^{18} sides, and perform the computations in more than 70 decimals (the computations themselves are lost). We know that Van Ceulen did the computations with the help of a pupil. The computation of 35 decimals of π by this method must have been too much for one man.

Further progress was made when it was discovered that the inscribed and circumscribed polygons can be used in a more efficient way. For example, if 2π is approximated by one-third of the circumference of the circumscribed polygon plus two-thirds of the circumference of the inscribed polygon, one can show that[14] the error is proportional to n^{-4}. In 1621, the Dutch mathematician Willibrord Snel found a sophisticated approximation method with this property. Similar methods were used by the Austrian mathematician Grimberger and also by the Japanese mathematician Takebe, who unaware of the work that had been done in Greece, the Islamic world and Europe.

The third period in π-approximations begins after the discovery of the Taylor series for the arctangent of x Europe. By means of this series,

---

13. Let $p(n), P(n)$ be the circumferences of an inscribed and circumscribed regular n-gon in a circle with radius 1. Then
$2n \sin \frac{\pi}{n} = p(n) < 2\pi < P(n) = 2n \tan \frac{\pi}{n}$
Using the Taylor series $\sin x = x - \frac{1}{3!}x^3 + \frac{1}{5!}x^5 \cdots$ and $\tan x = x - \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 \cdots$ we obtain $n \sin \frac{\pi}{n} \approx \pi - \frac{\pi^3}{6n^2} + \frac{\pi^5}{120n^4}$ and $n \tan \frac{\pi}{n} \approx \pi + \frac{\pi^3}{3n^2} + \frac{2\pi^5}{15n^4}$ if $n \to \infty$. If 2π is approximated by $\frac{1}{2}p(n) + \frac{1}{2}P(n)$, the error is approximately $\frac{\pi^3}{3n^2} \approx \frac{10}{n^2}$.

14. By the same Taylor series as in the previous footnote, $\frac{2}{3}p(n) + \frac{1}{3}P(n) - 2\pi \approx \frac{\pi^5}{10n^4} \approx \frac{30}{n^4}$.

TABLE 2

Approximations of π by Regular Polygons.

Date	author	approximation	sides of polygon
250 BC	Archimedes	$3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$	$96 = 3.2^4$
150 AD	Ptolemy	3 8' 30" = 3.1466...	360
230	Liu Hui	3.14	96, 192
450	India	3.1416	lost
480	Zu Chongzhi	$3.14159\ 26 < \pi < 3.14159\ 27$	lost
980	Bûzjānī	lost	720
1035	Bīrûnī	3 8' 30" 17"'=3.1417...	180
1300	Zhao Youqin	$3.14159\ 26 < \pi < 3.14159\ 27$	$16,384 = 2^{14}$
1423	Kāshī	2π in 9 sexagesimals	$805,305,368 = 3.2^{28}$
1579	Viète	3.14159 26536	$393,216 = 3.2^{17}$
1593	van Roomen	3.14159 26535 897931	$251,658,240 = 15.2^{24}$
1596	van Ceulen	12 decimals	$10,485,760 = 10.2^{20}$
1596		16	$1,073,741,824 = 2^{30}$
1596		18	$6,442,450,944 = 3.2^{31}$
1596		20	$64,424,509,440 = 15.2^{32}$
1615	van Ceulen and pupil	35	lost
1621	Snel	34	2^{30} error $\sim n^{-4}$
1630	Grimberger	38	error $\sim n^{-4}$
1722	Takebe	41	error $\sim n^{-4}$

TABLE 1 continued)

Date	Author(s)	Place	Decimal places
		3. Taylor series (arctan x)	
1699	A. Sharp	England	71
1706	Machin	England	100
1719	Fautet de Lagny	France	113
1794	Vege	Austria	136
1795?	Anonymous	England	152
1844	Zacharias Dahse	Germany	200
1847	Clausen	Germany	248
1853	Rutherford	England	440
1853	W. Shanks	England	(607 (ca. 527 correct)
1873	W. Shanks	England	707 (527 correct)
1948	Ferguson & Wrench*	England/USA	808
	(* a desk calculator was used)		
		4. Automatic computers	
1949	Eniac	USA	2035
...			...
1973	Guilloud, Bouyer	Paris	10^6
...			...
1989	Chudnovsky brothers	New York	10^9
...			...
1999	Kanada	Japan	2.10^{11}

Of course, the holders of these "world records" need not have been aware of the work of their predecessors. Al-Kāshī was unaware of the work of Zu Chongzshi, who, in turn, was unaware of the work of Ptolemy and Archimedes, and Van Ceulen did not know al-Kāshī's work.

The history of π-determinations can be divided into four periods. In the first period, the Babylonian and Egyptian mathematicians approximated π by intuitive methods.[12]

In the second period, the mathematicians used inscribed and circumscribed polygons for the approximation of π.

12. These mathematicians knew the equivalent of the facts that the circumference and area of the circle with radius R are $2\pi_1 R$ and $\pi_2 R^2$, for some constants π_1 and π_2. They may not even have known that π_1 and π_2 are the same. This was proved by Archimedes, who also expressed the surface area and volume of a sphere in terms of π.

TABLE 1

Approximations of π: World Records, Decimal Places.

Date	author	place	approximation	decimal places (correct)
			1. Primitive methods	
2000 BC		Egypt	$(\frac{16}{9})^2 \approx 3.1604$	1
2000 BC		Babylon	$3\frac{1}{8}$	1
			2. Inscribed and circumscribed polygons	
250 BC	Archimedes	S. Italy	$3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$	2
150 AD	Ptolemy	Egypt	$3\ 8'\ 30''(= 3 + \frac{8}{60} + \frac{30}{3600})$	3
450?	?	India	$2\pi = \frac{62832}{20000}\ \pi = 3.1416$	4
480	Zu Chongzhi	China	$3.1415926 < \pi < 3.1415927$	7
1424	Kāshī	Iran	2π in 9 sexagesimals	16-17
1596	van Ceulen	Holland		20
1615	van Ceulen	Holland		35
1630	Grimberger	Rome		38
(1722)	(Takebe)	(Japan)		(41)

Figure 8. Front page of Ludolf Van Ceulen, Van den Cirkel.

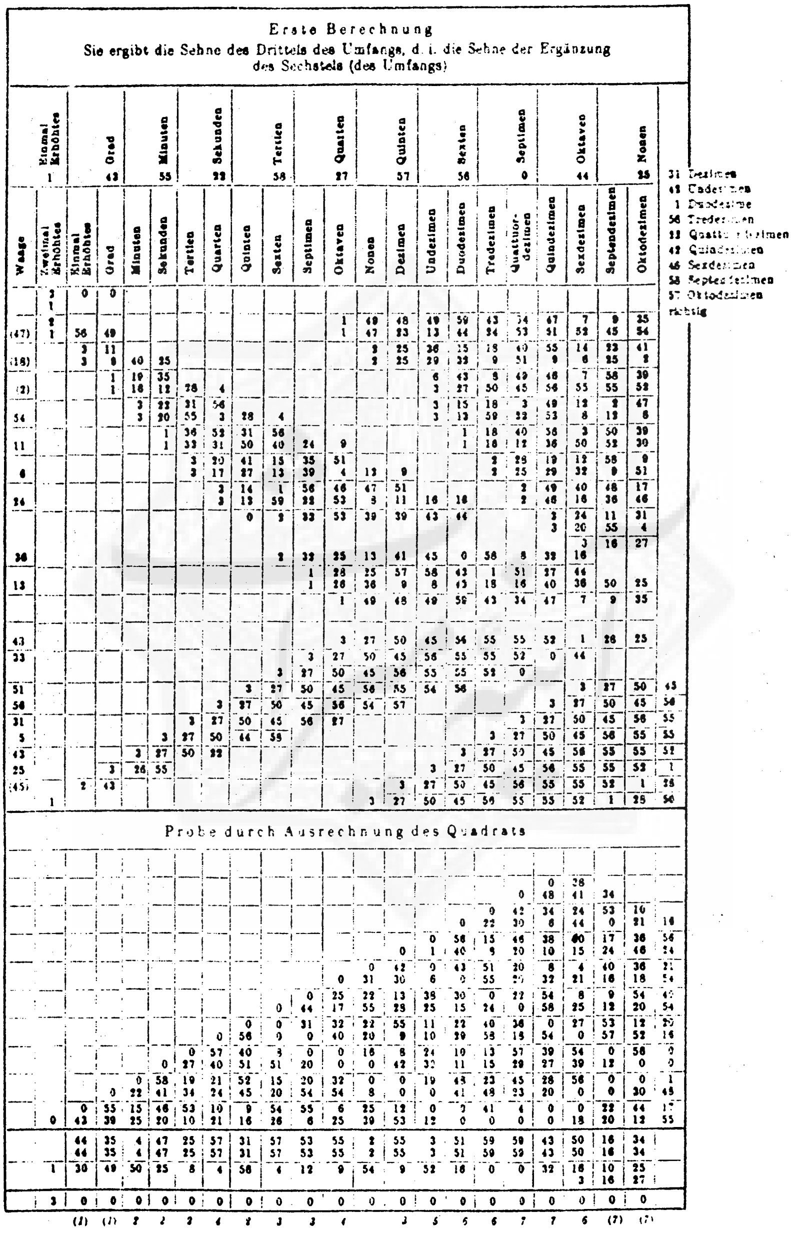


Figure 7. is the transcription of this computation by Luckey.

By means of 27 further computations of this type, al-Kāshī found $c_{3.2^{28}}$. He then determined the circumference of the inscribed 3.2^{28}-gon as

$$3.2^{28} \times \sqrt{120^2 - c^2_{3.2^{28}}}$$

He then deduced circumference of the circumscribed polygon by an easy method. In this way he found upper and lower bounds for the circumference of the circle with radius 60. These correspond to the following upper and lower bounds for 2π:

$$2\pi < 6; 16, 59, 28, 1, 34, 51, 46, 14, 50, 15$$
$$2\pi > 6; 16, 59, 28, 1, 34, 51, 46, 14, 49, 45$$

(here 6; 16, 59 ... means $6 + \frac{16}{60} + \frac{59}{60^2} \cdots$).

Initially, al-Kāshī found 46 as the last sexagesimal of the lower bound, but he then estimated the next sexagesimal place in all his computations, and then corrected 46 to 45.

Al-Kāshī chose for 2π the average value 6;16,59,28,1,34,51,46,14,50, and converted this number into the decimal system of fractions. As we have seen above, he indicated only 16 decimals; but following Luckey [10, p. 67], there is more to be said: if one uses two decimals more, al-Kāshī's upper and lower bounds of 2π are equivalent to

$$3.14159\ 26535\ 89793\ 230 < \pi < 3.14159\ 26535\ 89793\ 254.$$

The rounded average value $\pi = 3.14159\ 26535\ 89793\ 24$ is correct to 17 decimals.

A-Kāshī presented some tables for multiples of 2π, and he concluded his letter by a discussion of the errors in determinations of π by the earlier mathematicians al-Bûzjānī (328/940 - ca. 388/998) and al-Bīrûnī (362/972 - 440/1048). These mathematicians had found rather inaccurate π-approximations as by-product of their study of trigonometrical tables; see Table 2 below.

In order to situate the work of al-Kāshī in the context of the world history of mathematics, I have compiled a list of "world records" in determination of decimal places of π (Table 1).

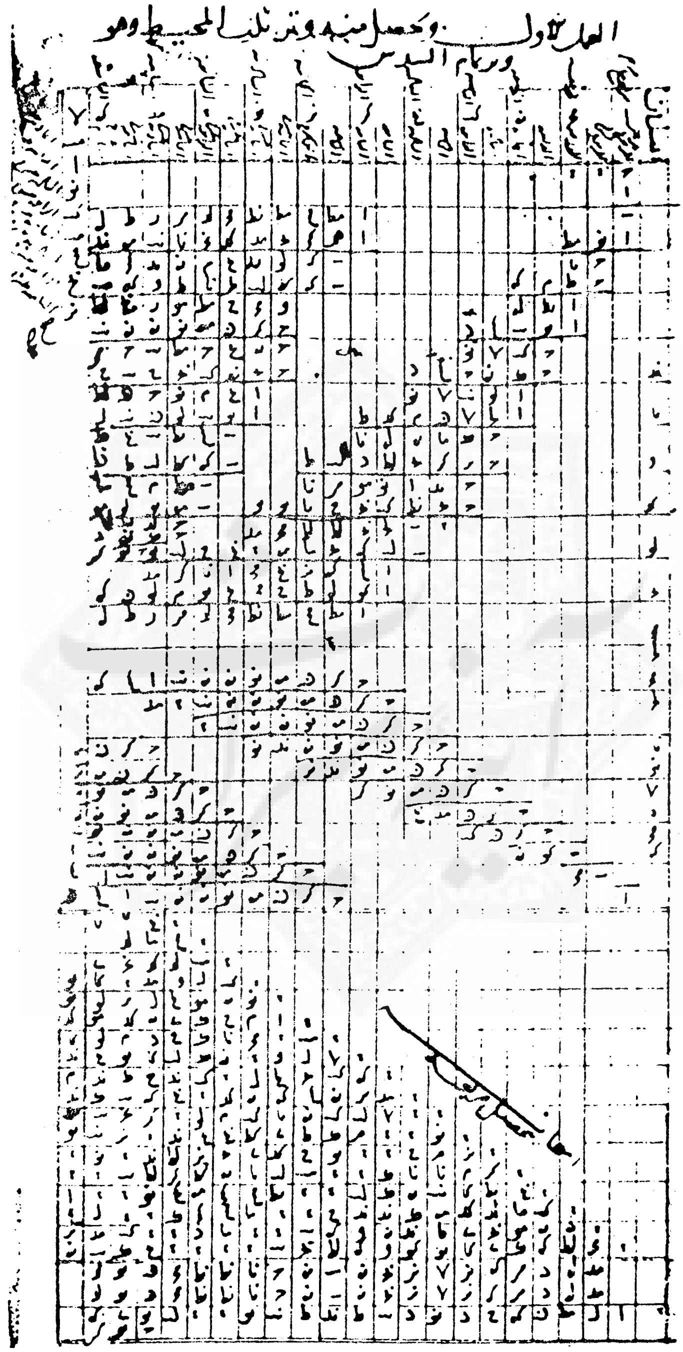


Figure 6. Figure on fol. 11 of the Meshed manuscript of al-Kāshī's letter.

In his computation, al-Kāshī simplified Archimedes' procedure to a remarkabe extent. His basic idea is as follows in modern terms. In a circle with radius 60, the side of the inscribed and circumscribed n-gons are given by the formulas.

$$120 \sin \frac{180}{n}, 120 \tan \frac{180}{n}$$

Al-Kāshī showed that it is easier to first compute, for $n = 3, 6, 12, \cdots, 3.2^{28}$,

$$c_n = 120 \cos \frac{180}{n}$$

These quantities are related by the simple relation

$$c_{2n} = \sqrt{60(120 + c_n)}$$

equivalent to the modern formula

$$(2 \cos \frac{\alpha}{2})^2 = (2 + 2 \cos \alpha)$$

Thus al-Kāshī computed, in modern notation:

$$c_3 = 60\sqrt{3},\ c_6 = 60\sqrt{2 + \sqrt{3}},\ c_{12} = 60\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{3}}}, \cdots$$

until $c_{3.2^{28}}$.

Al-Kāshī introduced the series $c_3, c_6, c_{12} \cdots$ in Figure 5, which he drew in his own hand.

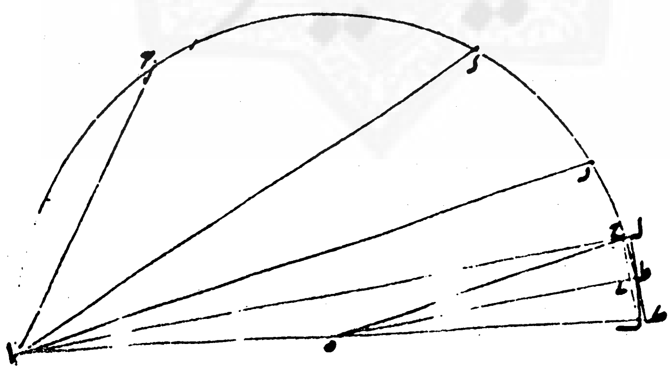


Figure 5. Figure on fol. 5 of the Meshed manuscript of al-Kāshī's letter.

Figure 6 displays al-Kāshī's computation (in his own hand) of

$\sqrt{3.60^2} = 1, 43; 55, 22, 58, 27, 57, 56, 0, 44, 25, 31, 42, 1, 56, 22, 42, 48, 58, 57 \cdots$

meaning: $= 1.60 + 43 + \frac{55}{60} + \frac{22}{60^2} \cdots)$

irrational numbers. Archimedes avoided irrational numbers by means of rather complicated estimates such as (in modern terms) $265/153 < \sqrt{3} < 1351/780$. He did not use a decimal or sexagesimal system for fractions.[11]

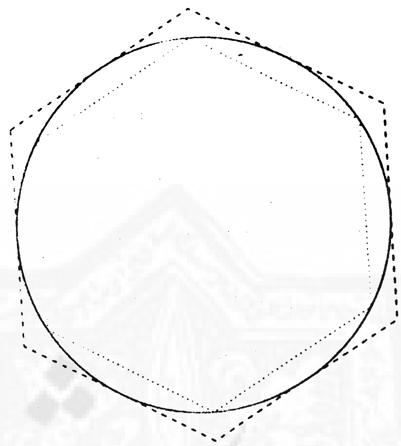


Figure 4.

Al-Kāshī mentioned Archimedes' approximation but he added that Archimedes' result is much too inaccurate for his purpose. Since al-Kāshī used a positional system for fractions he could continue the computation of Archimedes. After the 96-gon ($96 = 3.2^4$), al-Kāshī considered 24 more polygons, namely the 192-gon, the 384-gon, and so on, ending with the 3.2^{28}-gon. He worked in a circle with radius 60 units, as was usual in the trigonometry of his time. Before beginning the real work, al-Kāshī showed the following:

- The circumference of the inscibed and circumscribed 3.2^{28}-gon of a circle with radius 60 differ by less than 60^{-8}.
- The circumferences of the inscribed and circumscribed 3.2^{28}-gon of a circle with radius 600,000 earth radii differ by less than a breadth of a hair;
- If these polygons are used to estimate π, the computation has to be made in 20 sexagesimals (two integer and 18 fractional).

11. For Archimedes' method see:
T.L. Heath, *The Works of Archimedes*, Cambridge: University Press, 1897, reprint ed. New York: Dover, no date. pp. 93-94.

a sphere which was not very thick, and that this "sphere of the fixed stars" had a very slow motion with respect to the thin outermost sphere. This outermost sphere contained the ecliptic, and it rotated once every day around the centre of the universe. By these and similar arguments, Ptolemy concluded that the radius of the universe was approximately 20,000 Earth-radii.

On the basis of new astronomical observations, the medieval Islamic astronomers changed some of the parameters in Ptolemy's models but they computed the radius of the universe along the same lines as Ptolemy, with similar results. Al-Kāshī assumed in his *Sullam al-Samā'* ("Stairway to Heavens") that the radius of the universe equal to 26,328 earth-radii[10].

To a modern astronomer, the geocentric models of Ptolemy and the medieval Islamic astronomers may appear primitive. However, these models enabled the astronomers to predict almost all astronomical phenomena with an accuracy sufficient to the naked eye.

In his computation of π, al-Kāshī wanted to be on the safe side. He required that in a circle with radius equal to $R = 600,000$ earth-radii, the inaccuracy in $2\pi R$ should be less than the breath of a hair. Then the inaccuracy will be much less than the breath of a hair for all circles which can exist in the physical universe.

For the approximation of π, al-Kāshī used a method introduced by Archimedes, which is as follows in modern notation (Figure 4). Consider a circle with an inscribed and circumscribed hexagon. Then the circumference of the circle is greater than the circumference of the inscribed hexagon and less than the circumference of the circumscribed hexagon. If the diameter of the circle is 1, the side of the inscribed hexagon is $\frac{1}{2}$, so its circumference is 3, the circumference of the circle is π, and one can show that the circumference of the circumscribed hexagon is $2\sqrt{3}$. Thus we obtain $3 < \pi < 2\sqrt{3} = 3.46...$. Archimedes also showed that if one has computed lower and uppper bounds of the side of an inscribed and circumscribed n-gon, it is possible to compute lower and upper bounds of the sides of inscribed and circumscribed $2n$-gon. Thus he computed lower and upper bounds of the sides of the inscribed and circumscribed 12, 24, 48, and 96-gons, and finally he obtained from the 96-gons the estimate $3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$.

The exact algebraic expressions of the sides of these polygons involve

10. M. Bagheri, A Newly Found Letter of al-Kāshī on Scientific Life in Samarkand, *Historia Mathematica* **24** (1997), 241-256.

Alexandria (150 AD)[9] see (Figure 3). Ptolemy believed that the earth is at the centre of the universe, and that it is surrounded by the concentric spheres of the moon, Mercury, Venus, the sun, Mars, Jupiter and Saturn, and the fixed stars. The distance from the earth to the moon and the sun could be determined by lunar parallax and by the apparent sizes of the moon, the sun, and the earth shadow during a lunar eclips. These methods are essentially correct but not very accurate. Thus a relatively small error in the measurement of the earth shadow produced a distance between the earth and the sun which is only 1/20-th of the correct value.

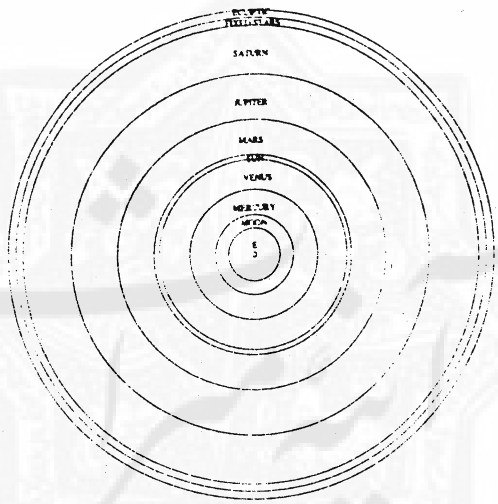


Figure 3. The Ptolemaic universe.

Many Greek philosophers assumed that useless space does not exist, and they concluded that the maximal distance between the earth and the sun was equal to the minimal distance between the earth and Mars. The Ptolemaic models for the motions of the planets produce essentially correct values of the ratios between the maximal and minimal distances from the earth to any planet (but not the values of the distances themselves). However, from the supposed minimal distance of Mars, and the ratio between its minimal and maximal distance, Ptolemy could now find the maximal distance of Mars, which he supposed to be equal to the minimal distance of Jupiter, and so on. Finally, the maximal distance of Saturn was supposed to be equal to the minimal distance of the fixed stars. Ptolemy believed that all fixed stars were attached to

9. Olaf Pedersen, *A Survey of the Almagest*. Odense: Odense University Press, 1974.

multiples of 2π in decimal notation. (The symbol π was not yet used in al-Kāshī's time.) On the fifth line al-Kāshī writes $5.2\pi = 10\pi = 31.4159\ 26535\ 89793\ 25$ (the last number 5 on the right refers to the multiple of 2π). Here we see the first 16 correct decimals of π after the decimal point. As we will see below, one can even derive the 17th decimal place of π from al-Kāshī's computations.

Figure 2. Table of multiples of 2π in decimal notation on fol. 46 of the Meshed manuscript of al-Kāshī's letter.

The decimal system for fractions was not very wide-spread in the time of al-Kāshī. Like most of the astronomers of his time, al-Kāshī made his computations in the sexagesimal system, which had been invented by the ancient Babylonian mathematicians. Al-Kāshī probably believed that the numerical value of π could not be determined exactly. The fact that π is an irrational number was proved in 1766 by the Swiss mathematician Lambert[8].

Because π is not known exactly, there is always a small inaccuracy in the computation of the circumference of a circle with given radius. In his "encompassing letter," al-Kāshī wanted to compute π with such an accuracy that in a circle with radius equal to the radius of the universe, the maximal error in the circumference is less than the breath of one hair. Al-Kāshī was an adherent of the cosmological theory of Ptolemy of

8. J. Lennart Berggren, J. Borwein, P. Borwein, *Pi: A Source Book*, New York: Springer Verlag, 1997, 2nd edition 2000. pp, 141-6

Al-Kāshī's work was to some extent known in Iran in the first two centuries after his death. The Meshed manuscript of his letter was once in the possession of the Iranian mathematician Bahā' al-Dīn al-ᶜĀmilī.[2] In 1925, al-Kāshī's work on π was mentioned for the first time in the Western world by D.E. Smith. Smith based himself on information provided by the Turkish scholar Salih Mourad, who had studied the manuscript of al-Kāshī's letter in Istanbul[3]. The German historian Paul Luckey then prepared a German translation with commentary, which were published posthumously in 1953 together with an edition of the Arabic text (based only on the Istanbul manuscript)[4] A Russian translation by Professor B.A. Rosenfeld was published three years later[5], and there is a detailed summary of Al-Kāshī's letter in Persian by Professor Qurbānī[6]. Complete Persian and English translations of al-Kāshī's letter have not yet appeared. It would be a worth-while project to publish a critical edition of the Arabic text, based on all manuscripts, together with a facsimile of the manuscript in the Holy Shrine Library in Meshed. Manuscripts of mathematical texts written in the hand of the author are very rare.

Because al-Kāshī's text is not yet available in English, confusing statements are often made in the Western literature. In a recent survey of π-determinations[7], it is stated that al-Kāshī determined π to 14 decimals. It is easy to refute this statement by means of the manuscript of the "encompasssing letter" in al-Kāshī's own hand. Al-Kāshī presents a table entitled "table of the multiples of the ratio of the circumference to the diameter (of the circle)" (Figure 2), in which he lists the

---

2. A.H. 953-1031/A.D. 1547-1622; see
Abu'l-Qāsem Qorbānī, Kāshānī-Nāmeh, Tehran: Enteshārāt-e Dāneshgāh-e Tehrān, A.H. solar 1350 (A.D. 1971). P. 160.

3. D.E. Smith, *History of Mathematics*, 2 vols., 1923-1025, Reprint ed.: New York: Dover, 1958, Vol. 2, pp. 240, 242.

4. Paul Luckey, *Der Lehrbrifüber den Kreisumfang (ar-risāla al-muḥîṭîya) von Ǧamšîd b. Masᶜûd al-Kāšî, übersetzt und erläutert von P. Lucley, herausgegeben von A. Siggel* [The Treatise on the Circumference of the Circle by ... al-Kāšī, translation and commentary by P. Luckey, (Arabic text) edited by A. Siggel], Berlin 1953: Abhandlungen der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Klasse für Mathematik und allgemeine Naturwissenschaften, Jahragang 1950 no. 6.

5. Dzhemshid Giyaseddin al-Kashi, *Klyuch Arifmetiki, Traktat ob Okruzhnosti* [Key to Arithmetics, Treatise on the Circumference], Per. B.A. Rozelfeld, comm. A.P. Yuschkevitch, B.A. Rozenfeld, Moskva: Gosudarstvennoe Izdatelstvo, 1956.

6. See Qorbānī 1350, op, cit.

7. David H. Bailey, Jonathan M. Borwein, Peter B. Borwein, Simon Plouffle, The Quest for Pi, *Mathematical Intelligencer* 19 (1997), no. 1, 50-57.

holy year 827" (corresponding to the end of July 1424).Thus he must have written this manuscript when he was already in Samarkand at the court of Ulûgh Begh. This manuscript may be one of many copies which Al-Kāshī wrote in his own hand, and since *al-Risāla al-muḥîṭiyya* does not contain a dedication, the first copy may have been written at an earlier date.

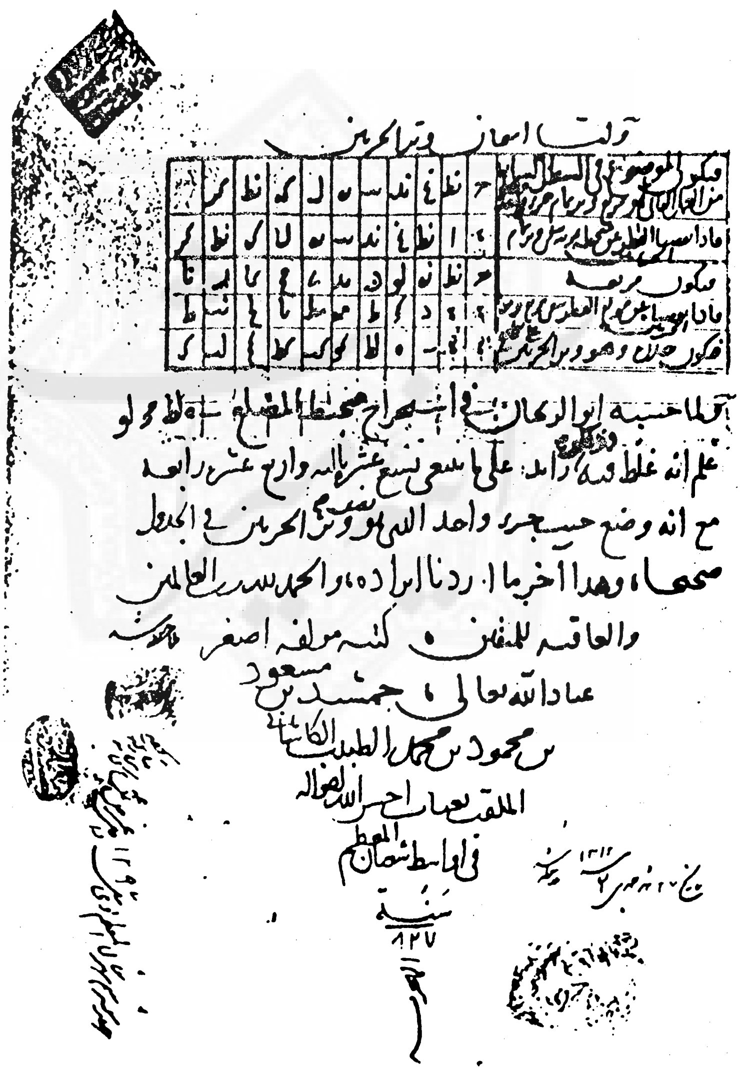


Figure 1.fol. 56 of the Meshed manuscript of al-Kāshī's letter.

Al-Kāshī's determination of π in 16 decimals and its place in the history of mathematics

Jan P. Hogendijk
Mathematics Department, Utrecht University, Netherlands

This paper has been written in the World Mathematics Year 2000 on the occasion of a conference on the mathematical work of Jamshīd Ghiyāth al-Dīn al-Kāshī (ca. 1380-1429) in Kåshān (Iran), the city where al-Kāshī was born. The paper begins with a summary of Al-Kāshī's work on π, which is one of the highlights of the medieval Islamic mathematical tradition. In the second part of the paper, I discuss al-Kāshī's position in the world history of π-determinations. Finally, I will briefly compare al-Kāshī's work on π with the closely related work by Ludolf van Ceulen who lived in Holland 150 years after al-Kāshī.

Since the details of al-Kāshī's life will be known to most readers of this paper, there is no need to discuss them here.[1] Al-Kāshī published his computation of π in a treatise in Arabic entitled *al-Risāla al-muḥīṭiyya*, "the encompassing letter." Eight manuscripts of this letter are known to exist to date. Manuscript no. 5389 in the Holy Shrine Library in Meshed is special because al-Kāshī wrote it in his own hand. On the last page he writes (Figure 1): "This has been written by the most unsignificant servant of God, Most High, Jamshīd ibn Mas^{c}ûd ibn Maḥmûd ibn Muḥammad, the Physician, al-Kāshānī, called Ghiyāth, may God support him, in the middle of the great month Sha^{c}bān of the

1. On al-Kāshī's life see e.g.
* M. Bagheri, *Az Samarqand beh Kāshān: Nāmehā-ye Ghiyāth al-Dīn Jamshīd Kāshānī beh pedaresh*, Tehran: Scientific and Cultural Publication Co. i996.
* A.P. Youschkevitch, B.A. Rosenfeld, article: Al-Kāshī, in: C. G. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7: New York, Scribner's Sons, 1973, pp. 255-26662.

Translation and Commentary Matematitcheskije Traktaty, *Istoriko-Matematitcheskije Issledovaniya* 7, pp. 13-32.

Swan, Simone, 1999: «Elegant Solutions», *Aramco World* 50,4, pp. 16-27.

Video: "Qubba for al-Kāshī" (16 min.), Yvonne Dold-Samplonius, Technics: Christoph Kindel & Kurt Saetzler, IWR, Heidelberg 1995/6. Distributed by AMS 1997.

for projected buildings and supply preliminary drawings for various options. Likewise in medieval Italy it was a general practice to pay the artisans according to the surface area they had completed. It is also useful to know in advance, more or less, how much material is needed like gold for gilding, bricks for construction or paint. Al-Kāshī's sophisticated formulas were, like the simple formulas found in the manuals of arithmetic, useful for everyday life. This was al-Kāshī's objective, as he writes in the introduction to the *Key of Arithmetic*: "I redacted this book and collected in it all that is needed for the one, who calculates carefully" and he adds "avoiding tedious lenght and annoying brevity". I hope that I succeeded in the same way.

Bibliography

Bulatow, M. S., 1978: *Geometric Harmony in the Architecture of Central Asia, 9th- 15th century.* (Russian). Moscow.

Dold-Samplonius, Yvonne, in Press: «Calculating Surface Areas and Volumes in Islamic Architecture»*Perspectives on Science in Medieval Islam.* Eds. Jan P. Hogendijk and A.I.Sabra. Conference at Dibner Institue 1998, Boston, M.I.T. Press.

Golombek, Lisa and Wilber, Donald, 1988: *The Timurid Architecture of Iran and Turan.* 2 Vols. Princeton NJ.

Al-Kāshī, Ghiyāth al-Dīn, 1427: *Miftāḥ al-Ḥisāb* (Key of Arithmetic).
Ms. Malek Library 3180/1, Tehran, dated 830 AH(!), copied by Mo'īn al-Dīn al-Kāshī, who went with al-Kāshī from Kashan to Samarqand.
Ms. Or. 185, Leiden, dated AD 1558.

Nader, Nabulsi, 1977: *Al-Kāshī, Ghiyāth al-Dīn: Miftāḥ al-Ḥisāb* (Key of Arithmetic). Arabic edition, with French notes and introduction. Damascus.

Necipoğlu, Gülru, 1995: *The Topkapi Scroll – Geometry and Ornament in Islamic Architecture.* Santa Monica, CA.

Rashed, Mahmoud, 1998: *Iran. Geschichte, Kultur und lebendige Traditionen – antike Stätten und islamische Kunst in Persien.* Köln.

Rosenfeld, Boris A. and Youschkevitch, Adolf P., 1954: *Al-Kāshī, Ghiyāth al-Dīn: Miftāḥ al-Ḥisāb* (Key of Arithmetic). Russian

of the room is certainly known. We can therefore calculate the inside and outside vaulted surfaces, as well as the surface of the façade. When we multiply the surface of the façade by the depth of the vault, then we obtain the volume of the vault.

Maybe this kind of vault has also been used in early Islamic buildings, like the Tarikhaneh mosque at Damghan, Semnan province, a town founded by the Sasanides. The arcs of this mosque are described as being egg-shaped and only very slightly pointed[11]. However, this mosque dating from about 760, is heavily restored. A through analysis *in situ* could give us more information.

Conclusion

The section on calculating arches ends in al-Kāshī's *Key of Arithmetic* with the following remark "I have talked a lot about the subject of this section, as this section is very important, and my predecessors did not treat it as they should have done". Al-Kāshī's ready-made tables simplified the process of calculation for the overseer of construction, who often prepared cost estimates for projected buildings and assessed their value upon completion. For the calculation of arches, the factors contain decimal fractions to the third position; this is largely sufficient for all practical purposes.

In seventeenth-century Safavid Iran architects were paid a percentage on each building based on the cubit measure of the height and thickness of the walls[12]

> The Persians determine the price for masons on the basis of the height and thickness of walls, which they measure by the cubit, like cloth. The king imposes no tax on the sale of buildings, but the Master Architect, that is Chief of Masons, takes two percent of inheritance allotments and sales. This officer also has a right to five percent on all edifices commissioned by the king. These are appraised when they are completed and the Master Architect, who has directed the construction, receives as his right and salary as much as five percent of the construction cost of each edifice.

Payment per cubit was also common in Ottoman architectural practice where a team of architects and surveyors had to make cost estimates

11. Rashad [1998] pp. 353/354.
12. Necipoğlu [1995] pp. 44, 159.

see Bulatow's analysis of the dome of the Gur-i Amir suggesting that the dome of the Gur-i Amir was probably designed by using a pair of foci and a string. However, this dome could also have been originated by the fourth kind of façade, a two-centered arch with the two centers one third of the span apart: With the line AD as the span and the points B and Z dividing the span in three equal parts we obtain the circle segments just inside the curve drawn by Bulatow.

The difference between the two curves lies within the error range accepted by modern architects. The ellipse may be easier to construct but circular segments are easier to calculate. For calculating elliptical domes and arches we may also apply al-Kāshī's factors.

The catenary, or Nubian, vault is a simple adobe vault, constructed without using wooden forms. This king of vaulting has been used for millennia in Upper Egypt to build ordinary houses, tombs and even royal buildings, such as the granaries of the first-century BC Ramesseum, one of the great monuments of Thebes. This vault was still in use ln Nubia until 1970[9]. The technique is very simple[10]:

> Build the front and back walls of the room to be vaulted 60 percent higher than the side walls. From the inside top edge of each side wall, hang across the width of the room a chain whose length is 1.67 times the width to be vaulted. The chain's arc is by definition a catenary curve. Trace this curve onto a wooden or cardboard template, and cut the template along that line. Invert the template and set it against either the front or back wall, with the template's base points at the inside top corners of the ends of the side walls. Use mud mortar to trace the template's form onto the wall: This will be the shape of the vault. Do the same on the opposite wall. Set up leveling strings between the two tracings ...

Here we have the interesting case that the curve of the catenary vaulting is not a simple curve. However, calculation of the vaulting is simple and no tables are needed. The width of the room is known and therefore also the inside curve of the vaulting, measuring 1.67 times the width of the room. The size of the adobe bricks is known, hence the width of the vaulting, and thus the outside curve are known. The depth

9. With the completion of the Aswan High Dam in 1970, the Nile ceased its annual flood-borne regeneration of Nile Valley topsoil and, to conserve it, the government of Egypt banned the manufacture of mud bricks.
10. Swan [1999] p. 24.

Al-Kāshī does not mention an elliptical profile either for arches or for domes. There are a number of domes for which the profile may be interpreted as the intersection of symmetrical elliptical arcs. An ellipse has two axes, the long axis and the short axis. In the arch the long axis lies along the spring line, but is not of the identical length. The span of the arch is frequently half the length of the long axis. In some cases, half the long axis is slightly less than the span. The short axis must be a little higher than the apex of the arch. The ratio of the short and long axes determines the shape of the curve of the ellipse.

Bulatow[8] has analyzed arches from the twelfth to fifteenth centuries in Central Asia and he suggests that some pointed arches were constructed as intersections of ellipses. For he notes that for spans exceeding 10 m. these were easier to construct than four-centered arches. The architects were, in addition, familiar with the stability of the ellipse, because its construction was known from Sassanian examples. According to his analysis, this kind of arch is found in some of the most important Timurid buildings of the period, such as the Gur-i Amir in Samarkand, the mausoleum of Tamerlane and Ulugh Beg, namely in its dome, interior niches, arches in zones of transition, and entrance portal. The same arches have elsewhere been identified as three- and four-centered arches and can be considered as such for all practical purposes. In figure 3 we

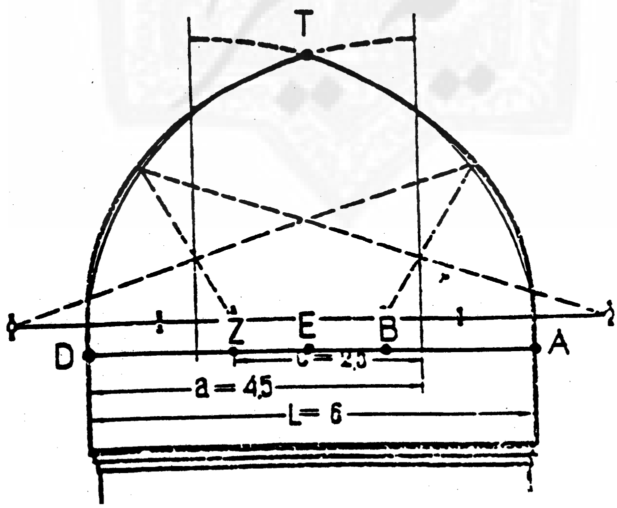


Figure 3. Dome of the Gur-i Amir (Bulatow's analysis with additions)

8. Bulatow [1978].

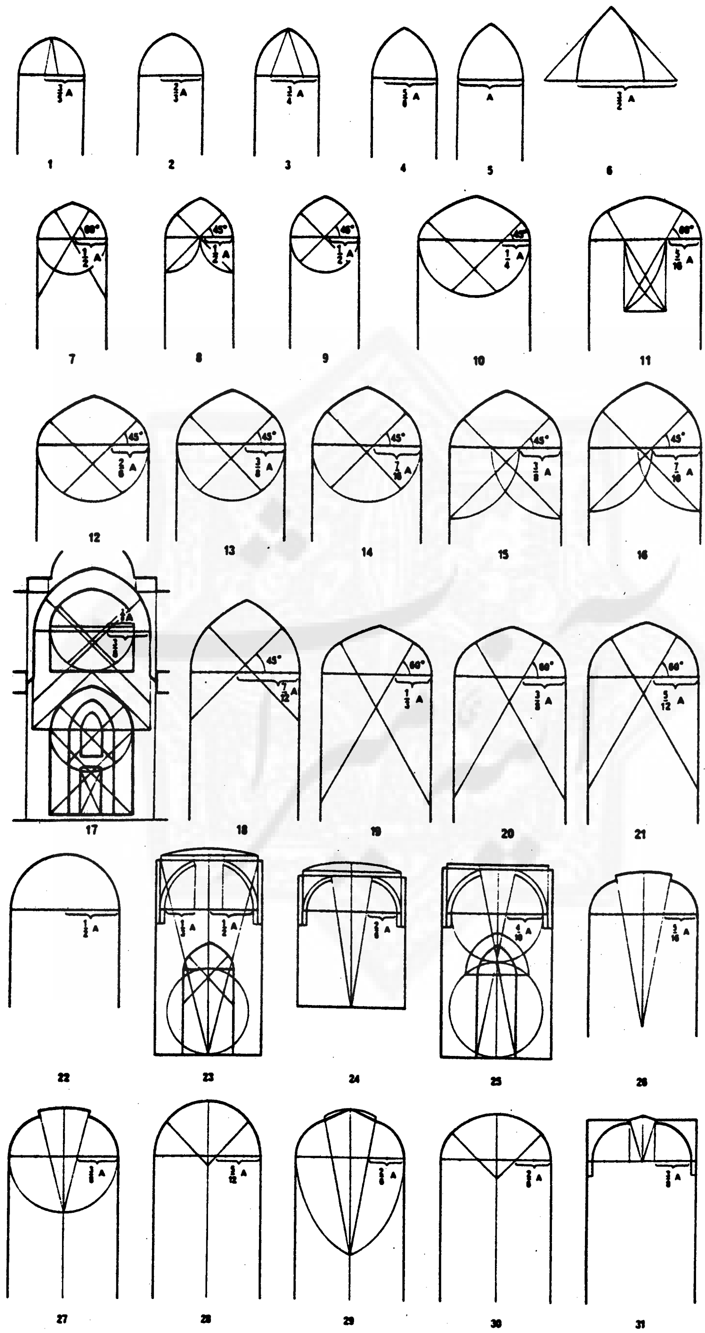


Figure 2. Arches found in shrine at Turkestan (Golombek and Wilber)

When we multiply half the diameter of tthe second section by the arc TG, which is equal to 0;51,54,53, then we obtain twice the area of sector THG, which is equal to 2;5,19,59.
When we multiply the perpendicular from the summit H of triangle HET, 1;0,0,0, by the base of the triangle, 1;11,50,32, then we obtain twice the area of tthe triangle, namely 1;11,50,32.
We subtract this amount from twice the area of sector THG. The remainder is twice the area TEG, [2;5,19,59-1;11,50,32=]0;53,29,27.
When we add this result to twice sector GED, then we obtain the surface area of the opening, [0;53,29,27 + 0;47,7,26=] 1;40,36,53.
When we consider the square of the span as unit measure, we divede by 2^2 and obtain 0;25,9,13. We write this number down in the fifth column. When we multiply the square of the span of the arch with this number, then we obtain the surface area of the opening.

Explanation (figure 1):
Twic segment GED plus twic segment THG minus twic area triangle HET equals twic segment DGTE, the opening of the arch.

Accuracy

In the above section I have tried to show how carefully al-Kāshī has calculated the factors for a façade of type 2. The same holds for the other four types. In the section on calculation we have already seen that al-Kāshī works rounded values, as his book is for practical use. The types of arches are, however, more vaired than those five given by al-Kāshī (figure 2). When arches other than the five models explained by al-Kāshī are involved, approximation is again required; one takes the model closest to the arch to be calculated. Golombek and Wilber[7] have considered existing examples of Timurid arches in the order outlined by al-Kāshī. Examples have been recorded for all but the fifth model, which was, however, certainly common in small windows. In comparing the models described by al-kāshī with actual examples of Timurid arches, we have to bear in mind that al-Kāshī's purpose was to calculate volumes and surfaces, not to construct them. This means that an easy calculation, which leads us to an elegant approximation, is the ultimate goal.

7. Golombek [1988] p. 153-157.

Explanation (figure 1):
When we assume the width of the arc equal to "one", then the difference between the arc ML and the arc GD with the same angle GED, equals $\{(r+1)-r\}\times$ angle GED divided by 360°.
In the same way we calculate the difference between arc OL and arc GT. ON is the tangent of angle NTO, which we have calculated above.

Column 3:
We multiply line HT, which is 2;24,51,10, by the sine of angle EHT and divide the product by the sine of angle HEN, which is 0;42,25,35,4[5]; the qoutient is line ET equal to 1;11,50,32. We take half of this, 0;35,55,16, as the span is assumed 2.
When we multiply the span of the arch by this amount, then we obtain the lower height of the curvature. We put this number down in the third column.

Explanation (figure 1):
The sine theorem gives the relation $\sin\angle EHT : ET = \sin\angle HEN : HT$.

Column 4:
We now divide "one" by the cosine of the angle of the almond, namely 0;54,36,39; the quotient is the width of the curvature, namely 1;5,55,12[6]. This amount is written in the fourth column. When we multiply the span of the arch with this numberr, then we obtain the width of the curvature, line NT.

Explanation (figure 1):
The width of the arc, line OT, is equal to "one"; $\cos\angle NTO = \frac{NT}{TO}$.

Now we multiply half the diameter of the first section of the curvature by the arc GD to obtain twice the area of sector GED, namely 0;47,7,266.

5. Ms. 0;42,35,25,4.
6. Ms. 1;5,55,12.

0;51,54,53.
When we add arc GT to arc GD, then we obtain the arc TGD, equal to 1;39,2,19.
This is valid for one half of the span. We enter this amount in the first column. When we multiply this amount by half of the span, then we obtain half the line of concavity, or inside curve (u_2); when we multiply this amount by the span, then we obtain the whole line of concavity.

Explanation (figrue 1):
Assume r=1,
Arc GD = $\frac{1}{8} \bullet 2\pi$

The sine theorem gives the relation sin $\angle HET : HT = \sin \angle HTE : HE$; sin $\angle HET$ is known, EH equals $\sqrt{2}$, HT equals $1+\sqrt{2}$, hence sin $\angle HTE$ is known.
Thus $\angle HTE$ is known and we obtain $\angle THE$. In a circle with r equal to HT $(1+\sqrt{2})$,
arc GT is known, and the sum of arc GD and arc GT, i.e. arc DT is known.

Column 2:
We assume the width of the arch, MD, to be "one".
When we multiply this amount by 6;16,59,28 [2π] and take one eighth, then we obtain 0;47,7,26, being arc ML minus arc DG.
The angle of the second section is 20;31,49, hence arc OL minus arc TG equals 0;21,29,57.
The angle NTO of the almond is 24;28,11, thus its side, ON, is 0;27,18,19.
We add these three amounts and obtain [0;47,7,26 + 0;21,29,57 + 0;27,18,19= 1;35,55,42].
When we multiply the width of the arch by this amount, then we obtain the difference between half the vaulting line, the outside curve u_1, and half the line of concavity, the inside curve u_2, i.e. $\frac{u_1-u_2}{2}$; when we double this, then we obtain the difference between the whole vaulting line and the whole line of concavity. We write this number in the second column.

When we subtract this amount from the total surface area of the arch, then we obtain the surface area of the visible part of the arch.

It might be necessary to calculate the spandrels, section NQt and section JFN: In this case we calculate the area AFQD and subtract from this amount the area of the visible part of the arch, calculated above, and the area of the opening of the arch, area ABTGDE, found by means of the fifth column. The difference gives the surface area of the spandrels. When we multiply this amount with the depth of the spandrels, we obtain the volume of the two spandrels. In surveying buildings it is better to measure the wall first.

When we want to know the inside and outside areas of the arch, i.e. the vaulted surfaces, then we multiply the depth of the arch by the inside curve, u_2, to obtain the area of its inside surface; when we multiply the depth with the outside curve, u_1, then we obtain the area of its outside surface.

Determination of the Factors

The calculation by means of the table is followed by a detailed account of how the factors were determined. As in the above section, I shall again use the second façade to explain al-Kāshī's method (figure 1):

Column 1:
We assume the span of the arch, AD, to be equal to 2,
Multiplying this amount by the relation between circumference to diameter, π, we obtain 6;16,59,28.
taking one eighth of this amount gives 0;47,7,26, this is the line of concavity of the first two sections, i.e. one of the first two arcs AB, DG.
The angle HET is 135°, its sine is 0;42,25,35,4.
We multiply this amount by the line HE, i.e. by 1;24,51,10 and divide the product by the line HT, half the diameter of the second section, i.e. 2;24,51,10.
The quotient is the sine of angle HTE 0;24,51,10.
Thus angle HTE, or the angle of the almond, is 24,28,11.
We subtract this from the supplement of the first angle, the remaining angle THG equals 20;31,49.
In a circle with half the diameter equal to 2;24,51,10 arc GT equals

column 2: Multiplying this factor with the width al-Kāshī obtains half the difference between the outside and the inside curve. Adding this amount to the inside curve, found by means of column 1, he obtains half the sum of the outside and inside curve. Multiplying this quantity with the width of the arch he obtains the surface area (A) of the façade:

$$1.599 \times b = \frac{u_1 - u_2}{2}; \quad \left(\frac{u_1 - u_2}{2} + u_2\right) \times b = \frac{u_1 + u_2}{2} \times b = A$$

In our practical example: $\frac{u_1 - u_2}{2} = \mathrm{IJNtM}; u_2 = \mathrm{ABTGD}$

$$\frac{u_1 - u_2}{2} = 1.599 \times 5 \approx 8; \; \frac{u_1 - u_2}{2} + u_2 = 8 + 33 = 41; \; A = 41 \times 5$$

column 3: Inner height of the arch: ET $=$ AD $\times\ 0.598 = 20 \times 0.598 = 11.96 \approx 12$.
column 4: Upper width of the arch: TN $=$ Al $\times\ 1.099 = 5 \times 1.099 = 5.495 \approx 5.5$.
column 5: To obtain the surface area of the opening, ABTGDE, al-Kāshī multiplies the square of the span by 5 and divides by 12. This calculation is equivalent to multiplying with the value found in the table, 0.419, or $0;25,9,13 \approx 5/12$.

With these values we can now calculate many different parts of the arch:

To calculate the volume of the arch we proceed in the usual way: After the surface area of the arch has been found, by means of the second column of the table, we multiply this number with the depth of the arch and obtain its volume.

Sometimes the arch disappears partly inside a wall and we want to know how much is visible and how extensive the segments inside the wall are, namely section DtM and section AJl: These segments are calculated by taking the difference of the circle segment MtE and the trianlge tDE, which can be found from MD and ED:

$$\frac{ED}{EM} = \frac{ED}{Et} = \cos \angle tEM, \quad EM = MD + ED,$$
$$tM = \text{arccos}\angle tEM \Rightarrow arctM, \quad arctM \times ME = 2MtE,$$
$$\sin \angle tEM = \frac{tD}{tE} \Rightarrow \sin \angle tEM \times tE \times DE = 2\Delta tDE,$$
$$2MtE - 2\Delta DE = 2tDM$$

Table to calculate arches and their parts (taken from the oldest extant Ms.)

later[4].

One can also describe the arcs BT, TG, KS, and OL around two other points on the lines EZ and EH, which lie either inside or outside the lower semicircle. But it is better to do, as we indicated before [otherwise the calculation becomes more complicated].

We call ABTGD the concavity of the arch, and the masons call it the opening. When we construct at point N to both sides the perpendiculars on NTE equal to AE, i.e. NF and NQ, and connect AF and DQ, they will intersect the curvature of the arch in the points J and t. The surfaces JFN and NQt are the spandrels of the arch; AJI and DtM are the parts of the arch, which are situated inside the wall; line TE is the lower height of the curvature, and line EN is the upper height of the curvature.

We have seen with our own eyes that in some buildings BT and TG are straight lines, likewise KN and NL".

Calculation of Arches

After al-Kāshī has explained and carried out all five methods for constructing the façade of an arch and has completed the characterization of the arch and the vault, he continues by surveying them. He explains that he has calculated factors relating some measurements of an arch to its span and to its width. He has put these factors down in a table together with an explanation of the method. These factors have also been transformed into Indian numerals and been added to the table. He then gives an example of how to calculate with these factors. According to al-Kāshī, the second façade was the most common in his time; he therefore uses it to demonstrate his calculation method.

Example, How to use the table:

Al-Kāshī assumes (figure 1) the span AD of the second façade to be equal to 20 and the width DM of the arch to be equal to 5. I call the outside curve, u_1, the line of convexity and the inside curve, u_2, the line of concavity, b is the width of the arch at its base. Al-Kāshī does not render the calculations but gives only the rounded results. I now list the approximations given by al-Kāshī:

column 1: With this factor al-Kāshī calculates the inside curve, u_2:

$$\text{ABTGD} = 1.651 \times \text{AD} = 1.651 \times 20 = 33.02 \approx 33$$

4. This facilitates the calculation.

and on center Z the arc BT;
connect HT and ZT and extend them by the width of the arch to the points O ans S;
draw arc LO on center H and arc KS on center Z;
erect the perpendiculars SN and ON on the lines TS and TO.

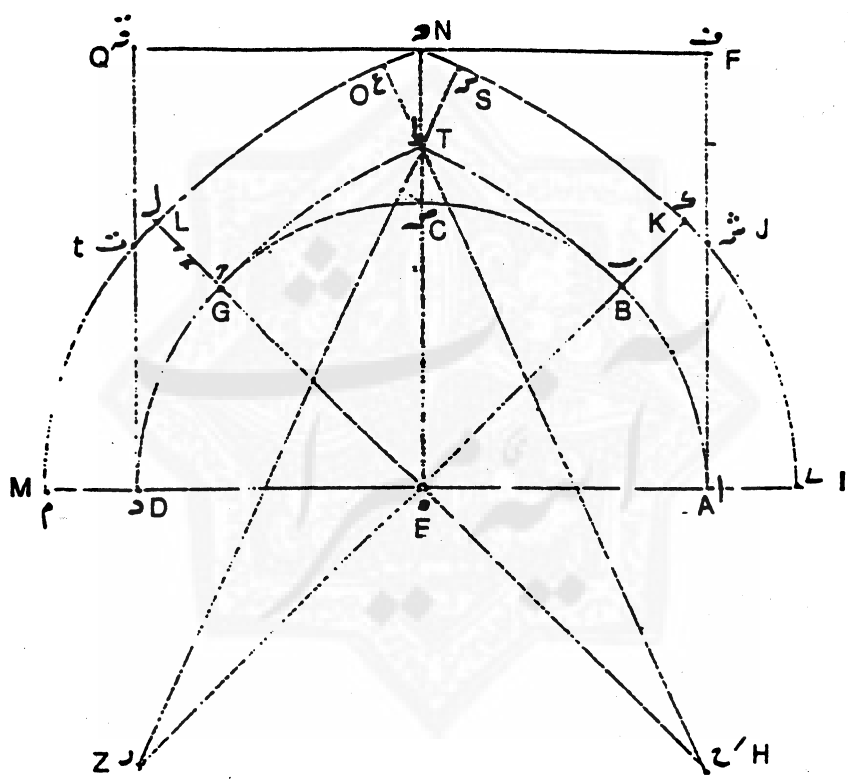


Figure 1. Construction of the second façade in a ms. of al-Kāshī's treatise, taken from the oldest extant Ms. with Roman letters added.

The sections AK, KT, TN, TL, and LD form together the façade of the arch with TN as the keystone.

Al-Kāshī added the following observations to the construction of the first façade, they are valid for the second façade as well:

"We made SN and ON straight, not curved, which we will explain not larger than its span, but in the case of the vault it is larger than it. What we call in the arch its depth is called in the vault its length".

There are five methods to draw the façade of an arch[2]. In the first three methods the arch consists of five elements, twice two cylindrical segments and a keystone (figure 1). This is neither the case for an arch of method IV, consisting of only two cylindrical segments and the keystone, nor of method V, a simple arch generated by two cylindrical segments only.

The first kind of façade is suitable in as much as the span is less than five cubits[3].

The second kind of façade is convenient, when you need a span of five to ten, or up to fifteen cubits.

The third kind of façade is well suitable for larger arches, of which the span amounts to more than ten cubits.

There are no dirctions when the fourth and fifth kind of façade are the most convenient. All façades generate a qubba by turning the façade around its axis. Al-Kāshī uses the dome, generated by the fourth king of façade, to demonstrate the calculation of the surface area and the volume of a qubba.

All five methods given by al-Kāshī use only ruler and compass. I shall explain one example, namely the second method, for drawing the façade of an arch.

Second façade

Construction of the second façade (figure 1):

Draw a semicircle on diameter AD, the span of the arch;
extend AD at both sides by the width of the arch to the points I and M.
E is the center of the semicircle;
divide this semicircle into four equal parts through the points A, B, C, G, D;
extend BE and GE by EZ and HE, equal to AC, and by BK and GL, equal to DM, the width of the arch;
on center E draw the arcs ML and KL, on center H the arc GT,

2. All five constructions are performed in the video "Qubba for al-Kāshī".

3. A cubit is the length of a forearm. The variety known as the common cubit contains about 54.0 cm, the great Hāshimī cubitt about 66.5 cm, and small Hāshimī about 60.1 cm.

consider the calculation of arches and vaults. As already seen in the calculation of the qubba and the muqarnas al-kāshī applies here again very intelligent approximations. The section contains a table with factors for the calculation of arches, followed by their detailed determination. This paper presents an analysis of how al-Kāshī developed thes factors and of their exactness.

Arc-itecture, it all begins with an arch

Al-Kāshī writes in the beginning of the section on calculating arches and vaults: "The predecessors determined those (i.e. arch and vault) as half a circular hollow cylinder, but we did not see anything like it, either in old or in new buildings. We have mostly seen ones that are pointed in the middle, and in a few cases they are smaller than half a hollow cylinder". According to Golombek[1] this observation is not correct, for tunnel vaults and semicircular arches exist in Timurid buildings, but the predominant form is the pointed arch, the most common profile of which tends towards the ellipse..

Al-Kāshī explains the arch (figure 1) as follows: "You have to know that the arch, which we call a real arch, is a cover, which rests on two supports, both on one surface between two parallel lines. The arch looks as if it consists of five sections: Two of them are parts of either one cylinder, or one ring, or one drum, with the diameter of the cavity smaller than [or equal to] the span, i.e. the distance between the supports of the arch. They are resting on the supports, one at the right and the other at the left. Two other sections are parts of a cylinder, or ring, or drum, with the diameter of its cavity larger than the diameter of the cavity of the first cylinder and its width equal to the width of the first two sections, exactly the same. These are constructed on top of the first two sections and are connected by the line, which is the curvature of the arch. The axes of the two sections on the right lie in one plane and likewise for the left ones in another plane. The solitary section is bounded by two equal and parallel almonds and four straight planes. The total of all secions is a body, which is bounded by two straight and parallel planes, which are its façades, and by two curved surfaces, one of which is convex (litt. vaulted) and the other concave (litt. hollow). The distance between the façades is called the depth of the arch. The difference between an arch and a vault is, that the dept of and arch is

1. Golombek [1988] p. 152.

Al-Kāshī's Method to Calculate Arches

Yvonne Dold - Samplonius
Mathematisches institut
Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 288
D - 69120 Heidelberg

Introduction

The great Persian astronomer and mathematician al-Kāshī devoted the fourth book of his work *key of Arithmetic* [Miftāḥ al-ḥisāb] to measuring geometrical objects. The book starts with the triangle and what is connected with it, continues after plane figure with the calculation of three-dimensional figures to end with chapter nine *Measuring Structures and Buildings.* According to al-Kāshī's remark at the beginning of this chapter, the main aim is practical as is the whole *Key of Arithmetic.* He writes: "The specialists merely spoke about measuring the arch and the vault and did not think that anything further was necessary. But I present this application among the necessities together with the rest, because it is more often required in measuring buildings than in the rest." The chapter is subdivided into three sections:

(1) Measuring the Arch and the Vault.
(2) Measuring the Qubba.
(3) Measuring the Muqarnas.

Together with the common solids discussed earlier in Book IV, these three categories cover all of Islamic architecture. In this paper I shall the ith approach to this solution is

$$x_i \frac{a + 4x_i^3}{3}$$

The first approch of al-Kashi coincides with linear interpolation used by ptolemy.

Al-Kāshī like ptolemy in his calculations considered chords.

Therefore the title of al-Kāshī's work was "Treatise on chord and sine". The method of the author of the Arabic treatise was based on calculations with sines.

The Arabic treatise and the mathematical parts of the commentaries by Mīrim Chelebī and al-Birjandī on "Zīj-i Ulugh Bēg" besides expositions of determining the chord of 2° or the sine of 1° contain also ptolemy theorem, other geometric theorems and algebraic definitions necessary for obtaining the equation (2).

The value of sin 1° according to the persian treatise of al-Rūmī is

$$\sin 1^\circ = 1^p 2' 49'' 43''' 13^{IV} 5^{V} 30^{VI}$$

The value of sin 1 according to the Arabic treatise is

$$\sin 1^\circ = 1^p 2' 49'' 43''' 11^{IV} 14^{V} 44^{VI} 16^{VII} 26^{VIII} 17^{IX}$$

Note that al-Kāshī in his "Treatise on circumference" (Risāla al-muḥitiyya) found the chord 2° by an other method [1, p. 308].

The valu of sin 1° equal to the half of this chord is

$$\sin 1^\circ = 1^p 2' 49'' 43''' 11^{IV} 14^{V} 44^{VI} 16^{VII} 12^{VIII} 30^{IX}$$

and many other historians of science attribute this treatise to al-Rūmī. The treatise was written after al-Kāshī 's death since here his name is accompanied by words "may Allah be merciful to him". both Ulugh Bēg and al-Rūmī could call al-kāshī"my dearest brother".

The title of al-kāshī's "Treatise on Chord and Sine" is explained by the following connection between chords and sines: the chord of the arc 2α is equal to $2R\sin\alpha$ where R is the radius of a trigonometric circle.

The spherical trigonometry was applied to the astronomy first by ptolemy in his "Almagest". Ptolemy instead sines used chords and gave chord table with 3 sexagesimal digits for arc increments of a half degree[19] [14, pp. 57-60].

ptolemy knew the rule equivalent to the formual

$$\sin(\alpha+\beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta \tag{1}$$

- this rule was expressed by famous Ptolemy theorem-and the rules equivalent to the formulas for sines of difference of two arcs and for half of an arc. from euclid's "Elements" he knew the chords of 72° and 60° and therefore he knew chords of 12°, 6° and 3°.

ptolemy determined the chord of one third of an arc with known chord by linear interpolation. his values of chords of 30′ and 1°30′ are $0^p31'25''$ and $1^p34'15'' = 3(0^p31'25'')$ respectively.

The formula (1) for $\beta = \alpha$ gives $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ and for $\beta = 2\alpha$ gives $\sin 3\alpha = \sin\alpha(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + 2\sin\alpha\cos^2\alpha = \sin\alpha(1-2\sin^2\alpha) + 2\sin\alpha(1-\sin^2\alpha), that\ is$

$$\sin 3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha \tag{2}$$

The formula (2) can be regarded as the cubic equation

$$a = 3x - 4x^3 \tag{3}$$

for the determining $x = \sin\alpha$ if the magnitude $a = \sin 4\alpha$ is known. The method proposed by al-Kāshī for solving the equation (3) was called by him "introduction of a cube inco the division". it is the iterative method. since x is very small the first approach to the solution of the equation (3) is $x_1 = \frac{a}{3}$. The second approach to this solution is

$$x_2 \frac{a + 4x_i^3}{3}$$

19. Ptolemy's Almagest (English translation by G.J. Toomer). New York -Berlin-Heidelberg-Tokyo: Springer-Verlag, 1984.

n° 458. "Since the approximate method of determining the sine of one degree has became known, l also want to give the proof of a way of this determination. There are two ways of determining it:[14] one, which the sultan of geometers ghiyāth al-Dīn Jamshīd al-Kāshī found, and another, which explanation was indicated in the work of the Holy Sultan-Martyr Ulugh Bēg, let there be light on his grave" (Chun tarīqa-yi istikhrāj-i jayb-i yak daraja bi-taqrib ma'lum shud, tarīq-i istikhrāj-i ān burhān nīz irād konam. Wa ān dū ṭarīq ast. yakī ān ke Sultān muhandisīn Ghiyāth al-Dīn Jamshīd al-Kāshī istikhrāj karda, wa digar ān ke az maṣānif-i Sultān Sa'īd Shahīd Ulugh Bēg, nūr marqaduhi, bayān farmūda).

The complete russian translation of the mathematical part of al-Birjandī's commentary of"Zīj-i Ulugh Bēg"was published by A.Ahmedov[15]. The words quoted by Qary-Niyazov are on p. 107 of this translation.

Here al-Birjandī wrote that Ulugh Bēg composed a special treatise on his method of determining the sine of 1°. The commentary of al-Birjandī contains an exposition of this treatise of Ulugh Bēg. The comparison of this exposition with the anonymous treatise shows that the anonymous treatise coincides with the treatise of Ulugh Bēg described by al-Birjandī.

The commentary by Mīrim Chelebī on "Zīj-i Ulugh Bēg" also contains the exposition of a treatise on determining sin 1. The comparison of this commentary with the persian treatise of al-Rūmī shows that the commentary by Mīrim Chelebī contains the exposition of this treatise.

Therefore A.Ahmedov and myself supposed in the paper[16] that the anonymous arabic treatise must be attributed to Ulugh Bēg. This supposition was repeated in June 1994 in the symposium "600-th Anniversary of Ulugh Bēg" at istanbul kandilli observatory. The same atribution was made in the russian translation of the main part of the manuscript (1) with the table in "Book of reading in the history of mathematics" edited by A.P.Yushkevich.[17]

Since all five extant manuscripts of arabic treatise are not attributed to ulugh Bēg and some of them are not attributed to al-Rūmī, Ihsanoglu[18]

14. Ibid; pp. 249-250, f 77^a of the manuscript.

15. 'Abd al-'Alī Ḥusayn birjandī. kommentariik "Guraganskim astronomicheskim tablitsam". *Vtoraya glava. ob opredelenii sinusa i strely (Russian translation by A.Ahmedov).* - iz istorii nauki epokhi Ulugbeka. Tashkent: fan, 1979, ss. 72-109.

16. A. Ahmedov, B.A.Rosenfeld. Kto byl avtorom "Traktata ob opredelenii sinusa odnogo gradusa"?- obshchestvennye nauki v Uzbekistane, 1975, n 10, ss. 51-53.

17. A.P.Yushkevich (red.) khrestomatiya po istorii matematiki, t.1. moskva: prosveshchenie, 1976. pp. 79-82.

18. Ekmeleddin Ihsanoglu (1999) *op. cit.*

The manuscripts [2-5] are listed in the book "History of Mathematical Literature during the ottoman period" (osmanli matematik literatürü tarihi). This treatise is attributed to al-Rūmī[9], the persian treatise of al-Rūmī is regarded as a persian version of the same treatise. The complete title of this treatise is indicated as "Treatise on Determining sine of one degree according to operations established by arithmetic and geometric rules by the method of Ghiyāth al-Dīn al-Kāshī[10] (Risāla fī istikhrāj jayb daraja wāḥida bi a'māl muassasa 'alā qawā'id ḥisābiyya wa handasiyya 'alā ṭarīqa ghiyāth al-Dīn al-Kāshī).

The complete title of this treatise in an abridged form was believed by the Turkish historian Ḥajjī Khalīfa as the title of a treatise of al-Kāshī[11].

The anonymous Cairo manuscript (2) was ascribed to al-Kāshī also by H.Suter[12], and in the card catalogue of the scientific library of humboldt university at Berlin.

In the beginning of the arabic treatise there are following words: "Further, it is a treatise on determining the sine of one degree by operations based on geometric and arithmetic rules suggested by my dearest brother, unique of his time, Jamshīd ibn Mas'ūd, the physician called ghiyāth [al-Dīn] al-Kāshī, may Allah be mecriful to him".

Therefore this treatise could not be written by al-Kāshī.

Dr. Klaus scharnhorst has sent me xerocopies of both Berlin manuscripts of treatises on determining sin 1°. The comparison of these manuscripts shows that they are different works. The English translation of the manuscript (1) with its photocopy is to appear in "Zeitschrift für geschicte der Arabisch-Islamischen wissenschaften".

T. N. Qary-Niyazov in his paper "Ulugh Bēg and Sawāy Jay Singh"[13] quoted the commentary by al-Qūshjī's student al-Birjandī on "Zīj-i Ulugh Bēg", a manuscript which is in the Tashkent institute for oriental studies

9. Ekmeleddin ihsanoğlu, Ramazan Şeşen, Cevat Izgi. osmanli matema tik literatürü tarihi (History of Mathematical Literature during the ottoman period). Cilt 1-11. Istanbul: IRCICA, 1999.

10. *Ibid*

11. Ḥajjī Khalīfa, *kashf al-ẓunūn an isāmā al-kutub wa'l-funūn*. Lexicon bibliographicum et encyclopaedicum (Arabic and Latin translation by G.Flügel), vol. 1-7. leipzig-London, 1835-1858.

12. H. Suter. *Beiträge zur geschichte der mathematik und Astronomie im Islam.* Bd. 1. Frankfurt am Main: Institut für geschichte der Arabisch Islamischen Wissenschaften, 1986.

13. T. N. Kary-Niyazov. Ulugbek i Savay Jay Sing. -*Fiziko-matematicheskie nauki v stranakh vostoka*, vyp. 1, 1966, ss. 247-255.

3) in istanbul library of the kandilli observatory n°16,

4) in the istanbul library of Hüseyin Celebi n°751/3,

5) in the Mashhad library asitān-i qu'ds-i riḍawī n°12235/6.

The manuscripts (1-3) and (5) are anonymous, in the colophon of the manuscript (4) this treatise is attributed to al-Rūmī. in catalogue[2] of Cairo library it is written that the manuscript (2) is anonymous but is attributed to al-Rūmī because this attribution "is suggested by a reference in sédillot-fils' "*Prolegomenes des tables astronomiques d'Oloug-Beg* (paris, 1853), p. 77".[3] in the catalogue of the mashhad library the treatise is also attributed to al-Rūmī.

The opinion of L.A.Sédilpt in his book[4] was based on the commentary of Mīrim chelebī, the grandson of al-Rūmī (the son of his son) and of al-Qūshjī (son of his daughter) on "Zīj-i Ulugh Bēg" known under the title "Rules of operations and correction of table (*Dustūr alamal wa tasḥīḥ al-jadwal*). sédillot published the mathematical part of this commentary.[5] in the beginning of this part Mīrim Chelebī wrote that he exposes the method according to works of both his grandsfathers-treatise of al-Rūmī and al-Qūshjī's commentary on "Zīj-i Ulugh Bēg"[6]. The attribution of the anonymous treatise in the Mashhad catalogue probably is based on the same words of Mīrim Chelebī on al-Rūmī's treatise. The record in the colophon was written by a copyist probably by the same cause.

The Turkish translation of the anonymous manuscript (3) by salih zeki is included into his book *Remaining Traces* (*Āthār-i baqiyya*).[7] S. Zeki also ascribed this treatise to al-Rūmī according to the words of Mīrim Chelebī on the treatise of al-Rūmī.

The manuscript (1) was translated into Russian.[8] in this translation the treatise also was ascribed to al-Rūmī according to the opinion of S.Zeki.

---

2. D.A.King, A Survey of the scientific manuscripts in the egyptian national library. winona lake, indiana: eisenbrauns, 1986.

3. *Ibid* p.158

4. L.A.Sédillot. *Prolegomenes des Tables astronomiques d'oloug-Beg, translation et commentaries* paris, 1853.

5. L.A.Sédillot. De l'algèbre chez les Arabes-*Journal Asiatique* 5-ème série, t. 2, 1853, pp. 323-350.

6. *Ibid* p. 321.

7. Ṣāliḥ Zakī. Āthār-i bāqiyya, jild. 1-2. istanbūl, 1329 H. [1911]. vol.1, p. 121-133

8. [Kazi-zade ar-Rumi] Traktat ob opredelenii sinusa odnogo gradusa (Russian translation by B.A. Rosenfeld). -*Istoriko-matematicheskie issledovaniya*, vyp.13.1960, ss. 539-558.

al-Kāshī's treatise on determining sine of one degree

Boris Rosenfeld
the pennsylvania state university,
USA

Ghiyāth al-dīn al-kāshī invited by Ulugh Bēg for the position of dircetor of organized by him astronomical observatory at samarqand was jointly with Ulugh Bēg, Qādī zāde al-Rūmī and 'alī al-Qūstjī one of authors of "astronomical tables of Ulugh Beg" (*zīj-i Ulugh Bēg*). these tables contained sine tables of with 5 sexagesimal digits for arc increments of l'minute. therefore authors of these tables needed the value of the sine of 1°with great exactitude. this problem was solved by al-kāshī in his *treatise on chord and sine* (*risāla al-watar wa'l-jayb*). no one manuscript of this treatise is extant, the title is mentioned in alkāshī's *key of arithmetic (miftāh al-hisāb)*[1] The method of al-Kāshī was exposed by al-Rūmī in the persian treatise *On explantion of Determining the Sine of One Degree* (*Dar bayān-i istikhrāj-ijayb-i yak daraja*) and in Arabic "Treatise on Determining the sine of one Degree" (*Risāla fī istikhrāj jayb daraja wāhida*) also written in the observatory of Ulugh Bēg. there is only one manuscript of the first of these two treatises, it is the manuscript of the german state library at Berlin (Pertsch n°339).

There are 5 manuscripts of the second treatise:

1) in the Scientific Library of Humboldt University at Berlin, collection of the former institut für geschichte dermedizin und naturwissenschaften, n°I.15,

2) in the Cairo national library, collection faḍil riyāḍa n°37,

1. Jamshīd al-Kāshī.*Miftāḥ al-ḥisāb, Risāla al-muḥitiyya-klyuch arifmetiki. Traktat ob okruzhnosti* (Arabic and Russian translation by B.A.Rosenfeld). Moskva: GITTL, 1956, p. 9

planes de degré supérieur à trois, qui seront poursuivis par Ibn Bãjja puis très vite abandonnés[69]. C'est probablement le cas, au XIII^{e} siècle, de la recherche en Analyse combinatoire.

Ces tentatives, résultats d'un long processus de maturation, verront le jour à des époques où les sociétés qui les ont vu naître (andalouse pour l'une, maghrébine pour l'autre) n'étaient plus aptes à favoriser leur développement ni même leur transmission parce qu'elles ne pouvaient plus leur garantir les conditions d'une activité scientifique normale.

Mais, à long terme, les conséquences sont plus graves encore puis qu'on observe un ralentissement de la recherche, dans toutes les disciplines mathématiques, accompagnée d'une baisse relative du niveau de l'enseignement. Le contenu des ouvrages des XV^{e}-XVI^{e} siècles, produits en Egypte ou au Maghreb, illustrent bien ce phénomène dont les origines sont en fait plus lointaines puisque déjà la fin du XIII^{e} siècle ou au début du XIV^{e} Ibn al-Bannã lui-même justifiait l'abandon de certains chapitres mathématiques comme celui des nombres premiers ou celui des méthodes d'approximation de la racine nième, pour n supérieur à trois, par leur peu d'utilité à son époque[70]

---

69. A. Djebbar: Mathématiques et Mathématiciens du Maghreb médiéval (IX^{e}-XVI^{e} siècles): Contribution à l'étude des activités scientifiques de l'Occident musulman. Thèse de Doctorat. Université de Nantes-Université de Paris-Sud, 1990. Vol. II.

70. M. Aballagh: *Le Raf^{c} al-hijab d'Ibn al-Banna.* Thèse de Nouveau Doctorat. Université de Paris I-Pantheon-Sorbonne. 1988.

d'un problème d'existence[66].

En écrivant cela au XII^e siècle, al-Khayyãm révèle en fait, à travers l'échec de tel ou tel individu, les limites d'une certaine mathématique, celle qui a reposé fondamentalement sur des conceptions et sur un savoir-faire grecs et qui a fonctionné dans un certain univers philosophique et théologique.

Il y eut pourtant des moments où les frontières de cette mathématique ont été transgressées, inaugurant ainsi des démarches tout à fait nouvelles, fécondes en résultats techniquement accessibles et qui ne verront pourtant pas le jour. Il en fut ainsi pour la tentative de Thãbit Ibn Qurra "d'actualiser" les infinis en comparant des ensembles infinis dénombrables[67], ou celle d'as-Sijzï, au X[e] siècle, d'élaborer un modèle héliocentrique remettant se substituant au modèle géocentrique traditionnel qui était conforme à la conception du monde des philosophes de l'époque et aux exégèses théologiques de[68].

Il ne semble pas que ces démarches audacieuses aient valu à leurs auteurs une quelconque inquisition, à l'image de celles que subiront plus tard des savants européens comme Galilée et Giordano Bruno. En tout cas, les historiens ne nous ont transmis aucune information à ce sujet. Mais, cela n'a pas évité l'échec de ces tentatives puisqu'elles seront abandonnées par la communauté scientifique elle-même pour des raisons qui, sans être tout à fait extérieures à la science, semblent induites essentiellement par l'environnement socioculturel et la conception du monde qui y domine.

Il y a enfin un dernier aspect des limites qu'a connues l'activité mathématique arabe et qui se rattache à deux types de perturbations graves que connaîtront les sociétés musulmanes: en premier lieu les crises politiques internes et, à partir du XI[e] siècle, les affrontements externes qui se traduiront par un rétrécissement de l'aire géopolitique musulmane et par la perte de son hégémonie commerciale internationale.

L'effet indirect de ces phénomènes sur l'activité mathématique sera, à moyen terme, une rupture des traditions naissantes qui n'auront pas le temps d'acquérir la vigueur des anciennes, C'est le cas, au XIe siècle, des travaux d'Ibn Sayyid d'Espagne, sur les courbes gauches et les courbes

66. R. Rashed & A. Djebbar: *L'œuvre algébrique d'al-Khayyam.* Op. cit., texte arab, p. 72-78.

67. S. Pines: *XIe Congrès* Inernational d'Histoire des Sciences. 1965, III, p. 160-66.

68. Al-Murrãkushï: Jãmi[c] al-mabãdi'wa-l-ghãyãt. Ms. Paris, B. N., n° 2508, f. 49, qui cite un passage d'al-Bïrunï, tiré vraisemblablement de son ouvrage Kitãb fi Isti[c]ãb.

Autant que les succès, ces échecs peuvent révéler, lorsqu'ils sont replacés dans leurs contextes scientifiques et culturels, les entraves techniques et sociologiques auxquelles s'est heurtée parfois la recherche. Ils justifient également la nécessité d'une double analyse, interne et externe, de l'activité scientifique arab afin d'éviter les jugements partiels et les présupposés idéologiques sur certains aspects controversés de la civilisation arabo-musulmane, comme ceux qui accompagnent habituellement le concept de crise ou celui de décadence.

Les chercheurs arabes du Moyen Âge, comme les autres, semblent répugner à évoquer les échecs dans leurs disciplines, sauf dans deux cas précis: lorsqu'une véritable tradition, dans laquelle ils sont parfois impliqués, a consacré en quelque sorte le caractère ouvert du problème. C'est la cas, par exemple, du mathématicien du XIII^e^ siècle Ibn al-Khawwãm qui conclut son livre *al-Fawã'id al-bahã'iyya fi lqawã^c^id al-hisãbiyya,* par une liste de trente deux problèmes algébriques ou diophantiens non résolus, en faisant remarquer, avec prudence, qu'il n'a pas pu prouver l'impossibilité de ces problèmes, mais qu'il est possible que des chercheurs plus qualifiés en viennent à bout[63]. On apprécie d'autant plus sa remarque, aujourd'hui, que les équations n° 3 et n° 23 de cette liste sont les deux premiers cas de la fameuse conjecture de Fermat qui a suffisamment préoccupé les savants arabes, depuis le Xe siècle au moins, pour qu'elle ait mérité d'être mentionné régulièrement dans les ouvrages scientifiques, d'abord par Ibn Sïnã dans son *Livre de la guérison,* puis par az-Zanjãnï et Ibn al-Khawwãm et même au XVI^e^ siècle par Bahã' ad-Dïn al-^c^Ãmilï[64]. Il nous est même parvenu une tentative de démonstration de son impossibilité pour n=365.

La seconde circonstance qui a poussé les chercheurs à lever le voile sur les obstacles à leur recherche est celle où cette évocation leur a permis de mettre en valeur leur contribution personnelle et donc leur réussite.[65] C'est ainsi, par exemple, que cUmar al-Khayyãm, avant de développer sa théorie géométrique des équations cubiques, rappelle l'impuissance d'al-Mãhãnï à résoudre l'équation du 3^e^ degré issue d'un problème d'Archimède qu'il avait exprimé, pour la première fois, algébriquement, et il détaille les erreurs commises par Abu-l-Jud dans l'étude

63. Ms. Tunis n° 8607, ff. 28a-29a.

64. Ibn Sïnã, *Kitãb ash-Shifã'. Le Caire, 1956. p. 191-95. az-Zanjãnï: ^c^Umdat al-hussãb.* Ms. Istanbul Topkapi Saray n° 3457, ff. 84a. al-^c^Ãmilï, Khulãsat al-hisãb. J. Shawqi (édit.), Le Caire 1981.

65. R. Rashed: *Entre Arithmétique et Algèbre.* Op. cit.

méthode algébrique utilisant le développement du binôme[60]. L'étude d'Ibn Mun^{c}im se poursuit par l'établissement des formules relatives aux permutations, avec ou sans répétitions, d'un ensemble de lettres ainsi que de la relation de récurrence donnant le nombre de lectures possibles d'un mot de n lettres, compte tenu de tous les signes diacritiques d'une langue (voyelles et suk, n pour l'arabe). Ces résultats et d'autres sur les arrangements et les combinaaisons avec répétitions lui permettent de dresser des tableaux qui fournissent, par induction, tous les dénombrements cherchés.

Dans la deuxième moitié du XIII^{e} siècle ou au début du XIV^{e} un autre mathématicien maghrébin, Ibn al-Bannã, reprendra une partie de ces résultats en y ajoutant la proposition suivante dont il revendique d'ailleurs la paternité:

qui permet de calculer les combinaison, sans récurrence et sans avoir à construire au préalable le triangle arithmétique[61].

À partir de là, on décèle dans les écrits maghrébins deux progrès significatifs au regard de l'histoire de cette discipline: en premier lieu l'extension du champ d'application du formulaire connu et des raisonnements combinatoires. En second lieu, une prise en compte des problèmes de dénombrement en général dans des domaines très vairés et pas toujours mathématiques[62].

Pourtant si, à nos yeux, une matière avec des instrument nouveaux semble objectivement se constituer, nous ignorons le degré de conscience qu'en avaient ceux qui ont contribué à sa naissance. En tout cas, cela n'est pas allé jusqu'à donner un nom à cette activité et a la distinguer des disciplines traditionnelles et en particulier de l'Arithmétique.

Conclusion

Pour conclure, il nous a semblé intéressant d'aborder un sujet méconnu qui pourrait sembler être le revers de la médaille mais qui n'est qu'un aspect de l'activité scientifique. Il s'agit des obstacles rencontrés par les mathématiciens des pays d'Islam et les échecs qui s'en suivirent et qui revêtirent des formes très variées: hypothèses erronées ou jugées comme telles, propositions fausses, problèmes non résolus, tentatives fécondes mais restées inachevées, etc.

---

60. S. Ahmad & R. Rashed, *Al-Bãhir fi l-Jabr.* Op. cit., texte arabe, p. 104-112.

61. A. Djebbar: *Enseignement et Recherche mathématiques dans le Maghreb des XIII^{e}-XIV^{e} siècles.* Op. cit., p. 90-92.

62. Op. cit., p. 67-? 5.

Dans le second ouvrage, des éléments de combinatoire interviennent à l'occasion d'une réflexion sur l'algèbre. sur ses objets et sur ses instruments. Mais les dénombrements effectués ne nécessitaient pas l'utilisation ou l'établissement de formules ou de propositions combinatoires[58].

Cela étant, nous n'avons pour le moment aucun élément nous permettant d'affirmer que ces manipulations combinatoires nécessités par de problèmes mathématiques, ont suscité une recherche propre à ce domaine avant le XIII^e siècle et, dans le cas où cette recherche, techniquement possible d'ailleurs, a eu lieu, nous ignorons à quels résultats elle a abouti.

En ce qui concerne l'occident musulman et plus particulièrement le Maghreb, c'est plutôt la seconde tradition qui semble avoir été à l'origine de l'énoncé et de l'établissement des premières propositions combinatoires. Il s'agit de l'ensemble des études sur la langue arabe qui englobent la Linguistique, la Lexicographie, la Grammaire et la Métrique. Cette tradition, qui a son origine dans les travaux d'al-Khalīl Ibn Aḥmad en Prosodie et en Métrique arabe, sera entretenue et poursuivie par des spécialistes aussi éminents que Si-ībawayh, al-Akhfash, Ibn Durayd et Ibn Jinnī[59]. C'est en tout cas à cette tradition que se réfère explicitement le mathématicien maghrébin du XIII^e siècle Ibn Mun^{c}im avant d'exposer, dans la onzième section de son livre, les rèles générales, soigneusement démontrées, qui permettent de dénombrer, non seulement les mots de la lanque arabe, mais également ceux de n'importe quelle langue utilisant un nombre quelconque de lettres et de signes. Dans le problème I, Ibn Mun^{c}im établit, à partir d'un ensemble de couleurs de soie qui jouera le rôle de modèle abstrait, une règle permettant de déterminer le nombre de combinaisons de n objets p à p. Pour cela, il construit un tableau numérique triangulaire à l'aide duquel il établit la formule:

Ce faisant, il donne pour la première fois à notre connaissance et selon une démarche strictement combinatoire, le fameux triangle arithmétique, longtemps attribué à Pascal puis à Cardan et que les algébristes du centre de l'empire musulman, comme al-Karajī, avaient déjà obtenu par une

58. Op. cit., p. 60-66.

59. À notre connaissance, seul Ibn Durayd, dans sa Jamharat al-lugha, a tenté de justifier, par des raisonnements faux d'ailleurs, les dénombrements des combinaisons et des arrangements des lettres de l'alphabet arabe. Cf. A. Djebbar: *L'analyse combinatoire au Maghreb: l'exemple d'Ibn Mun^{c}im (XII^e-XIII^e siècles).* Op. cit., p. 13-14.

al-kura d'al-Jayyãnï et surtout le Kitãb ash-Shakl al-qattã^c de Nasïr ad-Dïn at-Tusï[55].

L'analyse combinatoire

C'est dans un ouvrage maghrébin du XIII^e siècle, le *Figh al hisãb d'Ibn Mun^{c}im,* qu'apparaît, pour la première fois à notre connaisance dans I'histoire des mathématiques, un chapitre autonome traitant de combinatoire[56]. Mais, pour que ce chapitre s'élabore et apparaisse d'une manière indépendante, il aura fallu une longue pratique, plus ou moins consciente, qui favorisera l'apparition d'algorithmes de dénombrement et de tentatives de justification de résultats par de démonstrations plus ou moins rigoureuses.

Deux traditions arabes sont à l'origine du développement de cette combinatoire. La première est mathématique. Elle englobe des activités algébriques et astronomiques.

En astronomie, on peut citer le petit traité de Thãbit Ibn Qurra sur la figure sécante dans lequel il généralise le théorème de Ménélaüs ainsi que le *Kitãb maqãlid ^{c}ilm al-hay'a* d'al-Bïrunï. Dans les deux ouvrages ce sont des dénombrements élémetaires qui interviennent pour la détermination des relations donnant les éléments inconnus d'un triangle sphérique en fonction des éléments connus[57]. Mais, ni l'un ni l'autre ne se réfère à une quelconque formule combinatoire.

En algèbre, on peut également citer deux ouvrages contenant quelques aspects combinatoires, le *Kitãb at-Tarã'if fi l-hisãb* d'Abu *Kãmil et al-Bãhir fi l-Jabr* d'asSamaw'al.

Le premier traité de la résolution de certains systèmes d'équations indéterminées, énoncés sous forme de problèmes d'oiseaux: la recherche des solutions utilise, en plus des techniques de l'Algèbre, les dénombrements par énumération d'un ensemble d'entiers. Mais, étant soumis à des contraintes liées au problème, ces dénombrements ne permettaient pas de dégager des règles combinatiores simples.

55. M. V. Villuendas: La trigonometria europea en el siglo XI. Op. cit. a. Pacha Caratheodory, *Traité du quadrilatère.* Constantinople, 1891.

56. A. Djebbar: L'analyse combinatoire au Maghreb: l'exemple d'Ibn Mun^{c}im (XII^e-XIII^{e}siècles). Paris, Publications Mathématiques d'Orsay, n° 85-01, 1985. Cette étude contient une édition, avec traduction française et analyse, du chapitre du Fiqh al-hisãb d'Ibn Mun^{c}im consacré entièrement à la combinatoire.

57. A. Djebbar: *Enseignement et Recherche mathématiques* dans le Maghreb des XIII^e-XIV^e siècles. Op. cit., p. 56-60.

comme cela apparaît chez al-Battānï dans son *Islāh al-Majistï*[51].

Une troisième étape sera franchie dans la première moitié du X^e^ siècle avec l'établissement des relations fondamentales entre ces six fonctions trigonométriques. La plus célèbre d'entre elles est la suivante:

a, b étant des côtés et A, B, les angles opposés à ces côtés, dans un triangle (ABC) tracé sur une sphère et dont les côtés sont des arcs de grands cercles. Cette relation a été surnommée *le théorème qui dispense* parce que, en ne faisant intervenir que quatre grandeurs (alors que celle de Menelaüs en utilise six), elle réduisait ainsi considérablement les temps de calcul pour la confection des tables[52]. Parmi les chercheurs qui ont contribué à ce progrès il faut citer Abu l-Wafā' et Ibn Yunus, pour le centre de l'empire, al-Khujandï, Abu Nasr Ibn ᶜIrāq et al-Bïrunï, pour l'Asie centrale, Ibn Muᶜādh al-Jayyānï et Jābir Ibn Aflah, pour l'Espagne[53]. Cette répartition géographique révèle d'ailleurs la vitalité de ces recherches et le caractère relativement uniforme du niveau scientifique en pays d'Islam, résultat d'une grande circulation des idées par les livres, par les échanges épistolaires ou par les déplacements des hommes de science eux-mêmes.

Il faut d'ailleurs signaler, à propos de cette relation trigonométrique, que sa découvert a suscité une âpre polémique dont certains aspects nous ont été rapportés par al-Biruni lui-même dans son livre *Maqālïd ᶜilm al-hay'a.* Cette polémique, qui concernait bien sûr la paternité du résultat nous révèle, à l'occasion, un réseau d'échanges scientifiques et un coopération à distance pour la réalisation de certains projets scientifiques[54].

La quatrième et dernière étape de l'histoire de la Trigonométrie arabe a débuté par l'apparition de chapitres distincts dans des traités d'astronomie, comme la *Risāla fī-l-qusiyy al-falakiyya d'Ibn ᶜIrāq ou l'Almageste* d'Abu l-Wafā', Elle s'achèvera par la rédaction d'ouvrages entièrement consacrés à cette matière comme le *Kitāb majhulāt qisiyy*

---

51. Habash al-Hāsib: Zïj. Ms. Istanbul Yeni Cami n°784/2. C. A. Nallino: *Al-Battānï sive Albatenii opus astronomicum.* Milano, 1899-1907.

52. M. Th. Debarnot: *Al-Bïrunï, Kitāb maqālïd ᶜilm al-hay'a, La trigonométrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du X^e^ siècle.* Damas. Institut Francais de Damas. 1985.

53. M. V. Villuendas: La trigonometria europea en el siglo XI. Estudio de la obra de Ibn Muᶜād, *El-Kitāb Majhulat.* Barcelona, 1979. r. P. Lorch: The astronomy of Jābir Ibn Aflah. *Centaurus,* 1975, vol. 19, n° 2, p. 85-107.

54. M. Th. Debarnot: *Al-Bïrunï, Kitāb maqālïd ᶜilm al-hay'a.* Op. cit., p. 88-102.

La Trigonométrie

La Trigonométrie a été, dans la science arabe, le produit des multiples activités de recherche qui ont eu lieu dans le cadre de l'Astronomie. À partir, essentiellement, des patrimoines indiens et grecs, cette dernière discipline a connu un développement important entretenu par les nécessités religieuses et économiques et soutenu d'abord par le nouveau pouvoir central arabo-musulman puis par les différents pouvoirs régionaux nés des son éclatement mais fonctionnant à son image.

On peut citer, entre autres sujets de préoccupations de cette Astronomie, les recherches théoriques en vue d'améliorer ou de remplacer le modèle ptoléméen du mouvement des astres, la conception d'instruments astronomiques nouveaux et l'établissement de Zïjs.

Ces Zïjs contenaient en particulier des catalogues d'étoiles, des chronologies locales, différents calendriers utilisés par telle ou telle population de l'empire en fonction de ses croyances ou de ses habitudes. Mais, à côté de cette masse d'informations directement exploitable, il y avait la partie mathématique du Zïjs qui comprenait les tables trigonométriques et les méthodes de calcul permettant de déterminer le mouvement des astres et de prévoir certains phénomènes comme leséclipses[49].

Partant des premiers problèmes trigonométriques de *l'Almageste* de Ptolemee qui reposent sur le théorème de Ménélaüs, certains astronomes arabes ont préféré, pour leurs calculs explicites, utiliser les petites tables de sinus empruntées aux *Siddhanta* indiens et qui s'avéraient plus économiques en temps que les tables de cordes de la tradition grecque[50]. A partir de là, ces savants qui étaient constamment préoccupés par la finesse des approximations et l'optimisation des calculs, vont tout d'abord améliorer les tables de sinus et de cosinus en les étoffant et en affinant les calculs.

Dans un second temps, ils vont introduire de nouvelles lignes trigonométriques comme la tangente, la cotangente, la sécante et la cosécante. Utilisées déjà par Habash al-Hãsib, dans la seconde moitié du IX^{e} siècle, ces nouvelles fonctions verront leurs tables dressées dès le début du X^{e},

---

49. E. S. Kennedy: Late medieval planetary theory, *Isis*, 1966, vol. 57, 3, n° 189, p. 365-378; D. A. King: Ibn Yunus, very useful tables for reckoning time by the sun. *Archives for the History of Exact Sciences,* vol. 10, n° 3-5, 1973, p. 342-394; A. P. Youschkevitch: Les mathématiques arabes. Op. cit., p. 141-150.

50. Le théorème III; 1 de Ménélaüs sur lequel reposent tous les calculs de l'Almageste, s'énonce ainsi:
Les arcs considérés étant ceux de grands cercles d'une sphère.

velles recherches prennent forme et de nouvelles orientations se dessinent: Théorie des nombres et Analyse indéterminée par l'école d'al-Karajï, théorie des équations cubiques par Abu-l-Jud, al-Khayyãm et Sharaf ad-Dïn at-Tusï, théorie de l'approximation par Ibn Labbãn, at-Tusï et al-Kãshï. Parallèlement à ces investigations, on observe, à l'intérieur de l'algèbre classique cette fois, une tendance à se libérer de l'emprise de la Géométrie qui a constitué pendant longtemps un frein très sérieux à l'extension des opérations algébriques. Les premiers signes de cette libération se trouvent déjà chez Abu Kãmil qui ne tient plus compte de l'homogénéité dans la manipulation des différentes grandeurs géométriques. A son tour al-Karajï, tout en conservant les preuves géométriques de ses propositions, introduira à leur côté des preuves algébriques. Cet effort sera pursuivi par Sharaf ad-Dïn at-Tusï qui, raisonnera sur les expressions algébriques des courbes en introduisant dans l'étude des expressions polynomiales, la transformation affine et l'étude du maximum[47].

Malgré les fortes résistances d'une tradition très géométrisante, entretenue par l'enseignement, cette tendance à l'algébrisation finira par s'imposer, ici ou là. On en a une preuve indiscutable dans des écrits maghrébins du XIVe siècle: Dans les deux ouvrages d'Ibn al-Bannã qui traitent de questions d'algèbre, c'est-à-dire le *Raf al-Hijãb* et le *Kitšb al-Jabr,* les démonstrations accompagnant la résolution des équations classiques, n'ont plus aucun support géométrique mais sont exprimées dans un langage dépouillé et général immédiatement traduisible en symboles algébriques.

Ce n'est d'ailleurs pas un hasard que ce soit également dans les ouvrages maghrébins des XIVe et XVe siècles que l'on découvre un symbolisme mathématique relativement élaboré et utilisé non seulement dans les chapitres du calcul (fractions, extractions de racines), mais également dans ceux de l'Algèbre (opérations sur les polynômes, résolution d'équations). En attendant des éléments nouveaux, il paraît raisonnable d'attribuer l'invention de ce symbolisme aux mathématiciens maghrébins qui ont été, de toute manière, les seuls aux XIVe-XVIe siècles, à l'avoir utilisé. Ces mathématiciens semblent avoir saisi très vite, d'ailleurs, l'importance de cet instrument puisqu'ils l'ont introduit à tous les niveaux de l'enseigne-ment comme le confirment les ouvrages d'Ibn Ghãzï al-Maknãsï, d'Ibn Qunfudh al-Qasanflïnï et d'al-Qalasadï[48].

---

47. R. Rashed: *Entre Arithmétique et Algèbre.* Op. cit.

48. A. Djebbar: *Enseignement et Recherche mathématiques dans le Maghreb des XIIIe-XIVe siècles.* Op. cit., p. 41-54.

niveau de développement, ont toutes les trois acquis leur autonomie dans le cadre de la science arabe.

L'algèbre

En algèbre, le livre d'algèbre d'al-Khwãrizmï, intitulé *Kitãb al-Mukhtasar fi Hisãb al-jabr wa-l-mugãbala* (L'Abrégé du calcul par l'algèbre et la muqabala) a été considéré par les savants postérieurs comme la première pierre dans l'édifice algébrique arabe[44]. En réalité, il apparaît, d'après les quelques indications des bibliographes, que ce projet était en quelque sorte dans l'air vers la fin du VIII^e siècle et que d'autres ouvrages l'ont réalisé à peu près à la même époque. Un de ces écrits, celui d'Ibn Turk, nous est partiellement parvenu mais les autres ont disparu, probablement après qu'ils aient été supplantés par le livre d'al-Khwãrizmï puis, plus tard, par des traités encore plus élaborés[45].

Il est impossible de suivre l'évolution de cette Algèbre depuis ses premiers pas, c'est-à-dird depuis l'époque où elle se limitait à la résolution des équations de degré inférieur ou égal à deux. Mais, l'étude du contenu de certains manuscrits importants permet de dégager les progrès essentiels qu'elle a connus et qui aboutiront à son autonomie vis-à-vis des autres disciplines (en particulier vis-à-vis de la Géométrie), à l'extension de son domaine et à son intervention croissante comme instrument de résolution de problèmes pratiques ou théoriques.

D'une manière plus précise, on assiste, avec les travaux d'Abu Kãmil et de son école, à l'intervention systématique des nombres réels positifs dans la résolution des équations, à la fois comme coefficients et comme racines, à l'extension des opérations arithmétiques aux inconnues et aux monômes de degré quelconque, préparant la voie à l'élaboration de l'algèbre des polynômes qui sera l'œuvre des successeurs d'Abu Kãmil comme al-Karajï et as-Samaw'al[46]. Grâce à ces instruments nouveaux, rapidement intégrés à l'enseignement supérieur de l'époque, de nou-

---

44. A. M. Mashrafa & M. Mursi Ahmad: *al-Mukhtasar fi Hisãb al-Jabr wa-l-Muqãbala.* Le Caire, 1968.

45. A. Sayili: *Logical necessities in mixed equations by ^c Abd al-Hamïd Ibn Turk and the algebra of his time*, Ankara 1962.

46. On ne connaît pas encore la contribution andalouse et maghrébine à l'élaboration de ce chapitre de l'Algèbre, mais on sait que tous ses aspects, même les plus élaborés, ont été introduits dans l'enseignement andalou et maghrébin et sont encore présents dans les ouvrages du XIV^e et du XV^e siècle, comme le Rashfat ar-Rudãb d'al-Qaflrawãnï (XIV^e s.), le Kashf al-Jilbãb d'al-Qalasãdï (XV^e s) ou le Bughyat afl-fluilãb d'Ibn Ghãzï (XVI^e s.).

que les ont perçues les mathématiciens européens, tels que Lambert et Saccheri qui prendront, dans ce domaine, le relais des savants arabo-musulmans[40].

Quant aux réflexions sur les instruments et les objets mathématiques, elles ont abouti, selon leur nature, à deux formes d'activités. D'un côté, des débats philosophiques et théologiques débordant la spécialité et intéressant beaucoup de non-mathématiciens. Ce fut le cas, par exemple, pour les concepts d'unité, d'infini et de bases non décimales qui ont préoccupé en particulier des savants maghrébins comme Ibn al-Bannã et Ibn Haydur[41]. De l'autre côté, des développements théoriques ne sortant pas du cadre de la discipline étudiée et reposant sur ses techniques. Il en fut ainsi des travaux d'Ibrãhïm Ibn Sinãn et d'Ibn al-Haytham sur l'analyse et la synthèse[42] et des tentatives de classification des problèmes mathématiques amorcées par al-Karaji et poursuivies par as-Samaw'al dans son Kitãb al-Bãhir fi l-Jabr[43].

Les nouvelles disciplines

C'était là, brièvement exposés, quelques aspects essentiels de la contribution des savants des pays d'Islam dans les domaines traditionnels. Mais la vitalité d'une activité scientifique se mesure aussi et surtout à sa capacité d'entrevoir des domaines nouveaux, de les explorer et, parfois, d'y établir des traditions vivantes. C'est à cet aspect des mathématiques que sera consacrée la derniée partie de cet rapide rétrospective. Il y sera question des premières étapes de la constitution de trois disciplines-l'Algèbre, la Trigonométrie et l'Analyse combinatoire-, trois importants chapitres des mathématiques médiévales qui, sans avoir atteint le même

40. Le quadrilatère de Saccheri avait déjà été utilisé par [c]Umar al-Kayyãm dans son épître. Cf. A. I. Sabra, [c] *Umar al-Khayyãm, Musadarãt Uqlïdis.* Op. cit.

41. A. Djebbar: *Les Mathématiques au Maghreb* à l'époque d'Ibn al-Bannã. Colloque International de la Société de Philosophie au Maroc sur Mathématiques et Philosophie. Rabat, 1-4 avril 1982. Parue dans les actes du Colloque. Société de Philosophie au Maroc (éditeur). Paris, l'Harmattan-Rabat, Okad. 1987. p. 31-46.

42. Hélène Bellosta-Baylet: L'analyse et la syntèse selon Ibrãhïm Ibn Sinãn. Thèse de doctorat. Paris, Université de Paris VII, 1994. R. Rashed, *La philosophie des mathématiques d'Ibn al-Haytham. MIDEO* 20 (1991), 31-231. R. Rashed, L'Analyse et la synthèse selon Ibn al-Haytham. in: *Mathématiques et philosophie de l'antiquité à l'âge classique.* Rashed ('edit). Paris, Editions du CNRS, 1991, 131-162. A. Djebbar & K. Jaouiche, L'analyse et la synthèse chez Ibn al-Haytham. Édition critique, analyse et traduction française. A paraître.

43. A. Anbouba: As-Samaw'al Ibn Yahyã al-Maghribï. *Al-Machrek*, Janvier-Février, Beyrouth, 1961. S. Ahmad & R. Rashed: *Al-Bãhir fi-l-Jabr.* Damas, 1972.

des écrits d'Archimède, ces recherches débuteront par les travaux des frères Banu Musã sur *la détermination des surfaces des figures planes et sphériques* comme l'indique le titre de leur ouvrage collectif[35]. Elles seront poursuivies par Thãbit Ibn Qurra avec ses études sur les paraboles, les ellipses, les paraboloïdes et sur le moment d'inertie d'une barre homogène[36], puis par son petit-fils, Ibrãhïm Ibn Sinãn, qui améliorera les méthodes de raisonnement par l'introduction de la transformation affine[37]. Enfin, dans la seconde moitié du X^{e} siècle, ou au début du XI^{e}, Ibn al-Haytham étudiera le paraboloïde sphérique en utilisant des propositions arithmétiques sur les séries de puissances que les mathématiciens européens établiront de nouveau au XVII^{e} siècle[38].

En conclusion de cette rapide évocation des aspects essentiels de l'apport original des savants des pays d'Islam dans les domaines traditionnels, il faudrait dire quelques mots au sujet de leurs recherches portant sur les fondements de mathématiques et de leurs réflexions sur les objets et les instruments nouveaux introduits à partir du IXe siècle. L'esprit critique avec lequel ces savants ont étudié l'héritage mathématique grec les a amené à élaborer une réflexion nouvelle sur les fondements de la géométrie d'une part et sur la nature et le rôle des outils mathématiques, d'autre part.

En Géométrie, une véritable tradition de recherche s'est établie, entre le IXe et le XIIIe siècle, autour du cinquième postulat du livre I des *Éléments* d'Euclide sur lequel repose tout l'échafaudage de la géométrie euclidienne. Parmi les savants qui ont contribué à ces travaux, on peut citer, dans l'ordre chronologique, an-Nayrãzï et Thãbit Ibn Qurra au IX^{e} siècle, Ibn al-Haytham et ^{c}Umar al-Khayyãm au XI^{e}, Nasïr ad-Dïn at-Tusï et Muhyï ad-Dïn al-Maghribï au XIII^{e}[39].

Prisonnières des méthodes euclidiennes et parfois des conceptions aristotéliciennes, ces recherches ne pouvaient aboutir sans transgresser ces limites. Cela dit, replacées dans le processus continu de l'activité mathématique, ces tentatives apparaissent comme une étape nécessaire à l'avènement des géométries non-euclidiennes. C'est bien ainsi d'ailleurs

35. H. Suter: "*Uber die Geometrie der Sohne des Mûsa ben Shakir.*" *Bibliotheca Mathematica*, 3, F.3, 1902, p. 259-272.

36. K. Jaouiche: *Le livre du Qarastun de Thãbit Ibn Qurra.* Leyde, Brill, 1976.

37. B. Rosenfeld: Geometrical transformations in the medieval East. in: XIIe Congrès *International d'Histoire des Sciences. III,* a, 1971, p. 123-131.

38. R. Rashed: Ibn al-Haytham wa hajm al-mujassam al-mukãfi. *Journal for the History of Arabic Science.* Vol. 5 n° 1-2, 1981, p. 3-74.

39. K. Jaouiche: *La théorie des parallèles chez les Arabes.* Op. cit.

qui ne concernent pas exclusivement la Géométrie d'ailleurs, mais qui y sont apparus et qui ont, par la suite, bénéficié des progrès de l'Agèbre.

La première de ces tendances est partie des problèmes de la tradition grecque sur la constructibilité des points et des figures du plan: c'est après avoir été souvent confrontés à des problèmes non constructibles que les mathématiciens arabes ont été amenés à élargi la notion d'existence géométrique ou algébrique, par l'utilisation systématique des sections coniques. Cela aboutira, en particulier, aux travaux commencés par Abu'l-Jud et achevés par al-Khayyãm, en vue d'établir une théorie géométrique des équations cubiques[32].

La seconde de ces tendances a visé l'étude des courbes pour elles mêmes dans le but d'en connaître les propriétés les plus accessibles, compte tenu des instruments théoriques dont on disposait alors. Cet aspect des recherches géométriques arabes est le moins bien connu à cause de la disparition de certains travaux fondamentaux. Mais l'ignorance de ces travaux a amené certains spécialistes en histoire des sciences à décréter, tout simplement, que les mathématiciens arabes n'avaient pu réaliser aucun progrès en Géométrie et qu'ils étaient même restés en deçà du niveau des grecs[33].

Pourtant, au vu de certains textes encore existants comme celui de Thãbit Ibn Qurra sur les ellipses ou celui d'as-Sijzï sur les hyperboles et, surtout, au vu des témoignages dignes de foi comme celui d'al-Khayyãm, relatif aux travaux perdus d'Ibn al-Haytham ou celui du philosophe Ibn Bãjja sur l'étude, par son professeur Ibn Sayyid, des courbes de degré supérieur à deux, il parait désormais incontestable que des progrès significatifs ont été réalisés dans ce domaine, même si des facteurs encore extérieurs aux mathématiques arabes ont provoqué la rupture de cette tradition géométrique féconde qui devra attendre parfois le XVII^e^ siècle pour renaître dans un contexte différent[34].

La troisième voie suivie par les recherches géométriques arabes est celle qui s'est attachée à résoudre des problèmes de mesure, à l'aide de méthodes et de techniques infinitésimales. Bénéficiant partiellement

32. R Rashed & A Djebbar *L'œuvre algébrique d'al-Khayyãm*, Alen I. H. A. S 1981.

33. R. Taton: *Histoire générale des sciences.* Paris 1957, p. 455-456. Article écrit par L. Massignon et R. Arnaldez.

34. L. Karpova & B. Rosenfeld: The treatise of Thãbit Ibn Qurra on section of cylinder and on its surface. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* n° 94, 1974, p. 66-72. Pour Ibn al-Haytham, cf.: R. Rashed & A. Djebbar: L'œuvre algébrique d'al-Khayyãm op. cit. p. 66. J. Alaoui: *Rasã'il falsafiyya* li Abï Bakr Ibn Bãjja. Beyrouth, Dãr ath-thaqãfa-Casablanca, Dãr an-Nashr, 1983.

La troisième orientation qui a été révélée, en partie, par les recherches sur les déterminations infinitésimales, concerne l'étude des suites et des séries numériques finies. Commencées par l'étude des suites arithmétiques et géométriques, ces recherches se sont poursuivies par le calcul de certaines séries d'entiers qui interviennent, en particulier, dans la détermination des surfaces et des volumes par la méthode d'exhausition[25]. L'introduction de ces séries dans des livres d'enseignement, comme ceux d'al-Hassãr (XIIe s.), au Maghreb, ou d'Ibn al-Majdï (m. 1447), en Egypte, révèle d'ailleurs leur rôle d'instrument de calcul, notamment dans la résolution de certaines équations[26].

Beaucoup plus qu'en théorie des nombres, les recherches en géométrie répondaient à la fois à des besoins réels de la société arabo-musulmane et à des exigences internes à la tradition mathématique elle-même. Sur le plan pratique, on peut citer les traités des frères Banu Musã et d'Abu-l-Wafã' en Géodésie et en Arpentage[27], ceux d'Ibn al-Haytham et d'al-Fãrisï en Optique géométrique[28], d'al-Jazarï et de Taqiy ad-Dïn en Géométrie mécanique[29], d'Abu l-Wafã' et d'al-Kãshï en Architecture[30] et enfin les travaux d'al-Bïrunï et d'al-Hasan al-Murrãkushï sur la géométrie des instruments astronomiques[31].

Sur le plan théorique, on peut dégager trois tendances essentielles

25. Il s'agit des séries qui interviennent dans l'encadrement d'une surface (parabole) ou d'un volume (sphère, paraboloïde), par des surfaces rectangulaires ou des volumes parallélépipédiques selon le procédé des sommes de Darboux inférieures et supérieures. Cf. A. P. Youschkevitch: *Les mathématiques arabes.* Op. cit., p. 124-129.

26. H. Suter: *Das Rechenbuch des Ab,* Zakariyyã al-Hassãr, *Bibliotheca Mathematica.* II, 1901, p. 12-40. Ibn al-Majdï: Hãwï l-lubãb. Ms. Brit Mus., add. 7469.

27. Le livre des frères Banu, Musã est intitulé *Kitãb al-hiyal.* Cf. Ibn an-Nadim: al-Fihrist, Op. cit, p. 343. L'ouvrage d'Abu-l-Wafã' a pour titre: *Kitãb fi ma yahtãju ilayhi as-sãnic min ^{c}amãl al-handasa.* Cf. F. Woepcke: Analyse et extrait d'un recueil de constructions géométriques par Aboul Wafã. *Journal Asiatique*, 5, 1855. p. 218-256 et 309-359.

28. M. Nazif: *Al-Hasan Ibn al-Haytham buhuthuhu wa kushufuhu al-basariyya.* Le Caire, vol. I et II, 1942-43.

29. A. Y. Al-Hasan, *al-Jãmi^{c} bayna l-^{c}ilm wa l-^{c}amal.* Alep, I. H. A. S., 1979. Du même auteur: *Taqiy ad-Dïn wa-l-handasa al-mïkãnïkiyya al-carabiyya.* Alep, I. H. A. S., 1976.

30. Pour Abu l-Wafã', cf. note 28. Pour al-Kãshï, cf. : A. s. Damirdash & M. H. Al-Hafni: *Miftãh al-hisãb.* Le Caire, 1967. p. 176-188.

31. Al-Bïrunï: *Kitãb fi istï^{c}ãb al-wujuh al-Mumkina fi san^{c}at al-asturlãb.* Ms. Leiden, Or. 591/4e. Al-Hasan al-Murrãkushï: Jãmic al-mabãdi'wa l-ghãyãt. Ms. Paris n° 2507-2508. Trad. J. J. Sédillot: *Traité des instruments astronomiques des Arabes.* Paris, 1834-35, vol. 1-2.

Le second aspect de l'innovation concerne la résolution de problèmes non résolus par les Anciens ou dont la résolution a été jugée non satisfaisante. Il en est ainsi, par exemple, de la proposition IV du Livre II de *la Sphère et du cylindre* d'Archimède, du problème de la multisection d'un angle avec, en particulier, la construction de l'heptagone et de l'ennéagone[22], ou enfin de l'étude particulière de certaines classes d'entiers comme les nombres premiers et les nombres parfaits.

Mais, l'aspect sur lequel pendant longtemps les livres d'histoire des sciences n'ont pas suffisamment insisté et qui demeure encore imparfaitement connu est celui concernant les problèmes nouveaux que se sont posés les mathématiciens arabes et qui ont mené à l'établissement de résultats importants et parfois même à la création de nouvelles disciplines. Voici, brièvement évoqués, quelques uns des célèbres problèmes traités entre le IX^{e} et le XII^{e} siècle.

Au vu des manuscrits connus et analysés, les recherches en Arithmétique se sont orientées vers trois directions: la première a concerné l'étude des nombres premiers. Elle a débuté avec les travaux de Thãbit Ibn Qurra sur les nombres amiables et s'est poursuivie avec ceux d'Ibn al-Haytham (m. 1041) et d'al-Fãrisï[23].

La seconde orientation de la recherche en Théorie des nombres, suggérée par une lecture algébrique des *Arithmétiques* de Diophante, suscitera deux types de travaux: Les uns concerneront la résolution des systèmes d'équations indéterminées dans l'ensemble des entiers ou des rationnels, comme cela est traité dans le *Kitãb al-tarã'if fi-l-hisãb* d'Abu Kãmil (m. 930) et dans le *Fakhrï* d'al-Karajï, les autres seront consacrés à l'étude des triangles rectangles unmériques et des nombres congruents. Parmi les chercheurs qui y ont contribué, on peut citer Abu-l-Jud, al-Khãzin, as-Sijzï, tous des mathématiciens du XI^{e} siècle, ainsi qu'Ibn al-Haytham[24].

Ms. Rabat n° 416 Q, p. 315-325.

22. Algébrisés, ces problèmes aboutissaient à des équations du 3e degré. Cf. a. Anbouba, Construction de l'heptagone régulier par les arabes au IVe siècle de l'hégire. Journal for the *History of Arabic Science*, 1978, p. 264-269. Cf. également A. P. Youschkevitch: Les mathématiques arabes. *op. cit.* p. 93-94. ainsi que R. Rashed: "La construction de l'heptagone régulier par Ibn al-Haytham" *Journal for the History of Arabic Science* 1979 p 309-3.

23. F. Woepcke: "Notice sur une théorie ajoutée par Thãbit ben Korrah à l'arithmétique spéculative des Grecs". *Journal Asiatique,* série 4, 20, 182; R. Rashed: *Entre Arithmétique et Algèbre.* Paris, Les Belles lettres, 1984.

24. A. P. Youschkevitch: *Les mathématiques arabes.* Op. cit., p. 66-69.

n'est pas possible d'en exposer le contenu en quelques lignes. Nous nous contenterons donc, ici, d'en dégager les aspects essentiels et les orientations nouvelles qu'elles ont suscitées, même lorsque ces orientations n'ont pas toujours bénéficié des conditions favorables, extérieures à la science, qui leur auraient permis de déboucher sur des résultats encore plus importants ou même sur de nouvelles disciplines.

Un premier aspect de l'innovation a été une relecture des traités classiques avec, en particulier, l'arithmétisation du Livre X des *Éléments* qui a permis la manipulation des irrationnels quadratiques[18], la reformulation de la notion de rapport du Livre V qui a abouti à l'extension du concept de nombre à tous les réels positifs[19], favorisant ainsi, sous l'impulsion de l'astronomie, l'élaboration de nouvelles techniques d'approximations.

En théorie des nombres, deux livres grecs, en dehors des *Éléments*, ont été à l'origine des recherches ultérieures: *l'Introduction arithmétique* de Nicomaque, qui sera étudiée selon le point de vue des suites[20] et, à partir du X[e] siècle, les Arithmétiques de Diophante qui feront l'objet d'une lecture algébrique féconde, comme on le verra par la suite[21].

---

18. Ce livre géométrique étudie les binômes et les apotomes qui sont des grandeurs que l'on exprime aujourd'hui ainsi: .Dès le milieu du IXe siècle, des algébristes, comme al-Māhānī, étendront cette étude à des grandeurs de la forme:, et à d'autres, sans tenir compte de leurs supports géométriques, et ils les introduiront, aux côtés des entiers et des rationnels, dans les résolutions d'équations, en particulier en Astronomie. Cf. ms. Paris, B.N., n° 2457 et ms. Tunis, B. N., n° 16167.

19. L'un des travaux les plus originaux dans ce domaine a été réalisé par cUmar al-Khayyām dans sa *Risāla fi sharh mā ashkala min musādarāt Uqlīdis.* A peu près à la même époque, en Espagne cette fois, Ibn Mucādh al-Jayyānī abordait le même problème dans sa *Maqāla fi sharh an-nisba.* Cf. A. I. Sabra: *cUmar al-Khayyām, Musadarāt Uqlīdis.* Alexandrie, 1961. Pour al-Jayyāni, voir: Ms. Alger n° 1446, ff. 74 a-82 a.

20. Parmi les algorithmes utilisés par les astronomes et les algébristes, il y avait ceux qui servaient à l'approximation de la racine n ième d'un nombre. Pour plus de détails sur ces méthodes, cf. : A. P. Youschkevitch: *Les mathématiques arabes (VIIIe-XVe siècles).* Paris. Vrin 1976. p. 160-163; R. Rashed: *Résolution des équations numériques et algèbriques*: Sharaf *al-Dīn al-Tusī*, Viète. *Archives for the History of Exact Sciences,* vol. 12, n° 3, 1974, p. 244-290; A. Djebbar: Enseignement et recherche mathématiques dans le Maghreb des XIIIe-XIVe siècles. Paris, Publications mathématiques d'Orsay, 1981, n° 81-02, p. 34-37.

21. Op. cit. p. 76-91. Dans cette étude, est analysée la contribution d'Ibn al-Bannā dans le domaine des nombres polygones, des combinaisons de n objets p à p et des relations existant entre ces deux notions. Avant Ibn al-Banna', Ibn Muncim avait déjà exposé, dans son Fiqh al-hisāb, certains aspects des nombres figurés, en partant d'une critique de deux travaux andalous, celui d'Ibn Sayyid et celui dilbn Tāhir. Cf.

nation du temps pour les prières et le jeûne, étude du mouvement des planètes en particulier pour les besoins de la prévision astrologique, calcul exact ou approché des parts d'un héritage, élaboration de méthodes arithmétiques pour les transactions commerciales et la comptabilité des différents services de l'État, ou de méthodes géométriques pour le cadastre et l'architecture, enfin conception et fabrication d'instruments répondant à des besoins variés: Mécanismes ingénieux pour l'irrigation, miroirs ardents et engins de guerre pour les armées,astrolabes pour les marchands et les marins, automates d'agréments pour les cours princières, etc. Cette première orientation a, malgré ses préoccupations immédiates, favorisé des innovations techniques et permis des recherches théoriques en Mathématique et en Physique.

La seconde motivation est née de l'existence d'une riche tradition scientifique antéislamique. Les savants arabo-musulmans y trouveront, en plus de la matière pour leur propre formation des problèmes non résolus ou inachevés qui aiguiseront leur curiosité et orienteront ainsi certaines de leurs recherches vers des travaux sans aucun rapport avec leur vécu social.

Les domaines et les formes de l'apport des mathématiciens des pays d'Islam

Bon nombre de livres d'histoire des sciences d'Europe et d'ailleurs continuent de limiter l'apport des mathématiques des pays d'Islam à l'Algèbre et à l'Astronomie classique. Il est encore trop tôt, bien sûr, pour faire le bilan exact des démarches et des résultats originaux, mais les recherches de ces dernières décennies permettent déjà d'affirmer que cette innovation a concerné également l'Arithmétique, la Théorie des nombres, la Géométrie, la Trigonométrie, le Calcul infinitésimal et l'Analyse combinatoire.

pour certaines de ces disciplines, comme l'Algèbre, la Trigonométrie et l'Analyse combinatoire, il s'agit même de l'élaboration de matières nouvelles, soit à partir de quelques techniques anciennes, soit à partir de la résolution de problèmes concrets qui ont permis, par la suite, de dégager des notions nouvelles et de les étudier pour elles-mêmes.

Les disciplines traditionnelles

L'innovation dans les disciplines traditionnelles, c'est-à-dire la Géométrie, l'Astronomie et l'Arithmétique, a été très riche et très diversifiée et il enfaiteures comme Fãtima Umm al-Banïn qui construisit la mosquée-université des Qarawiyyines, à Fès[16]

Cela dit, si l'on y regardait de plus près, on constaterait que ce mécénat, aussi important fut-il, ne pouvait, en tant que phénomène social, se développer sans un environnement politique et économique favorable. Les historiens arabes ne se sont pas toujours préoccupés du rôle de l'économie et des grandes orientations politiques, au cours des périodes qu'ils étudiaient mais on peut découvrir dans leurs ouvrages, ici ou là, des faits et des opinions qui suggèrent des influences directes ou indirectes de ces deux domaines sur l'activité scientifique.

Ainsi, parmi les décisions ou les actes politiques qui ont objectivement eu des incidences sur cette activité on peut citer pêle-mêle: l'arabisation de la monnaie et des administrations par le khalife omeyyade ᶜAbd al-Malik, la mise en place par les abbassides, dès la fin du VIIIᵉ siècle, des premières usines à papier, inaugurant ainsi un nouveau secteur économique bientôt florissant qui favorisera une relative démocratisation de la science par la multiplication des ouvrages et leur diffusion rapide. Un peu plus tard, l'apparition des Maisons de la Science (Dãr al-ᶜilm), d'inspiration fatimide, puis des Madrasa d'orientation sunnite, en Orient et au Maghreb, aura des incidences sur le cours de l'activité scientifique, par le biais de leurs enseignements dont le contenu était désormais contrôlé par les pouvoirs en place[17].

Enfin, comme l'a si bien observé à son échelle le grand historien maghrébin du XIVᵉ siècle Ibn Khaldun, on ne doit pas occulter les crises politiques et économiques locales ou régionales et leurs effets indirects sur le ralentissement des activités scientifiques en pays d'Islam puis leur mise en sommeil durant des siècles.

Dans le prolongement de ce qui vient d'être dit on pourrait penser que, passée la période de démarrage, la science arabe a suivi des orientations déterminées entièrement par les données religieuses, politiques et économiques qui ont caractérisé les sociétés musulmanes des VIIIᵉ-XVIᵉ siècles. La réalité est en fait plus complexe, en particulier dans le domaine qui nous intéresse ici. On observe en effet que la recherche en mathématique et en physique a obéi à deux motivations distinctes.

La première, dirctement liée aux données nouvelles, sera nourrie effectivement par les sollicitations des différentes activités sociales: Détermi-

16. Ibn al-Qadï: Jadhwat al-iqtibãs. in: E. Levi-Provençal: *Extraits des historiens arabes du Maroc.* 3e édition, Paris 1948, p. 22-24.

17. Y. Eche: *Les bibliothèques arabes.* Thèse de doctorat. Paris, Sorbonne, 1949.

tude se concrétisera très vite, dans les foyers principaux, par l'apparition d'un mécénat khalifa ou princier, enthousiaste et généreux qui financera les traductions, les acquisitions de livres rares, la construction de bibliothéques publiques, d'observatoires et de laboratoires.

L'historiographie arabe classique insiste, à juste titre, sur le rôle de celui qui est considéré comme le plus prestigieux de ces mécènes, le khalife abbasside al-Ma'mun qui créa, en particulier, la fameuse Maison de la Sagesse (Bayt al-hikma), qui deviendra un haut lieu de recherche et de débats[10]. On pourrait bien sur lui associer d'autres personnages qui, sans avoir tous eu son prestige, ont tous apporté, d'une manière ou d'une autre, une contribution décisive dans ce domaine: le prince omeyyade Khãlid Ibn Yazïd constitua une des premières bibliothéques scientifiques arabes et finança des traductions d'ouvrages traitant de chimie[11]. Plus tard, dans les provinces de l'Est, l'arrivée au pouvoir d'Ulug Beg, petit fils de Tamerlan, relança les recherches astronomiques à Samarcande. En occident musulman. deux figures ont particulièrement dominé les autres dans le domaine du mécénat, celle de l'Omeyyade al-Hakam II, en Espagne et celle de l'almohade Abu Ya^{c}qub Yusuf au Maghreb.

Mais, heureusement, le mécénat a largement débordé les cours et les palais, devenant une caractéristique de certaines couches sociales plus ou moins aisées.

Ainsi, les particuliers qu'ils fussent marchands entrepreneurs ou savants fortunés ont été encore plus nombreux à venir en aide à la science, soit en rétribuant des savants, soit en entretenant des bibliothèques, soit en finançant de leur vivant, et même après leur mort par le système du Waqf (biens de main morte), la construction puis la gestion de fondations à caractère scientifique large. Il y eut ainsi des mathématiciens et des physiciens comme les frères Banu Musã à Baghdad[12] et Ibn Abï ar-Rijãl à Kairouan[13], des médecins de grand renom comme Ibn al-Matrãn à Damas[14] et Ibn an-Nafis au Carire[15] ou bien, parfois, de simples bi-

---

cette question.

10. Parmi les mathématiciens et physiciens qui travaillèrent dans ce centre, on peut citer: al-Hajjãj, al-Khawãrizmï, al-Jawharï, Sanad Ibn ^{c}Alï et les frères Banu Musã.

11. Ibn an-Nadïm: Le Fihrist, Op. cit., p. 303-304 et sqq.

12. Ibn an-Nadïm: Op. cit., p. 330-331.

13. Ch. Bouyahya: *La vie littéraire sous les Zirides.* Thèse de doctorat. Tunis. S.T.D., 1972, p. 83-88.

14. Ibn Abï Usaybica. ^{c}Uyun al-anbã'. Op. cit., p. 287-298.

15. M. A. Marhaba: *Al-Marja fi tãrïkh al-^{c}Ulum* ^{c}inda-l-^{c}Arab. Beyrouth, 1979. p. 268-274.

Ainsi, la réactivation scientifique des VIII^{e}-IX^{e} siècles a bénéficié à la fois de traditions prestigieuses avancées, relativement accessibles, et d'une langue en contact continuel avec les autres langues par le biais des échanges commerciaux et bénéficiant désormais d'un atout considérable celui d'être l'expression d'une religion triomphant. Mais, à cette époque, ces deux facteurs ne pouvaient suffire à entraîner des individus, de cultures, de langues et de religions très diverses, dans la grande aventure scientifique qui va concerner, pendant plus de quatre siècles, toutes les métropoles d'Orient, d'Asie, du Maghreb et de l'Espagne. En effet, entre le Ve et le VIII^{e} siècle, il existait bien, d'une côté, des petits îlots scientifiques, comme ceux d'Alexandrie, d'Antioche ou de Harran et, de l'autre, des hommes et des femmes assoiffés de connaissances, potentiellement créateurs et dont les intelligences sont pourtant restées en friche.

C'est presque une évidence de dire que c'est l'avènement de l'Islam puis son extension, relativement rapide, qui ont crée les conditions nouvelles pour un bond en avant dans des domaines aussi différents que le commerce à grand rayon, la technologie industrielle, la théologie, l'astrologie, la philosophie et les sciences exactes. Mais, cette évidence première resterait ambiquë sans une analyse permettant de dégager les liens qui se sont tissés entre la nouvelle religion, apparue à un moment donnée de l'histoire des sociétés anté-islamiques, et les composantes dynamiques de ces sociétés. Non seulement cela n'enlèverait rien à l'importance du phénomène religieux, mais cela permettrait également de mieux appréhender son rôle en tant que projet culturel et surtout en tant que vecteur politique et idéologique à multiples facettes. Ne pouvant mener une analyse approfondie dans le cadre restreint de cet exposé, nous nous contenterons de présenter quelques faits précis qui ont eu un lien avec les premiers pas de la science arabe et qui ont parfois pesé sur son contenu et sur ses orientations.

Sur le plan religieux, les passages explicites ou les allégories des deux textes fondamentaux-le Coran et le Hadith[8]-ont façonné aux premiers temps de l'Islam, une attitude très favorable aux sciences[9] Cette atti-

8. Le Hadith est l'ensemble des paroles et des actes du Prophète Muhammad.

9. Les versets coraniques et les hadiths les plus importants qui concernent les sciences, au sens large, ont été même sollicités pour défendre telle ou telle discipline lorsqu'elle était menacée par ses détracteurs. C'est ce qui ressort en particulier du Kitāb Irshād al-Qāsid d'Ibn al-Akfānī (Ms. Escurial n° 949, ff. 2a-6a) qui rassemble de nombreuses références coraniques pour prouver l'utilité des sciences. Son argumentation laisse supposer qu'au XIVe siècle un débat sérieux a peut-être été de nouveau engagé sur

ers intellectuels avant l'avènement de l'Islam[5].

Il est d'ailleurs utile de faire, à propos de ces traductions, plusieurs remarques qui concernent les rapports entre ce phénomène et celui de la réactivation scientifique en Méditerranée orientale à partir du VIII^e siècle.

Certains ouvrages fondamentaux ont bénéficié de plusieurs traductions et leurs chapitres ou leurs propositions ont subi différents réarrangements. Ce fut le cas, par exemple, des *Éléments* d'Euclide (traduits par al-Hajjãj deux fois puis par Ishãq Ibn Hunayn et enfin corrigés par Thãbit Ibn Qurra). Ce fut également le cas de *l'Almageste* de Ptolemée[6] et de *Coniques* d'Apollonius[7]. Ces améliorations successives répondaient à un besoin de rigueur qui ne faisait que refléter un double progrès, celui des mathématiques et celui de la langue arabe elle-même. Le premier phénomène devant être évoqué plus amplement par la suite, disons quelques mots du second, c'est à dire l'enrichissement de l'arabe de différentes terminologies scientifiques. Cet enrichissement est le résultat de deux phénomènes importants intérieurs à l'activité scientifique: le premier est l'apparition puis le développement d'une recherche, avec son esprit, ses règles, ses structures et ses hommes qui vont explorer des domaines nouveaux, créer des objets et des outils puis, dans le même temps, forger les mots pour les dire et pour les utiliser. Le second phénomène, indissociable du premier et d'une portée sociale encore plus grande, est la mise sur pied progressive d'un enseignement qui sera longtemps de qualité, grâce à sa capacité d'intégrer très rapidement des méthodes et des résultats nouveaux et d'assurer, par sa pratique quotidienne, la transmission de cette nouvelle langue scientifique et sa pérennité.

5. Sur les activités de traduction de ces foyers grecs et syriaques, voir: A. Djebbar: Le phénomène de traduction et son rôle dans le développement des activités scientifiques en pays d'Islam. Paru dans: *Les Écoles savantes en Turquie*: Sciences, philosophie et arts au fil des siécles. Actes des journees d'Ankara (24 au 29 avril 1995). Istanbul, Isis, 1996, p. 93-112. Parmi les première traductions mathématiques, on peut citer celles de Muhammad al-Fãzãri vers 773, à partir de textes astronomiques indiens. Puis, selon les besoins, des traductions ou des retraductions ont été réalisées tout au long du IXe siècle et jusqu'à la seconde moitié du Xe siècle, comme en témoigne la traduction des Arithmétiques de Diophante par Qustã Ibn Luqã, à la fin du IXe siècle ou au début du Xe.

6. Il fut traduit également par al-Hajjãj puis par Ishãq Ibn Hunayn. Cf. Ibn an-Nadïm: *al Fihrist.* Op. cit., p. 327.

7. Sur les huit livres composant ce traité, seuls les sept premiers étaient parvenus aux Arabes en entier. Ouatre furent traduits par Hilãl al-Himsï et les trois autres par Thãbit Ibn Qurra.

arabe ne fait pas exception à cela. Un rappel des traditions mathématiques antérieures au VIII^e siècle est donc nécessaire pour mieux apprécier la nature des apports nouveaux, leur importance et leur impact. En nous basant sur les témoignages des savants arabes eux-mêmes, comme al-Bïrünï par exemple[1], ainsi que sur les traductions des ouvrages mathématiques dont les titres nous ont été transmis par les biobibliographes arabes comme Ibn an-Nadïm, Ibn al-Qiftï ou Ibn Abï Usaybi^{c}a[2], on peut avancer plusieurs remarques: On constate, en premier lieu, que malgré son importance qualitative et quantitative, l'héritage scientifique grec n'a pas été seul à l'origtine de la science arabe. Il faut y ajouter les traditions astronomiques persanes[3] et surtout indiennes transmises par l'intemédiaire des Sindhind[4], ainsi que les techniques du calcul indien basées sur les systèmes déciemal et sexagésimal. Aces deux influences non grecques, il faudrait également associer une troisième, celle des Babyloniens que les biographes et les mathématiciens ont généralement omis de signaler mais que confirme l'analyse des textes arabes en particulier dans le domaine des algorithmes de calcul exact ou approché et dans celui des résolutons d'équations simples. Il y enfin toutes les traditions locales liées aux activités économiques, comme les techniques d'arpentage ou bien le calcul digital et le calcul mental dont certains aspects, perpétués par la pratique quotidienne, ont longtemps résisté à l'extension du systèm décimal, amenant les mathématiciens à les étudier et à leur donner des justifications théoriques.

Cela étant, il est indéniable que l'héritage antéislamique le plus important a été celui des mathématiques grecques qui seront accessibles soit directement par des traductins du grec à l'arabe, soit indirectement à partir de traductions syriaques qui étaient utilisées dans quelques foy-

---

1. Al-Bïrünï: *al-Oãnun al-Mas^{c}udï*, Hayderabad 1954-56. Cf. également son ouvrage *Fi rashïkãt al-Hind* traduction et commentaires par B.A. Rosenfeld in: *Histoire des sciences et des techniques dans les pays d'Orient,* fasc. III, Moscou 1963

2. Ibn an-Nadïm: *al-Fihrist.* Rida Tajaddud (édit.). Téhéran 1971. Ibn al-Qifftï: *Akhbãr alulamã' bi Akhbãr al-hukamã'.* Beyrouth, Dãr al ãthãr, non datée. Ibn Abï Usaybi^{c}a: *cUyun al-anbã' fi tabaqãt al-atibbã'.* Beyrouth, Dãr ath-thaqãfa, 1976.

3. D'après Ibn an-Nadïm (op. cit. p. 305), cAlï Ibn yazïd at-Tamïmï a traduit les tables astronomiques persanes intitulées Zïj Shãhriyãr.

4. Al-Bïrunï: *Kitãb Tahqïq mã li l-Hind.* Hayderabad, 1958. Il faut bien reconnaître que, lorsqu'il s'agit de se référer à des ouvrages indiens, les auteurs arabes n'ont pas toujours la rigueur qu'on leur connaît à propos des savants grecs. Cela est peut-être dû à la moindre importance quantitative de ces ouvrages, comparés aux traités fondamentaux grecs, ou tout simplement à des ruptures de tradition dont nous ignorons les causes.

du XIX^{e} siècle, en Europe même, et malgré les mouvements nationaux du XX^{e} visant à l'indépendance politique.

Quant aux deux mille ans d'activités scientifiques qui ont précédé et surtout permis le grand bond en avant des "temps modernes", ils ont été longtemps réduits à la période grecque qui ne va pas d'ailleurs au delà du VI^{e} siècle et qui, malgré son importance, ne pouvait, à elle seule, redynamiser les nombreux secteurs d'une activité scientifique qui s'était assoupie en Europe entre le VIII^{e} et le XIV^{e} siècle.

Il y a eu, certes, depuis la fin du XIX^{e} siècle d'importants travaux concernant les sciences indiennes, arabes ou chinoises mais, le plus souvent, ces travaux n'ont pas dépassé le cercle de spécialistes. Pour prendre l'exemple de la science musulmane, on constate que les efforts faits par des particuliers ou par des institutions pour les mettre à la portée des enseignants ont été, pendant des décennies, rares, discontinus ou tout simplement inexistants. La situation n'est d'ailleurs pas brillante aujourd'hui, malgré la multiplication des publications de vulgarisation car certains de leurs auteurs continuent, volontairement ou par ignorance, à minimiser le rôle joué par les savants non européens dans le développement des activités scientifiques, tandis que d'autres-et c'est le cas de plusieurs livers arabes parus ces vingt dernières années-sont soit trop généraux et trop imprécis, soit trop apologétiques pour être tout simplement crédibles.

Cette exposé qui ne concerne que les activités mathématiques vise à compléter l'information du lecteur, en l'actualisation parfois sur la base travaux publiés au cours de ces deux dernières décennies. D'une manière plus précise, nous évoquerons les aspects essentiels de l'innovation mathématique en pays d'Islam, durant la période créatrice, c'est à dire entre le VIII^{e} et le XIV^{e} siècle, en tentant de dégager les causes internes et externes qui ont permis, favorisé ou entravé les recherches nouvelles et ce, compte tenu des interactions connues ou supposées entre les différentes sciences de la civilisation arabo-musulmane d'une part et entre ces sciences et leur environnement économique et culturel d'autre part.

Le contexte de la redynamisation des sciences à partir du VIII^{e} siècle

Le redynamisation d'une activité scientifique dans le cadre d'une civilisation donnée est évidemment inconcevable sans l'acquisition d'au moins une partie du patrimoine des civilisation qui l'ont précédée, et la science

La Science Islamique: naissance et développement à travers l'exemple des mathématiques

A. Djebbar
Université Paris-Sud

Introduction

Pour un nombre de plus en plus grand de scientifiques, enseignants ou chercheurs, la nécessité de connaître le contenu de l'histoire des sciences et de l'intégrer dans l'enseignement n'est plus à démontrer. Pour des raisons pédagogiques, culturelles, idéologiques ou pour la simple curiosité intellectuelle, ces scientifiques s'initient à elle et encouragent parfois sa diffusion.

Mais, la tendance des chercheurs et des enseignants a été pendant longtemps de privilégier la production scientifique des trois derniers siècles pour les bouleversements qu'elle a provoqués dans le domaine de la connaissance, pour les problemes ouverts qu'elle a légués aux chercheurs à venir (et dont certains n'ont toujours pas été résolus) et enfin parce que, tout simplement, la science moderne s'étant développée en Europe, ou d'une manière générale dans l'aire culturelle occidentale, son histoire en a gardé certaines conceptions et même certains a priori que l'on pourrait qualifier d'européo-centristes ou de globalement occidentaux.

Il n'est pas superflu d'ailleurs de constater, aujourd'hui encore, la persistance de ces conceptions et de ces a priori non seulement dans l'enseignement scientifique européen, mais également dans celui de certains pays anciennement colonisés et ce malgré les ruptures idéologiques

Ayene-ye Miras, vol.5, no.4 (no.20), pp. 27-50

Bibliographie: Aristote: *De l'âme*, Livre II, Ch. 7. V. aussi le petit traité intitulé *De la sensation et des sensibles* qui fait partie des *Parva naturalia.* Il vient d'être bien traduit en français par P.M. Morel en livre de poche, Garnier Flammarion sous le titre *Petits traités d'histoire naturelle*, Paris, 2000. V. en particulier Ch. 2-3, pp. 68-77. Les différentes théories de la vision sont discutées dans le petit livre de Gérard Simon, *Le regard, l'être et l'apparence dans l'Optique de l'Antiquité.* Paris, Seuil, 1988. La théorie aristotélicienne est l'objet des pages 42-45.>>

Remarque:

J’ai donné cet article à Monsieur le Professeur Bernard Vitrac pour une relecture. Monsieur Vitrac, après l’avoir lu, m’a fait parvenir les remarques suivantes:

<<L’argument d’al-Farabi sur la non-existence du vide me paraît basé sur la théorie aristotélicienne du visible et du diaphane (ou transparent) exposé au Livre II, Chapitre 7 du *De anima.*

Cette théorie s’oppose explicitement à celle d’Empédocle qui fait de la lumière une propagation.

Elle s’oppose aussi à celle de Démocrite qui, selon Aristote, affirmait que si le vide se produisait on verrait très clairement les moindres choses, y compris une fourmi dans le ciel (419 a15-17). Au contraire, dans la théorie d’Aristote, sans milieu, on ne verrait rien du tout dans le vide.

A partir de là on peut imaginer un argument - pas une expérimentation – sur la *non* existence du vide: s’il existait quelque part dans l’univers une portion vide, on n’y verrait rien quand bien même elle serait éclairée par une source lumineuse. Or ceci ne se produit pas. Donc de telles portions de vide n’existent pas.

Un partisan du vide n’a que deux solutions en face de cet argument:
• prouver empiriquement l’existence du vide en mettant en évidence le phénomène prédit dans l’argument aristotélicien. Mais nous savons aujourd’hui qu’il ne le pourra pas car la lumière se propage dans le vide.
• soit attaquer la théorie aristotélicienne du visible et du diaphane et montrer - par un autre argument - sa fausseté. La réfutation aristotélicienne de l’existence du vide ne sera donc plus probante. Bien entendu cela ne démontre pas l’existence du vide mais en laisse ouverte la possibilité.

faveur de l'impossibilité du vide dans la nature.[40]

Duhem lui-même, tout en admirant la théorie de Bacon a compris que celle-ci avait subit une influence islamique, bien qu'il ait nettement minimisé son importance. A la lumière de ce traité d'al-Farabi, récemment redécouvert, il devient maintenant nécessaire de modifier le point de vue de Duhem et de conclure que la part jouée par Roger Bacon n'était pas vraiment originale. Al-Farabi était à l'origine de la nouvelle hypothèse et une recherche ultérieure ne pourra changer cette conclusion que s'il apparaît que ces vues existaient déjà avant l'hypothèse d'al-Farabi.

40. Gilles de Rome à la suite de Roger Bacon a utilisé également l'expérience de la ventouse comme un argument en faveur de l'horreur du vide.

La ressemblance entre le texte de Gilles et celui d'al-Ghazali est très évidente. Voilà ce que Gilles de Rome dit à ce propos:

"De cette façon, dans une foule de circonstances, il se produit une traction afin qu'il n'y ait pas de vide. C'est manifeste pour la ventouse; si l'on y met de l'étoupe enflammée, ce feu raréfie l'air contenu dans la ventous; qu'on pose alors la ventouse sur la chair; comme le feu s'éteint, cet air se refroidit et occupe moins de place; alors, pour que le vide ne se produise pas, il se fait une attraction de la chair..." (P. DUHEM "Roger Bacon et l'horreur du vide", op. cit. p. 274).

de peur que ses affirmations soient interprétées dans le sens d'une cause efficiente du vide. Selon lui, il est faux de dire que le vide exerce une attraction. La nature tend plutôt à préserver la continuité et la contiguïté de cette partie. Il prétend, en outre que ce comportement des corps a la priorité sur les lois d'Aristote relatives au mouvement des corps. C'est-à-dire, qu'un corps restera dans une place qui ne lui est pas naturelle ou même s'en éloignera plutôt que de permettre la formation du vide.[38]

Toutes ces idées existent chez al-Farabi. Seule l'idée de continuité spatiale intervient sous une forme générale chez Bacon. Par une généralisation de nature purement théorique il l'a considérée comme valable pour toutes les régions de l'univers et il ne l'a pas limité à une propriété réciproque de l'eau et de l'air. Il cite, par example, l'adhérence d'un solide à un solide et d'un liquide à un solide. Bacon présente ainsi l'hypothèse d'al-Farabi avec plus de détails et il étend son champ d'application en citant une varété d'expériences démontrant sa validité tandis qu'al-Farabi n'en mentionnait qu'une. L'expérience rapportée par al-Farabi ne se trouve pas chez Bacon, ceci peut expliquer leurs principaux points de divergence.

En effet, la différence la plus significative entre al-Farabi et Bacon vient du fait qu'al-Farabi accorde une importance particulière aux propriétés de l'air tandis que dans la version plus générale de l'hypothèse chez Bacon cet accent a disparu. Car Bacon, contrairement à al-Farabi, ne parle ni de la compressibilité ni de l'élasticité de l'air. Cela nous fait supposer que le savant chrétien aurait reçu la théorie d'al-Farabi par l'intermédiaire d'autres sources islamiques.

On sait aujourd'hui que Bacon connaissait bien l'œuvre d'al-Ghazali, notamment *les buts du philosophe* qui a été traduit en latin sous le titre de *Métaphysique*[39]. Cet élément historique nous permet de supposer que ce livre d'al-Ghazali peut avoir orienté Roger Bacon vers la théorie d'al-Farabi, d'autant plus que le savant chrétien, comme son successeur musulman, a signalé l'expérience de la ventouse comme un argument en

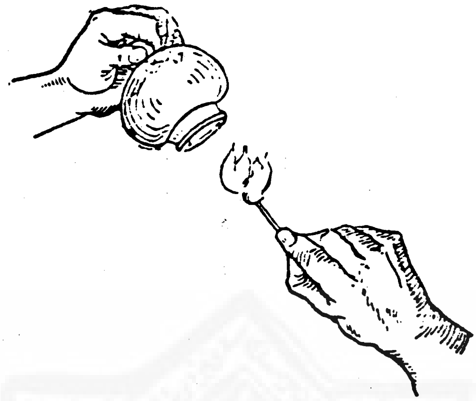
38. Ibid pp. 256-257, 265.

39. Roger Bacon, par exemple à la page 327 de son *Questiones super libras physicorum* (publié par F. Delome en 1935), mentionne ainsi d'al-Ghazali et sa *Méaphysique*: "Item, primo Metaphysia Argazeli: si accipiatur quadratum et...". Pour en savoir plus, voir aussi:

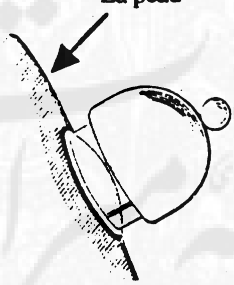
* M. BOUYGES: "Roger Bacon a-t-il lu des livres arabes?" dans *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du Moyen-âge*, 5 (1930) pp. 311-315.

* D. SALMAN, "Algazel et les latins" dans *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du Moyen-âge*, 10 (193666) pp. 103-127.

pas attirée, le vide interviendrait ce qui n'a pas lieu ..."[36]



Après avoir raréfié l'air de la ventouse par le feu, on la met sur la peau



III-2- En Occident chrétien

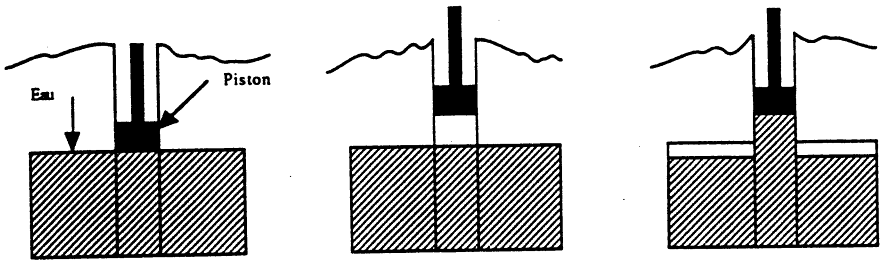
D'après les écrits des scolastiques des treizième et quatorzième siècles européens portant sur la question de l'horreur du vide, Duhem est arrivé à la conclusion que cette hypothèse était une contribution personnelle de Roger Bacon et qu'elle avait été crée et formulée exclusivement par lui. Duhem croit avoir détecté toutes les phases du développemet de cette idée dans le travail de Roger Bacon et prétend que seul un germe rudimentaire, à savoir l'idée d'une force attractive exercée par le vide doit provenir des sources de Roger Bacon.[37]

Les caractéristiques distinctives de cette hypothèses que Duhem prétend être de Roger Bacon sont les suivantes:

Pour rendre compte, dans le cadre de l'hypothèse des faits observés, d'un grand nombre d'expériences Roger Bacon prend des précautions

36. Ibid, p. 242.

37. Ibid pp. 266-267, 241, 253-254, 284.



Mécanisme des pompes aspirantes

Un jour cependant l'hypothèse de la continuité spatiale connnaîtra le sort qu'a connu l'hypothhèses du lieu naturel. Un fontainier de Florence ayant construit une pompe plus longue que les pompes ordinaires, remarqua avec surprise que l'eau ne s'y élevait jamais au-dessus de trente-deux pieds. Evangelista Torricelli réalisa l'expérience du vif-argent et Pascal en suivant l'expérience de Torricelli découvrit finalement la théorie de la pression atmosphérique.

Chapiter III: La théorie d'al-Farabi en Orient musulman et en Occident chrétien

III-1- En Orient musulman

La théorie d'al-Farabi a influencé certains philosophes de l'islam, notamment Abu Hâmed al-Ghazali, grand théologien iranien du XI siècle. Celui-ci qui avait mené une guerre vigoureuse contre tous les hérétiques et infidèles, sans se référencer à al-Farabi, exposa, dans son livre intitulé: قاصد الفلاسفه (les buts des philosophes) la théorie de ce dernier comme un argument écrasant contre les atomistes. Al-Ghazali est même allé plus loin que son prédécesseur en généralisant la théorie de la continuité spatiale de l'air et de l'eau pour tous les corps dans la nature. Il indique que les corps tendent toujours à préserver leur continuité et leur contiguïté spatiale afin d'éviter le vide.

Par exemple:

"Par la succion, l'air est attiré et, avec l'air se trouve attirée la peau de l'homme auquel on veut appliquer la ventouse; en effet, si elle n'était la remplacer par une théorie plus complexe."[35]

Ce remplacement a été effectué comme nous l'avons vu par al-Farabi. La théorie de celui-ci était à son tour une bonne théorie physique, à partir d'un petit nombre de principe elle prenait en compte certains phénomènes qui ne pouvaient pas être expliqués par la théorie d'Aristote.

Cette théorie qui a été transformée plus tard en occident en la fameuse formule: "la nature a horreur du vide" expliquait en outre le phénomène des pompes aspirantes.

Pompe aspirante

En effet, d'après la théorie d'al-Farabi, lorsque l'on aspire l'air de la pompe, celui-ci qui était à son état d'expansion, retourne à volume naturel. L'eau souterraine qui doit être en contact permanent avec l'air suit celui-ci dans son mouvement ascentionnel. Elle vient ainsi au niveau du bec de la pompe.

35. P. DUHEM, "Roger Bacon et l'horreur du vide" *Roger Bacon, Essays contributed by various writers on the occasion of commemoration of the seventh century of birth*, Oxford, 1914, p. 268.

suit l'air dans son mouvement vers le haut et remplit l'espace intérieur du récipient à mesure que l'air retourne à son volume propre.

Dans le premier cas, la formation du vide est empêchée à caause de l'élasticité de l'air; aucun vide ne se forme dans le récipient, bien qu'une partie de son air ait été éliminée par force. Dans le second cas, c'est-à-dire quand l'obstruction a été retirée de l'orifice, le récipient ayant été abaissé dans l'eau, la formation du vide a été évitée de nouveau, cette, fois par l'entré d'eau dans le récipient; l'entrée d'eau dans le récipient est due à l'adhésion de l'eau et de l'air et il n'existe pas de force telle que l'attraction du vide.

Ainsi al-Farabi en rejtant l'idée de la répulsion de l'air extérieur, aussi bien que l'attraction du vide, y substitue l'hypothèse que l'eau et l'air restent en contact l'un avec l'autre et se suivent l'un l'autre dans leur mouvement. Cette hypothèse, ainsi que l'affirmation mentionnée précédemment que l'air possède la qualité de s'infiltrer dans l'espace rendu disponible par les corps voisins de lui, implique la supposition tacite que:

> Le comportement de l'air et de l'eau sont tels qu'ils empêchent une discontinuité dans la nature, c'est-à-dire qu'ils empêchent la formation du vide dans la nature

L'action de l'air est de remplir tout l'espace qui est libéré par d'autres corps mais un tel air est dans un état non naturel et s'il y a de l'eau dans son voisinage, l'air retourne à son volume normal et l'eau occupera l'espace libéré par l'air qui se contracte à nouveau.

II-5- Conclusions épistémologiques

Ce fut ainsi le dépassement de la théorie d'Aris- tote par celle d'al-Farabi, car épistémologiquement parlant, "la théorie du lieu naturel, telle qu'Aristote l'avait proposée était une bonne théorie; au moyen d'un petit nombre d'hypothèses elle permettait de classer une multitude de phénomènes connus, de prévoir une foule de repos ou de mouvements. Cependant peu à peu, les expériences dont la théorie péripatéticienne ne pouvait rendre compte se sont multipliés et précisés. Alors il a fallu

Farabi porte sur l'interrelation spatiale de ces deux éléments. Selon al-Farabi, le compportement de l'eau et de l'air est tel qu'ils adhèrent l'un à l'autre et restent en permanence en contact. Si l'un d'eux bouge ou si l'interface entre eux est modifiée, du fait par exemple du changement de volume de l'air, un mouvement correspondant a lieu dans l'autre corps; le résultat est que les deux corps restent en contac comme avant. De plus, ce mouvement a lieu comme si le mouvement résultant se faisait dans un sens opposé au sens du mouvement naturel des corps concernés, c'est-à-dire, même si ce mouvement viole la doctrine aristotélicienne: que chaque corps tend à se déplacer vers sa place naturelle."[33]

3- Chaque portion de l'air correspont à un volume représentant un état de force imposé à celle-ci

Compressé ou étendu, l'air restera cependant à son nouveau volume aussi longtemps qu'il sera contraint et dès que la force contraignante disparaîtra, l'air retournera à son volume naturel. Ceci ressemble au mouvement d'une pierre; car aussi longtemps que cette dernière est à sa place, elle ne bougera pas d'elle-même et inversement si la pierre n'est pas à sa place naturelle est tirée par une force. De tels corps resteront à leur place ou dans leur état aussi longtemps que la force contraignante adhérera à eux et ils commenceront à bouger de leur place naturelle ou de leur volume dès que la force les libérera.[34]

Sur la base des éléments préparatoires précédents, al-Farabi en vient maintenant au principal problème, l'explication et l'interprétation des faits observés dans les expériences faites avec les récipients renversés. Il réuni les éléments précédents de la manière suivante: quand on aspire par l'ouverture du récipient, qu'une partie de l'air qu'il contient est enlevée, que l'air qui reste tend à remplir l'ensemble du récipient et aussi longtemps que l'ouverture du récipient est obstruée par les doigts, cet air est obligé d'occuper ce volume qui est plus grand que son prope volume. Aucun vide n'est produit, mais tout simplement l'air est à son état d'expansion. Quand, par contre, on retire l'obstruction de l'ouverture du récipient après l'avoir plongé dans l'eau, la force contraignante disparaît, l'air retourne donc à son volume naturel et à cause de la propriété de l'air et de l'eau de maintenir leur contact et d'adhérer l'un à l'autre, l'eau

---

33. Ibid p. 14, Voir également: A. SAYILI "Al Farabi's article on vacuum". op. cit. p. 162.

34. Ibid p. 13.

Quant à la deuxième hypothèse concernant la force d'attraction du vide, al-Farabi use d'une simple argumentation logique basée sur la causalité du monde physique: tout phénomène a une cause. Voilà le principe qui détermine la philosophie d'al-Farabi[30], et c'est en remontant de l'effet à la cause d'après lui qu'on arrive aux lois physiques. A cette question que le vide est une cause, la réponse d'al-Farabi est négative, puisque le vide est "rien". Or "il est impossible d'imaginer que ce qui n'est absolument rien attire l'eau, ou pour cette question d'imaginer aucune chose de cette sorte."[31]

II-4- La théorie d'al-Farabi

Mais alors... comment peut-on expliquer la montée de l'eau dans le récipient renversé?

Al-Farabi tâche justement de justifier ce phénomèe étrange, analogue à la fontaine de Héron d'Alexandrie. Autrement dit, par manque d'argumentation expérimentale, il ne s'engage pas à l'élaboration d'une théorie scientifique. Il veut plus exactement neutraliser celle de ses adversaires. Cependant, sans le vouloir, ses explications et affirmations aboutiront à une théorie importante à l'encontre de l'existence du vide.

Ces affirmations sont les suivantes:

1- L'élasticité de l'air

En comparant l'eau et l'air al-Farabi attire notre attention sur le fait que bien que l'eau prenne la forme du récipient, ce processus a lieu sans aucun changement de volume, tandis que l'air est élastique et se répand dans toute les directions radicalement et avec une parfaite facilité.[32]

2- La continuité permanente de l'eau et de l'air

Al-Farabi signale également la propriété particulière de l'eau et de l'air. "L'idée avancée qui est apparemment entièrement originale chez al-

30. H-Z. ÜLKEN, *La pensée de l'Islam*, traduit du turc par Gautier DU BOIS, Istanbul 1953, p. 401.
31. Necati Lugal and A. SAYILI op. cit texte arabe p. 9:
كان ينبغى ان يكون اكد مايزيف عندهم وجود اخلاء فى الانا اذا كان ما لاشىء اصلا لايمكن ان يظن به انه تجذب الماء اليه و لا ان يعقل بالجملة شيئاً اصلاً'

32. Ibid p. 13. Voir également: A. SAYILI "Al Farabi's article on vacuum". op. cit. p. 159.

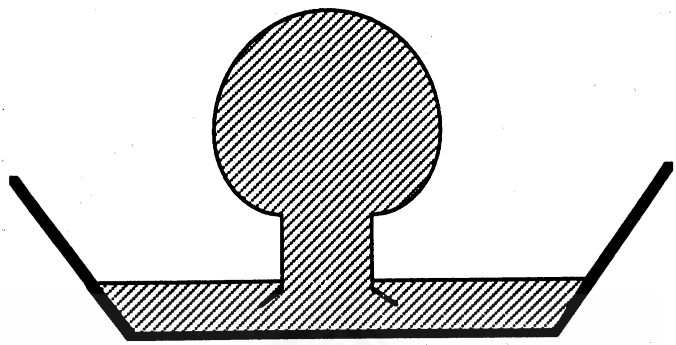


Fig. 2

le vide s'était produit à l'intérieur du récipient lorsqu'on avait enlevé une partie de l'air et que ce vide avait attiré l'eau dans le récipient.[27]

c - Mise à l'épreuve empiriquement

Or dans le récipient "quelque chose" apparaissait qui ne ressemblait plus tout à fait à un milieu physique plein. Mais si le vide macroscopique faisait son apparition, la doctrine du vide microscopique et des atomes allait gagner en crédibilieé.

Pour les besoins de l'argumentation, al-Farabi suppose d'abord qu'en conformité avec les hypothèses de ses opposants, un vide partiel se forme à l'intérieur du récipient quand on aspire l'air par l'ouverture. Partant du principe que "la lumière ne peut se propager qu'à travers un corps matériel"[28] al-Farabi met le "vide en question" devant les rayons du soleil.

d - Réfutation

La propagation des rayons du soleil dans le récipient, annonce la futilité de l'hypothèse concernant l'existence du vide. Et cela permet à al-Farabi de dir: "qu'il y a de l'air là où l'on a affirmé que le vide est produit".[29]

---

27. Ibid ;. 4.
28. Ibid p. 6. Texte arabe:
‘... فاما اذا اقمنا لانيه من قبل ان يدخلها الماء فى‌الشمس فنفذالشعاع الى باطنها فعلى اى شىء يقع...’
29. Ibid p. 8. Texte arabe:
‘فنقول اِن‌المكان الذى يطن به من‌الانيه انه فارغٌ قدتبين انه مشغول بجسم و اولئک لما جهلوا جوهر ذلک‌الجسم حکموا ان ماهو’

L'expérience d'al-Farabi à propos du vide n'est en réalité que l'application de cette méme méthode.

Expérience

La première expériece d'al-Farabi commence par une opération effectuée avec un récipient renversé qui est descendu jusqu'à la surface de l'eau, puis enfonncé dans celle-ci. On observe que l'eau n'est pas montée dans le récipient, bien que celui-ci ait été enfoncé profondément dans l'eau[25] (fig. 1).

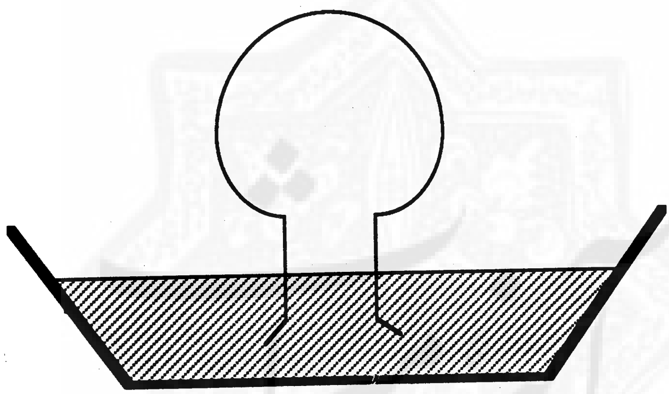


Fig. 1

La seconde expérience est la répétition de la première avec quelques modifications. Cette fois, on aspire de l'air du récipient avant de la descendre à la surface de l'eau. L'ouverture du récipiennt est bouchée avec les doigts après que l'on ait enlevé l'air, et l'obstruction est ôtée seulement lorsque l'ouverture du récipient est dans l'eau.

a - Faits observés:

Dans cette expérience, on observe que l'eau pénètre dans le récipient bien que l'on n'appuie pas sur celui-ci[26] (Fig. 2).

b - Première hypothèse

D'après al-Farabi ceux qui croient à l'existence du vide pensent que dans le premier cas le récipient était plein d'air mais que dans le second

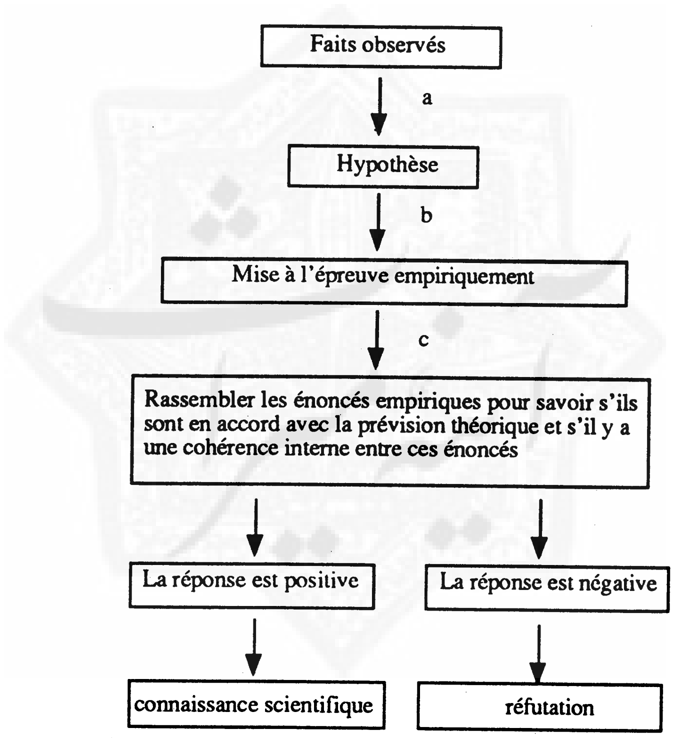
---

25. Necati Lugal and A. Sayili, *Farabi's Article on Vacuum*, op. cit. texte arabe p. 2.

26. Ibid p. 3.

fait (III) nous rassemblons les éléments permettant d'identifier l'inconnu au moyen de cette expérience. Puis (IV) à partir de ce rassemblement nous devons savoir si notre hypothèse est vraie ou non. [Autrement dit, nous pouvons maintenir ou rejeter notre hypothèse selon le résultat de notre expérience.]"[24]

Nous pouvons schématiser la méthode d'al-Farabi de la mannière suivante:



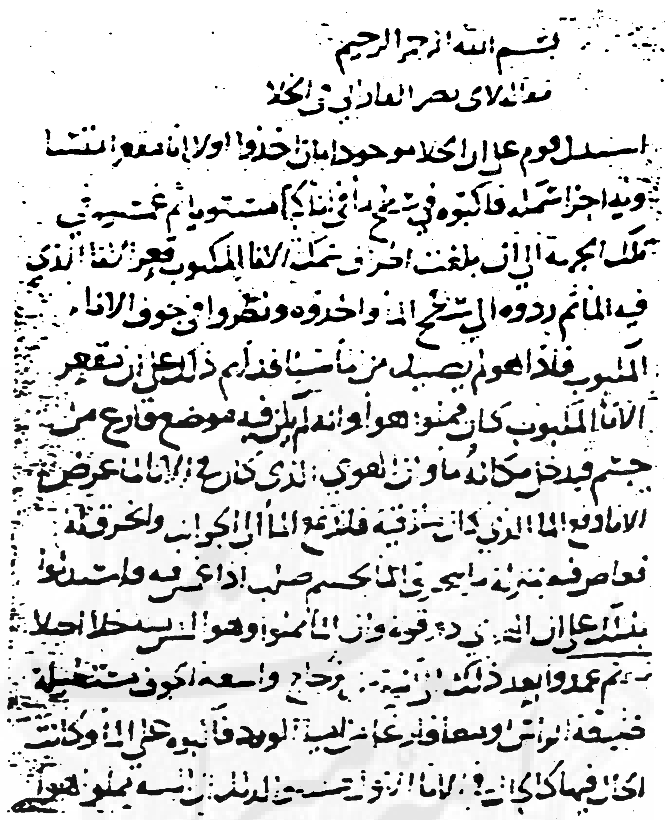
24. Voici le texte arabe d'al-Farabi:
و اذا أردنا أنْ نستدّل علىالغائب بالشاهد بطريق التحليل فينبغى أنْ نعلمالحكم الذى يطلب فىالغائب، ثمّ تنظر فى أىّ محسوس يوجد ذلكالحكمَ. فاذا علمناالمحسوس الذى فيه ذلكالحكم اخذنا عند ذلك الامور التى بها يشابه الغائب ذلكالمحسوس ثمّ تنظر اىّ امر من تلكالامور يصحّ على جمعيهالحكمَ المشاهدَ فىالمحسوس فاذا وجدنا ذلكالامر انتقل بالضرورة الحكم منالمحسوس المشاهد الى الغائب.
(الفارابى، المنطقيات، به اهتمام محمدتقى دانشپژوه تهران ۱۹۹۸ م۱۶ ص۱۷۶)

à se répéter ici. Ensuite, vient la troisième partie qui peut être considérée comme la préparation des conclusions finales. Ici sont discutées certaines propriétés de différents corps qui ont rapport au sujet traité. Cette section peut-être considérée comme une seconde introduction. Elle donne au lecteur l'impression d'une digression et ce n'est qu'à la fin de celle-ci que l'auteur en vient au fait. Tout ceci étant dit d'une manière plutôt maladroite et confuse. C'était peut-être inévitable à cause du caractère vague et limité des connaissances disponibles à cette époque sur les sujets discutés ici; à savoir la variation de la température des corps. Globalement cependant, en lisant cette section après avoir bien compris l'article, on sent qu'il est bien conçu et que cette section prépare doucement aux conclusions qui seront tirées plus loin. La quatrième partie, ou la conclusion est vraiment la partie la plus importante de l'article. Elle est traitée brièvement et avec une grande lucidité dont nous discuterons plus loin.

II-3- Démonstration expérimentale de l'impossibilité du vide

Avant d'exposer la démonstration d'al-Farabi sur l'impossibilité du vide, il faut signaler que cette sorte d'expérience n'existait pas chez ses prédécesseurs grecs. Ceux-ci se contentaient uniquement d'argumentations rationnelles. Tandis qu'al-Farabi aux arguments rigoureusement enchaînés mais partant le plus souvent de principes hypothétiques ou faux substitua le- raisonnement gradué, fondé sur l'observation patiente des faits, sur l'expérience. Dans son *Grand traité de la musique*, il déclare "qu'après avoir examiné expérimentalement les théories musicales des maîtres de l'antiquité il les trouva soit erronées soit incomplètes. Ces expériences lui permirent par ailleurs d'énoncer de nouvelles théries ou de clarifier et d'approfondir les théories déjà existantes."[23] Cette méthode expérimentale d'al-Farabi qui a été exposée dans son *Kiyas al-Saghir*, consiste à procéder du connu à l'inconnu. Elle a pour but d'exposer les pricipes sur lesquels reposent une découverte scietifique. Il dit en effet: "Si nous voulos arriver à l'inconnu à partir d'une propostion vraie par la méthode de l'analyse, [nous devons parcourir les étapes suivantes] (I) nous devons faire une hypothèse sur cet objet inconnu. Puis (II) nous examinerons empiriquement l'objet de notre recherche. Quand ceci est

23. Mehdi BARKESHLI, *Les idées scientifiques de Farabi dans la musique*, Téhéran, Académie des Lettres et des Arts, 1978, p. 7.


بسم الله الرحمن الرحيم
مقالة لابي نصر الفارابي في الخلا

Fac-similé de la premiére page du manuscrit

II-2- Le plan de l'ouvrage

Le traité d'al-Farabi se divise naturellement en quatre parties. Dans la première partie après une courte introduction où le problème est exposé clairement, al-Farabi décrit deux expériences qui sont proches l'une de l'autre et forment un ensemble unique. Il explique comment les faits observés dans ces "expériences ont été interprétés par ses opposants et comment ils arrivent à la conclusion qu'il est possible de créer artificiellement le vide. Afin de convaincre ses opposants imaginaires, des objections possibles sont prises en considération et il y répond logiquement. La seconde et la troisième partie constituent la partie principale de ce traité bien que n'étant pas les plus importantes du point de vue de leur contenu. Dans la première de ces deux parties, l'auteur réfute les croyances de ses opposants d'une manière dialectique; il a tendance

II-1- Sur l'authenticité du traité d'al-Farabi

Avant de discuter sur l'authenticité de cet ouvrage d'al-Farabi, il faut signaler qu'il s'intitule: مقالة لابی نصرالفارابی فی‌الخلاء
(traité d'Abu al-Nasr al-Farabi sur le vide)

L'unique exemplaire du manuscrit d'al-Farabi sur le vide se trouve actuellement dans la bibliothèque de la Faculté de Langue, d'Histoire et de Géographie de l'Université d'Ankara, parmi la collection d'Ismaîl Sâîp, 1 ère série, n° 183. Ce traité a été édité en même temps que sa traduction anglaise et turque, en 1951 par A. Sayili et N. Lugal à Ankara[18]. Sayili lui a consacré également une étude importante en langue anglaise[19]. Les arguments qui confirment l'authenticité de ce traité sont les suivants:

1 - Le titre du traité est mentionné dans la biographie d'al-Farabi écrite par Ibn Abi Usabi'a[20] au XIIème siècle après J.C.

2 - al-Farabi est un philosophe dans la tradition d'Aristote, il connait parfaitement l'œuvre de ce grand maître de l'Atiquité et bien souvent il suit ses idées en particulier sur le vide. Cela se manifeste bien lorsque dans quelques-unes de sese œuvres, notamment dans: اثبات المفارقات (Démonstration des choses immatériells), il montre sonn hostilité à l'égard de l'existence du vide et de l'espace absolu[21]. Or, le traité en question semble être en parfait accord avec les idées aristotéliciennes sur le vide ainsi qu'avec d'autres travaux d'al-Farabi.

3 - al-Farabi était non seulement un grand philosophe, mais il était aussi un grand logicien du monde islamique, qualité qui correspond bien à la revendication de l'auteur du traité en question. De plus, cet auteur affirme qu'une parfaite connaissance de la logique est un préalable indispensable pour devenir un parfait savant. Ces convictions sont également répétées dans d'autres travaux d'al-Farabi, spécialement ceux qui traitent des questions scientifiques.

4 - D'après A. Sayili l'éditeur du texte: le manuscrit est très ancien (commencement du treizième siècle) et a été recopié d'un manuscrit plus ancien. Ce fait d'une certaine façon diminue la probablité d'être apocryphe[22].

---

18. Necati Lugal aand Aydin SAYILI, *Al-Farabi's Article on Vacuum*, Ankara 1951.
19. Aydin SAYILI, "Al Farabi's Article on Vacuum" *Türk Tarih Kurumu Belleten* (Ankara), vol. 15 (1951) pp. 123-174.
20. Voir: ابن ابی اصیبعه، عیون‌الانباء، فی طبقات‌الاطباء، بیروت، ج۳ ۱۹۶۵ ص۳۳۲
21. Voir: الفارابی، اثبات‌المفارقات، حیدرآباد ۱۳۹۱ هجری ص ۵
22. A. Sayili, "Al-Farabi's article.." *op. cit.* p. 152.

Ainsi, depuis Epicure, le problème du vide excède la question physique et se range parmi les principes du matérialisme. Par conséquent, pour les philosophes de l'antiquité et du moyen-âge admettre l'existence du vide signifiait admettre la philosophie athée de Démocrite ou d'Epicure. C'est pour cette raison que la thèse d'Aristote sur l'impossibilité du vide a été accueillie favorablement dans les civilisations islamiques tandis que "les œuvres d'Epicure n'ont jamais été traduites en arabe."[15]

Chapitre II - Le vide dans le monde islamique

II-1- L'atomisme converti en théo- logie

Malgré le rejet de l'atomisme dans le monde musulman, certains théologiens mutazilites l'ont adapté en théologie afin de "faire disparaître les liens de causalité du monde naturel pour les rapporter à Dieu lui-même".[16]

Avec l'apparition de cet atomisme converti en théologie, ceux qui étaient déjà méfiants vis-à-vis de la philosophie de Démocrite et d'Epicure avaient désormais de quoi s'inquiéter. Cette inquiétude qui avait déjà causé la querelle entre deux théologiens musulmans: Abu al-Hudayl et al-Nazzam[17] allait bientôt diviser les philosophes du monde islamique à propos du vide. Car, il ne faut pas oublier que l'existences de l'atome implique une discontinuité à un moment donné dans la division. Par conséquent, si les atomes existent ils sont forcément distincts et il y a nécessairement du vide entre deux atomes.

Or, pour faire face aux atomismes convertis il faut, soit imaginer un nouveau système du monde, soit rectifier la Mécanique Aristotélicienne, qui ne pouvait pas expliquer la fontaine de Héron d'Alexandrie.

Cette rectification a été finalement effectuée au moyen-âge islamique par Abu Nasr al-Farabi, grand philosophe iranien, dans un traité consacré au vide.

---

morale d'Epicure, voir: J.-M. GUYAY, *La morale d'Epicure*, Paris 1927.

15. J. JOLIVET, *La science dans l'antiquité grecque*, Cours de D.E.A. à l'Université Paris VII (1989-1990).

16. John E. MURDOCH, "Naissance et développement de l'atomisme au bas Moyen-âge latin", in *Cahiers d'Études Médiévales.* Théories et pratiques, Montréal, 1974, p. 12.

17. Sur ce sujet Monsieur Joseph VAN ESS a fait un discours intitulé: *L'atomisme converti en théologie, la querelle entre Abu al-Hudayl et al-Nazzam* fait au Centre d'Histoire des Sciences et des Philosophies Arabes et Médiévales à Paris le 5 mars 1993.

Dans le système d'Epicure, en dépit de sa différence avec celui de Démocrite, on trouve toujours le vide. Epicure insiste non seulement sur le vide interne (au sein de la matière) mais aussi sur le vide externe (à l'extérieur du monde) et sur la thèse de la pluralité des mondes – doctrine qui a été un scandale permanent à chaque fois qu'elle a été réaffirmée. On peut penser à Giordano Bruno, brûlé à Rome à cause de cette idée." En affirmant la pluralité des mondes, Epicure voulait combattre l'idée de l'existence de Dieu et, en fin de compte, destabiliser la métaphysique de la substance - la métaphysique d'Aristote[13].

Il ne faut pas oublier qu'Epicure n'écrivait de physique que dans une ambition ethico-politique. Il pensait que le calme de l'âme ne peut être obtenu que par une explicattion générale de l'Univers. Epicure trouvait dans la cosmologie atomistique la base de la morale, telle qu'il l'entendait. Il professait que les individus en général et les êtres humains en particulier sont les fruits d'une pure et simple rencontre, c'est-à-dire du hasard. Des atomes se rencontrent et cet accident prend forme. Par conséquent la forme n'est qu'une résultante chez Epicure, alors qu'elle est une fin chez Aristote. Pour Aristote même un accident est toujours un accident d'une substance préalablement donnée. Or pour Epicure, l'homme est le fruit de rencontres, il n'est qu'une rencontre permanente et à un moment cela se défait, c'est la mort, et la mort n'est qu'un vain fantôme puisque l'âme, composée d'atomes matériels particulièrement subtils, se désagrège au moment du trépas et ne peut donc être punie des châtiments infernaux qui épouvantent ceux croyant en Dieu et à la substance.

Epicure propageait également l'orgueil et la prudence - caractère qui sont incompatibles avec la morale divine. Il voulait que les sages, "au lieu de dédoubler, de multiplier son être, de le répandre sur toutes choses, de le rendre vulnérable en quelque façon par l'Univers, se resserra, se replia en soi-même, se réduisit, autant que possible, à l'état d'un atome ignoré, noyé dans l'immensité du vide."[14]

---

13. Cette thèse "s'est constituée essentiellement contre l'idée aristotélicienne d'un monde limité, parfait et éternel, d'un monde gouverné par Dieu. La découverte de l'infinité de l'univers (à ne pas confondre avec le monde) est en liaison étroite avec la négation de la providence divine et avec l'affirmation du caractère imparfait de notre monde - un monde parmi tant d'autres."
(P. BOYANCE, *Lucrèce et l'épicurisme*, Paris 1963, p. 44).

Sur ce point voir également: A. KOYRE, "Le vide et l'espace infini au XIVème siècle" dans *Cahiers des Annales*, n° 19 (1961), p. 39.

14. NOURRISON, *Spinoza et le naturalisme contemporain*, paris 1866, p. 63, sur la

La mécantiqud d'Aristote réclamait donce une modification ou un complément.

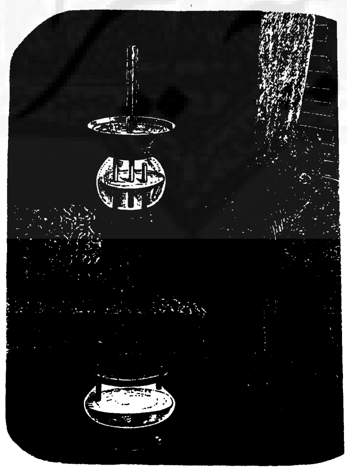
1-3- Le vide chez Epicure

Les arguments d'Aristote repoussèrent l'atomisme de Démocrite-Leucippe jusqu'à ce que Epicure tout en reprenant celui-ci participe fermement la lutte contre le système de Platon et d'Aristote. Cependant l'atomisme d'Epicure se distingue radicalement de celui de ses prédécesseurs. Démocrite pensait que tout existence vient par la nécessité. Epicure qui se considérait comme un moraliste ne pouvait pas s'accommoder d'une semblable thèse qui renverse toute la morale et réduit l'homme à la machine. Il était donc obligé de concilier le libre arbitre avec les principes de l'atomisme. Alors en donnant à ses atomes un mouvement de déclinaison, il croyait établir là le siège, la source et le principe des actions libres. En effet, dans l'atomisme d'Epicure aussi bien que dans celui de Démocrite, c'est le choc qui est fécond, qui donne naissance au monde. Cependant pour Démocrite il est la cause, alors que pour Epicure il est un effet dont il faut chercher la cause. "De quelle cause dépend-il? La pesanteur ne suffit pas pour le produire: dans le vide, les atomes ont, en vertu de la pesanteur, des mouvements de même direction et de même vitesse; s'il n'est pas d'autre action motrice que celle de la pesanteur, ils chemineront parallèlement, dans leur chute éternelle, sans jamais pouvoir se rencontrer et se réunir, et la nature ne créera jamais rien - Ici Epicure fait intervenir la déclinaison - C'est la déclinasion qui fait comprendre les rencontres, les chocs, les groupements. C'est à la déclinaison que doit être attribuée l'origine du monde. Les atomes ne sortiraient pas de leur isolement, si, par une action propre à chacun d'eux, et qui n'est déterminée ni pour le temps ni pour le lieu, ils ne s'écartaient un peu de la ligne droite imposée leur mouvement par la pesanteur. Il suffit d'ailleurs qu'ils s'en écartent aussi peu que possible."[11] Ce système était, bien entendu, l'objet de nombreuses critiques, notamment de la part de Cicéron, philosophe ancien et de Bayle, philosophe moderne.[12]

11. F. PILLON, " La critique de Bayle: critique de l'atomisme épicurien", *op. cit.* p. 99, sur cette innovation d'Epicure voir également: Karl MARX, *Différence de la philosophie de la nature chez Démocrite et Epicure*, traduit par J. PONNIER, Paris 1970, pp. 45-47.

12. Sur les critiques de Cicéron voir: C. VICOL, "Cicerone espositore e critico dell'Epicureismo" *Ephemeris Dacoromena*, X, 1945, et sur les critiques de Bayle voir F. Pillon, "La crititique de Bayle..." op. cit.

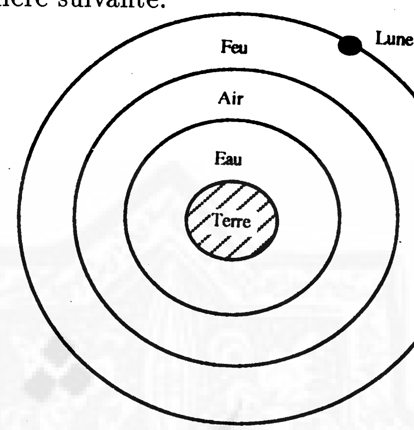
dans la troisième, le mouvement naturel. Dès que cesse le contact du projectile avec le corps qui l'a envoyé, l'air pénétrant à sa suite transporte le projectile jusqu'à ce que la force soit épuisée. La trajectoire en trois parties se compose d'une courbe ascendante, d'une partie mixte horizontale et d'une courbe descendante. On appelle souvent le mouvement de cette projection le mouvement "violent". Cela vient du fait que "la nature d'un corps déterminé n'est pas pour lui le principe d'un mouvement quelconque, mais d'un mouvement déterminé; pour le feu c'est un mouvement ascensionnel, pour la terre c'est un centrique; et par suite, celui qui pour l'un est conforme à la nature, y sera contraire pour l'autre. Ce sera une erreur de croire que tout mouvement produit par une cause externe est violent et contraire à la nature si cette cause agit dans le même sens que la nature, le mouvement sera naturel et n'y gagera qu'un surcroît d'intensité. Une pierre jetée à la terre, atteindra plus vite le son que si on l'abandonnait simplement à l'action de la pesanteur. La cause extérieure qui modifie le mouvement naturel soit en le contrecarrant soit en l'accroissant, Aristote l'appelle une force ($\delta\upsilon\nu\alpha\mu\iota\sigma$)".[9] La théorie d'Aristote régna sur le monde scientifique de l'antiquité. Cependant, la fameuse fontaine de Héron d'Alexandrie l'ébranla gravement, car on y voyait la montée spontanée de l'eau (coprs grave), sa répugnance à descendre malgré l'absence d'obstancles.[10]



Fontaine de Héron

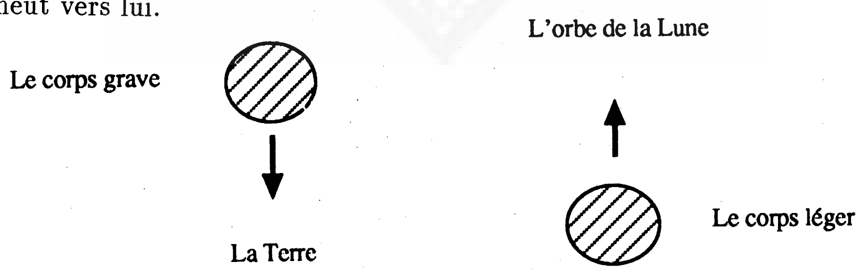
9. A. MANSION, *Introduction à la physique aristotélicienne,* Paris-Louvain, 1945, pp. 113-114.
10. Sur la fontaine de Héron voir: A. GANOT, *Cours de Physique,* Paris 1859, p. 252.

mouvement naturel, un point de départ et un terme et deux directions opposées extrémités au centre, du centre aux extrémités. La première est celle du mouvement naturel que produit la pesanteur; la seconde celle du mouvement naturel qui vient de la légèreté"[8]. On peut schématiser ce système de la manière suivante:



Concept de l'Univers d'après Aristote

Comme on peut l'observer, Aristote tout en excluant le vide dans son système, explique le mouvement naturel des corps à partir de la supposition du lieu naturel. A chaque corps correspond un lieu propre où sa forme substantielle atteint la perfection; ce lieu est le centre du Monde pour les corps graves, la région contiguë à l'orbe de la Lune pour les corps légers. Placé dans son lieu naturel, un corps y demeure en repos. Mais hors de son lieu, il tend à s'y rendre; s'il n'est retenu, il se meut vers lui.



A partir de cette hypothèse, Aristote essaie de traiter le jet oblique des projectiles. La trajectoire se divise en trois parties, dans la première appparaît le mouvement forcé, dans la seconde le mouvement mixte et

8. F. PILLON, " La critique de Bayle: critique de l'atomisme épicurien", *L'année philosophique*, 8ème année 1897, p. 106

corps, ceux-ci pourraient se mouvoir à une vitesse infinie. Inconcevable, disait-on à l'époque."[6]

Aristote ne s'en tient pas là, il montre que ce mouvement des atomes ne peut pas avoir de sens et de place dans la cosmologie infinitiste de Leucippe et de Démocrite. Il dit en effet "si l'univers n'est pas continu, mais fait de parties séparées paar le vide, comme le prétendent Démocrite et Leucippe, il faut que toutes ses parties aient un mouvement unique. Ces parties ne diffèrent, en effet, que par leurs figures, mais leur nature est, disent-ils unique, comme si chaque partie était une parcelle d'or indépendante des autres. Eh bien, nous prétendons que le mouvement de ces parties doit être identique; en effet, c'est là où se porte une simple motte de terre que se porte aussi la terre tout entière, et la masse totale du feu aussi bien que l'étincelle vont vers le même lieu. Par conséquent, aucun de ces corps ne sera léger absolument, si tous ont un certain poids; si tous ont de la légèreté, aucun ne sera lourd.

De plus, si le corps en question a de la pesanteur ou de la légèreté, il se trouvera soit à l'extrémité, soit au centre de l'univers; or cela ne se peut, s'il est infini.

De toute façon, d'ailleurs, ce qui n'a ni extrémité ni centre, ni haut ni bas, ne peut constituer un lieu pour les corps en translation; or sans lieu, il n'y aura pas de mouvement, car tout mouvement se produit nécessairement par nature ou contre nature, et ces notions sont définies par les lieux propres et par les lieux étrangers.

En outre, si l'endroit où une chose demeure ou est portée contre nature doit nécessairement être le lieu naturel d'une autre (ce que prouve l'induction), il est nécessaire que les corps ne soient point tous ou tous légers, mais qu'ils se partagent ces qualités.

Il est donc évident, d'après ce qu'on vient de dir, que le corps de l'univers n'est pas infini."[7]

Après avoir ainsi désavoué l'atomisme de Démocrite - Leucippe, Aristote propose son proper système. Dans le système d'Aristote, le monde est déterminé, il a un centre et des extrémités. Il peut y avoir, par suite et il y a dans le monde, un haut et un bas, réels et absolus. Le bas est au centre, le haut aux extrémités. Le centre est la Terre et les extrémités se situent à l'orbe de la Lune. "Dans ce monde, il y a, pour le

---

6. S. DELIGEORGE, "Comment fut démontré, il y a 350 ans, que la nature n'avait pas horreur du vide", *Le Monde*, vendredi 3 avril 1998, p. 24.

7. ARISTOTE, *Du ciel*, texte établi et traduit par P. MORAUX, Paris 1965, pp. 26-27.

et la métaphysique par ses méthodes et ses argumentations rationnelles. Pourquoi la scolastique a-t-elle formulé une thèse contre la possibilité du vide? Elle l'a fait tout simplement pour soutenir la thèse d'Aristote qui était en désaccord total avec le système des atomistes de l'Antiquité qui reposait sur l'existence du vide. Il faut signaler qu'il y avait deux systèmes atomistes: le premier est celui de Démocrite et Leucippe et le deuxième appartient à Epicure.

I-1- Le vide dans le système de Démocrite et Leucippe

Démocrite et Leucippe, deux philosophes présocratiques, ont considéré les corps matériels comme des assemblages d'atomes séparés par le vide. La vie, sortie de l'inconscience, aboutira totalement dans l'inconscience. Dans ce système, bien entendu il n'y a aucune notion de finalité, aucun principe directeur; tout est un perpétuel recommencement sans but. En effet, chez Démocrite, comme chez Leucippe "cette pluie d'atomes entrechoqués donne ainsi naissance à la diversité des systèmes mécaniques déterminés que constituent les corps massifs, et c'est la variété mécanique qui rend compte de la diversité de leurs qualités"[3].

I-2- La réfutation du système de Démocrite - Leucippe par Aristote

Ce système a suscité un certain nombre de réactions et finalement, c'est Aristote qui, tout en réfutant celui-ci a proposé un système cohérent. Aristote pour réfuter l'idée des atomistes, ceux que Plation avait déjà désignés comme "les fils de la terre"[4] - c'est-à-dire les matérialistes avançient de nombreux arguments. Les tors des fondateurs de l'atomisme est, selon lui de n'avoir pas compris que "si le vide existe, il n'est pas possible qu'il y ait du mouvement"[5]. Cette affirmation est basée, bien entendu, sur l'existence du milieu résistant. Pour Aristote et les savants de son époque, "tout mouvement trouve sa raison dans l'existence d'un lieu matériel résistant. Si un espace vide existait, alors tout mouvement y serait impossible. Ce milieu n'offrant aucune résistance aux

3. P. DEVAUX, *De Thalès à Bergson, Introduction historique à la philosophie*, Paris 1949, p. 53.

4. Platon, *Sophiste*, 246 a-b voir également: Pierre-Marie MOREL, *Démocrite et la recherche des causes*, paris 1996, p. 37.

5. Aristote, *Physique et Métaphysique*, textes choisis par Sonia et Maurice DAYAN, Paris 1972, p. 8.

Pascal lui-même n'a jamais affirmé le vide, il a seulement réfuté le plein[2]: la différence est de taille. Cela montre bien à quel point on a été injuste envers la thèse d'Aristote et de ses disciples concernant l'impossibilité du vide. La théorie d'Aristote à ce propos fonctionnait d'ailleurs bien et été jugée vraie jusqu'au moment où al-Farabi, grand philosophe iranien, effectua des observations beaucoup plus précises pour lui substituer une autre théorie.

D'al-Farabi on est passé à Pascal ce qui n'empêche pas d'admirer la thèse du philosophe iranien.

Car la théorie de Pascal pour la pression atmosphérique, en dépit de son importance n'est pas non plus une théorie définitive. Il y aura certainement un dépassement par une théorie plus précise. Cette théorie nous est chère aujourd'hui parce qu'elle fonctionne correctement dans les conditions particulières où nous avons l'intention de l'utiliser. C'est dans cette optique qu'il faut également insister sur l'importance des théories d'Aristote et d'al-Farabi contre l'existence du vide. Car elles aussi répondaient correctement aux nécessités physiques et métaphysiques de leurs époques. Cet article se propose d'étudier en détail les raisons de l'importance de ces dernières théories et plus particulièrement de celle d'al-Farabi. Nous indiquons comment la théorie d'al-Farabi par son efficacité scientifique améliora la thèse d'Aristote sur l'impossibilité du vide. Pour ce faire, nous abordons le traité d'al-Farabi sur le vide. Ce traité en dehors de son intérêt épistémologique, grâce à son procédé empirique et à ses études critiques, aujourd'hui encore, mérite d'être considéré comme modèle pour les recherches scientifiques. Afin de bein comprendre le sujet nous esquissons une brève histoire de l'origine du vide. Dans le chapitre suivant nous traitons des argumentations expérimentales d'al-Farabi contre la possibilité du vide. Enfin dans le dernier chapitre nous développons la conséquence théorique de cette expérience et son influence dans la physique scolastique.

Chapitre I - Le vide dans l'Aantiquité grecque

Pour comprendre la signification de la thèse ancienne: "Natura abhoret a vidua" (la nature a horreur du vide), il faut la replacer dans son contexte historique. Car il ne faut jamais perdre de vue que dans l'Antiquité grecque, ainsi qu'au Moyen-âge, la physique se reliait à la métaphysique. Et la logique n'était là que pour consolider la physique

2. J-P. FANTON D'ANDON, *L'horreur du vide*, Paris 1978 p. 4.

Al-Farabi et l'horreur du vide

Jafar Aghayani-Chavoshi
Epistémologue et historien des sciences
Université Technologique de Sharif
Teheran, Iran

Introduction

Le vide tient une place importante dans l'histoire de la pensée de l'homme. Depuis l'antiquité grecque jusqu'au XVIIème siècle il a été l'un des principaux sujets de la préoccupation philosophique. Son existence a été alternativement défendue et niée, non seulement pour des raisons physiques, mais aussi et surtout, pour des raisons métaphysiques.

Aujourd'hui encore, en dépit de la Grande Expérience de Pascal, on ne peut toujours pas affirmer l'existence du vide. D'une part, parce que le vide de cette expérience n'était qu'un vide apparent[1]. D'autre part,

---

1. On n'est pas certain que les expériences de Pascal pour produire le vide aient vraiment été réalisée, car Pascal ne nous a fourni ni description ni dessin de celle-ci. En admettant même que ces expériences aient été réalisées, il faut admettre néanmoins, que Pascal "ne les a pas déroulés sous ses yeux. Il nous a très certainement chaché quelque chose."

(A. KOYRÉ, "Pascal savant" in *Pascal, l'homme et l'œuvre*, Colloque de Royaumont. Voir également: P. Guenancia, *Du vide à Dieu, Essai sur la physique de Pascal*, Paris 1976, pp. 2668-269).

En effet, il doit se produire dans ces expérience un phénomène de bouillonnement semblable à ce que l'on a trouvé en 1950 en reproduisant l'expérience de Pascal au Palais de la Découverte. On peut affirmer que le vide dans les expériences de Pascal n'est pas vraiment vide. Car si "l' on pompe complètement les molécules contenues dans un récipient, on dira que le récipient est vide. Mais on admettra que l'on ne peut pas produire un vide total pour des raisons techniques. Dans les laboratoires on utilise des pompes qui permettent d'attendre des pressions résiduelles de un millionième ou même un miliardième de la pression atmosphérique. Mais il est impossible d'enlever toutes les molécules."

(R. SZOSTAK, "Le vide est-il vraiment vide? La physique quantique exotique de l'espace, l'évolution historique des idée" *Les cahiers Clairaut*, printemps 1997, n° 77, p. 2).

De là vient la difficulté avec la question du vide, puisqu'il s'agit de discuter de l'existence réelle d'une sorte de None-Etre! Aujourd'hui le "vide" est plutôt l'expression d'une "condition aux limites dans un modèle mathématique."

Ayene-ye Miras, vol.5, no.4 (no.20), pp. 1-25

The articles concerning to Kashani have been given to me for publication by my learned friend Dr. A. R. Ashrafi professor of mathematics at Kashan University. These articles had been delivered for the *International Congress on Ghyath al-Din Jamshid Kashani*, which was held in Kashan University from 9th to 11th Nov. 2000.

Hereby, I am grateful of Dr. Ashrafi and all other friends specially Mr. Akbar Irani managing director of *Ayene-ye-Miras*.

Jafar Aghayani - Chavoshi

under the effects of Islamic sciences.

However, a Western researcher through such researches is only looking for origins of Western civilization and he doesn't have any other objective in mind.

But, a historian of Islamic sciences is tormented by other concerns.

He should use these historic researchers for elimination of "lack of identity", and "inferiority complexes" that have be fallen his coreligionist and urge, and encourage them for other scientific and culrutal revolution.

We Iranian, who have had, before Islam too, a brilliant civilization, and that was for this civilization and awareness that we accepted the liberation and heavenly call of Islam as well, and on its lap we nourished and trained great scientists and scholars, so we should shoulder more responsibility than others in this regard.

That is introduced golden age of Islamic science and civilization not only to our compatriots, but also to our coreligionists in other countries and by doing this combat against the depersonalization that has begun by Westerners, seriously.

It is for this purpose that the present issue of *Ayene-ye-Miras* has been devoted to the Persian, Arabic, English, and French in this field.

A few words with the readers

There is no doubt that many of Modern Sciences such as algebra, trigonometry and chemistry have Islamic origin.

However, the people of Europe for centuries have been ungrateful and they have denied this impact. When discussing Islamic civilization, they have been considering Muslim scientists, the sole supporter and preserver and protector of Greek Sciences.

This prejudgment has been found and apparent in the writings of historians of sciences such as Paul Tannery, Pierre Duhem and Baron Carra de Vaux even up to the nineteenth century.

Nowadays, through constant studies of the historians of sciences, many of mysteries have been known and these historians with valid reasons have proved that many of the founders of Modern Sciences in Europe have been in one way or the other,

CONTENTS

Spring 2003

In The Name of God

ISSN 1561 - 9400

Mirror of Heritage

(AYENE-YE MIRAS)

Quarterly Journal of Book Review,
Bibliography and Text Infomation
New Series Vol. I, Issue No. 1, Spring 2003
Issue Topic: History of Science

No. 1304, Between Daneshgah and Aburayhan streets,
Enqelab Avenue.
Tehran, Post code: 1315693519
Tel: 6490612-3 , Fax: 6406258
AyeneMiras@MirasMaktoob.com
http://www.MirasMaktoob.com
http://www.islamicdatabank.com
http://www.Magiran.com