مـــکانیـــــک ســـمـــــاوی

تالیف:

مهدی دانشیار – محمد روفچائی

مکانیک سمـــاوی

«از دوران پیش از بطلیموس تا نیوتون»

الگوهای منظومه شمسی و حرکات سیارات

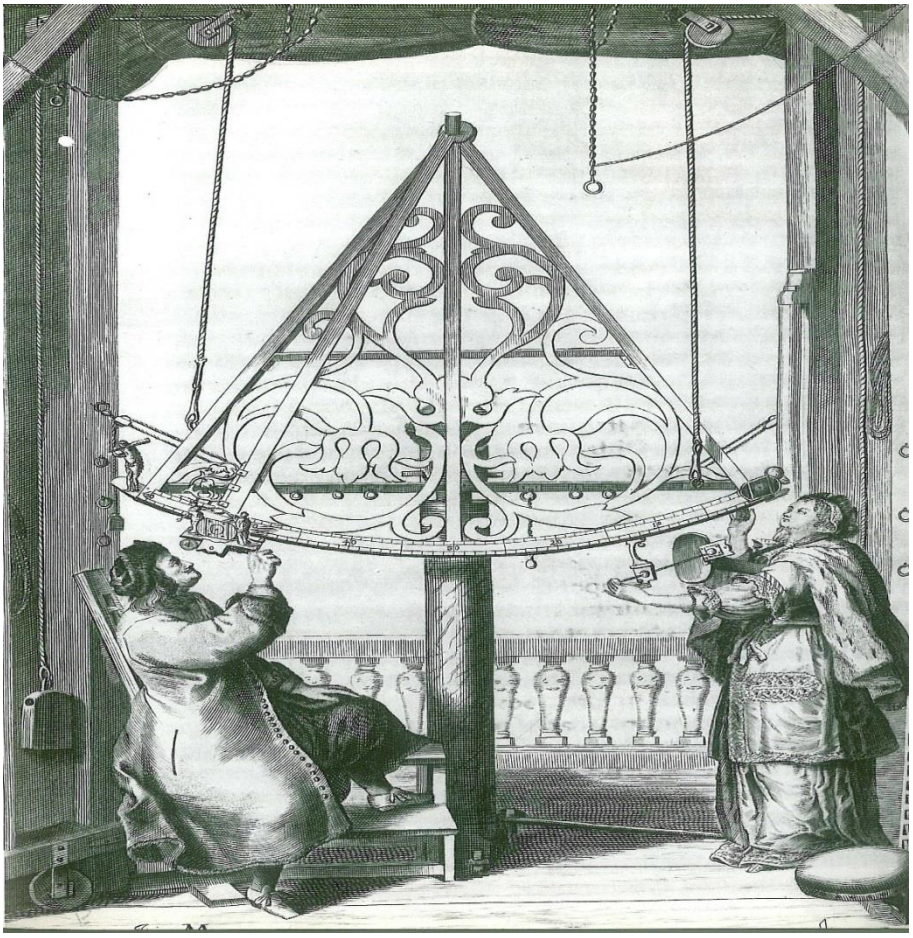
مؤلفین:

مهدی دانشیار – محمد روفچائی

انتشارات دانشیاران ایران

شناسنامه

طراح جلد: مجید کیانی



این کتاب تقدیم به:

خاطره ی جاودان همه شهداء

یادشان ستوده باد.

به نـام خداونـد جـان و خـرد　　کز این برتـر اندیشـه بـر نگـذرد
خداونـد نـام و خداونـد جـای　　خداونـــد روزی ده رهنـــــمای
خداوند کیهـان و گـردون سـپهر　　فروزنـده‌ی مـاه و ناهیـد و مــهر

حضرت علی (علیه‌السلام) می فرمایند:

﴿من اقتبس علماً من علم النجوم من حمله القرآن ازداد به ایماناً و یقیناً﴾

(هر کس دانشی از دانش نجوم را از حاملان قرآن فراگیرد، به واسطه آن ایمان و یقینش افزوده می‌شود).

(بحارالانوار، ج ۵۸، ص۲۵٤)

بسم الله الرّحمن الرّحیم

و سلام علی رسول اللّه و آله الطیبین الطاهرین

﴿وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَّهَا ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ وَالْقَمَرَ قَدَّرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ لَا الشَّمْسُ يَنبَغِي لَهَا أَن تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ﴾

مقدمه

علم مکانیک سماوی، علمی است که به حرکت اجرام سماوی می‌پردازد و چگونگی کیفیت و چرائی آن را بررسی می‌کند. و به دنبال آن است که روش علمی فیزیکی و ریاضی را در قالب قوانینی تکرار شونده برای پیش بینی آینده و چگونگی گذشته اجرام به دست آورد. از آنجا که آسمان بیکران از دوره‌ای که انسان هوشمند پا به عرصهٔ خلقت گذاشته به عنوان آزمایشگاهی بی‌نظیر بی‌دریغ در اختیار همه انسانها بوده و شرایط و عوامل موجود در آن از گزند حوادث مصون مانده و تغییری نکرده لاجرم به مثابه چشمه‌ای الهام بخش برای اندیشه بشری محسوب می‌شده است. بشر احتیاج به نگهداری حساب ایام برای امور کشاورزی و احتساب زمان طغیان رودها و مسائلی از آن قبیل همواره به همراه داشته تا بداند که بذر را کی بیفشاند که در دل خاک تباه نشود و یا نهالهای جوان در تند بادهای گزنده دستخوش خشکی نشوند و یا زمان برداشت محصول شرایط به زیان نباتات نباشد. و برای دانستن این مهم می‌بایست به شرایط گردش

خورشید و سایر ستارگان اشراف می‌داشتند، پس برای رسیدن به این موضوع رصد مستمر ستارگان و اجرام سماوی و رسیدن به روشی علمی در محاسبه ایام و روزها و پیش‌بینی‌ها لازم بود. پس ریاضی در خدمت نجوم در آمد و بنیان رصدخانه‌های اولیه چون استوهنج در اروپا، چارتاقی‌ها در ایران گذاشته شد که مردم از روی نشانه‌هایی خاص پی به تحول فصول می‌بردند و تفاوتهایشان را تنظیم می‌کردند. در دوران باستان که علما اکثراً در میان راهبران دینی بودند مسئولیت نگهداری این ایام را هم بر عهده داشتند و در هر قومی به روشی تقاویمی اختراع و حفظ می‌شد. قوم ایران، هند، یونان اعراب بیابان گرد، مایاها، مصریان، چینیان و سایر ملل که جالبست بدانیم که با تحقیق در تقاویم ملل مختلف و روشهای علمی آنها می‌توان قدمت تمدنها و بدوی بودن یا پیشرفته بودن یا نبودن آنها پی برد و تقویم هر قومی نشانهٔ ریشهٔ تاریخی و فرهنگی آن ملت محسوب می‌شود. اما آنچه که قابل ذکر است این است که همه این ملل در یک مساله با هم مشترکند که ریشه تمامی محاسبات آنها در آسمان ودیدن اجرام آسمانی است و همین امر هزاران سال قدمت رصد آسمان را نشان می‌دهد که اهمیت و ارزش ستاره شناسی را افزایش می‌دهد که آسمان و ستارگانش موضوع علمی هستند که پیوستگی به قدمت هزاران سال دارد که نسلهایی به نسلهای انتقال داده و تکاپوی اندیشه ها و ریشه های خرد جاویدان در آن دیده می‌شود.

مهدی دانشیار - محمد روفچائی

عضوء گروه پژوهشی مرکز نجوم و علوم تحقیقات نوین

آستان مقدس حضرت عبدالعظیم حسنی (علیه السلام)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱۷

علم نجوم در یونان باستان ۱۹

اهمیت مکانیک سماوی ۲۱

گام اول در ستاره‌شناسی تاریخی ۲۳

حرکت‌های خورشید، ماه، سیاره‌ها و ستارگان ۲۴

ستارگان ۲۶

خورشید ۲۷

مشاهده ماه ۲۸

حرکت ماه نسبت به خورشید ۲۹

سیارات ۳۰

بالاخره راه‌حل چیست؟ ۳۳

تئوری زمین مرکزی ۳۳

و اما خورشید ۳۴

سیارات ۳۵

راه‌حل خورشید مرکزی تئوری دیگر یونانیان ۳۷

معرفت شناسی افلاطون ۴۱

فصل دوم ٤٣
منظومه زمین مرکزی بطلمیوس ۴۵
مختصری به شرح کار و روش بطلمیوس می‌پردازیم ۴۶
فلک خارج از مرکز ۴۷
فلک تدویر سیارات ۴۹
و بالاخره معدل المسیر ۵۲
سیاره عطارد ۵۳
جفت طوسی شاهکار هیأت انتقادی وزمینه ساز مکتب کوپرنیکی ۵۴
پیشینه تاریخی جفت طوسی ۵۵
موفقیت‌ها و محدودیت‌های الگوی بطلمیوسی ۵۹
خودتان تجربه کنید ۶۱

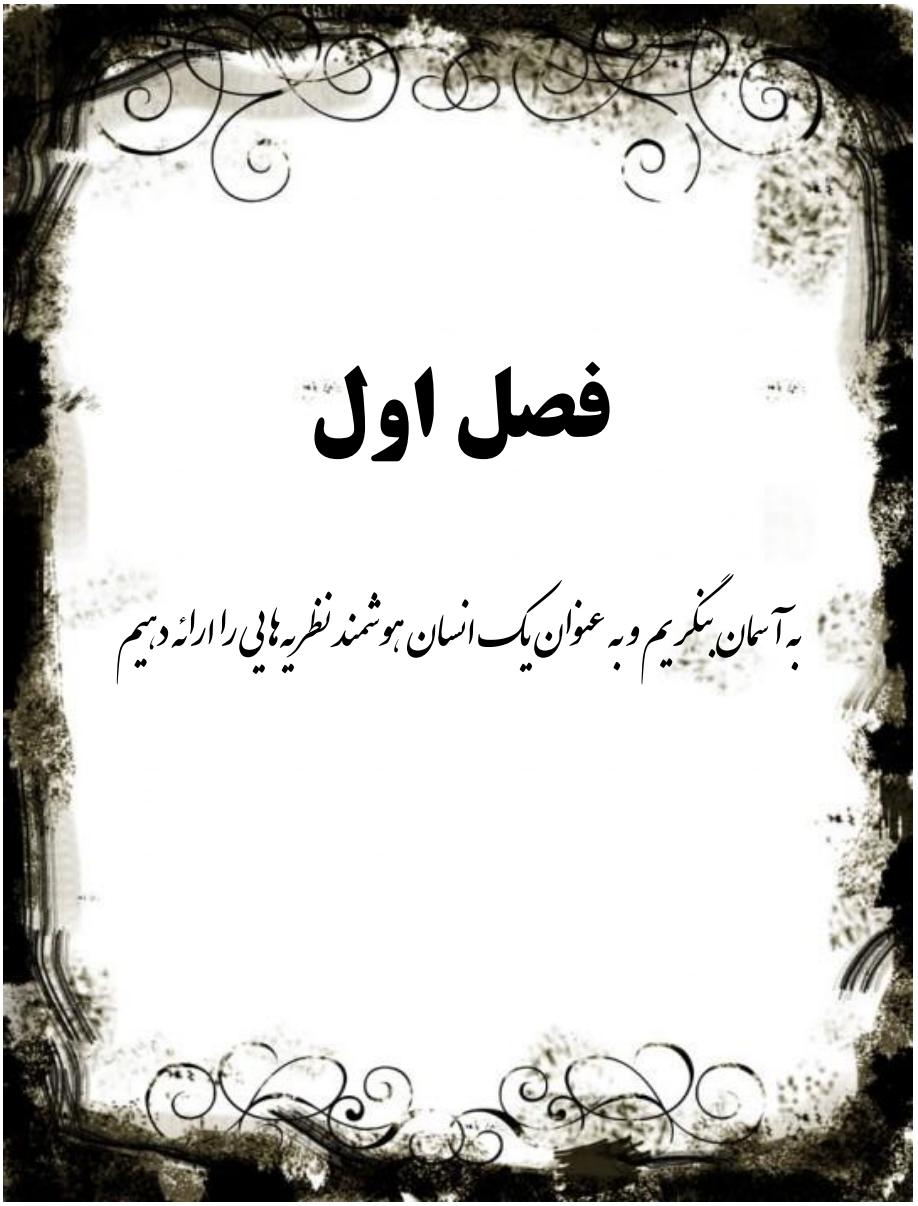
فصل سوم ٦٣
منظومه کوپرنیکی ۶۵
ابتکارات کوپرنیکی ۷۰
دوره‌های گردش سیارات به دور خورشید ۷۱
بحث در منظومه کوپرنیکی ۷۳
اختلاف منظر یا پارالاکس چیست ۷۴
تحول الگوی بطلمیوسی به الگوی کوپرنیکی ۷۵
اولین قدم تحول ۷۶
دومین قدم تحول ۷۷
سیارات خارجی از نگاه الگوی بطلمیوسی و کوپرنیکی ۷۸
گام اول در تحول کوپرنیکی ۷۹

فصل چهارم ۸۱
تیکو براهه اندیشمندی میانه‌رو ۸۳
منظومه شمسی ارائه شده توسط تیکوبراهه ۸۵
یوهان کپلر مرد قانون‌گذار آسمان ۸۶
اختلاف در محاسبات و تجربه ۸۹
قانون کپلر درباره سطوح ۹۰
مدار مریخ ۹۳
قانون کپلر دربارهٔ دوره‌های گردش ۹۵

فصل پنجم ۹۹
روش گالیله در محاسبه ارتفاع کوه‌های ماه ۱۰۱
محاسبه فاصله زهره از خورشید از دیدگاه کوپرنیک ۱۰۵
بدست آوردن فاصله سیارات خارجی تا خورشید ۱۰۶
اندازه‌گیری فاصله سیارات خارجی از زمین با استفاده از روش اختلاف منظر ۱۰۸
حل مدار مریخ «روش کپلر» ۱۱۲
رسم مدار مریخ ۱۱۳

فصل ششم ۱۱۷
نیوتون و دانش قرن هفدهم ۱۱۹
گذر از کپلر به مکانیک کلاسیک ۱۲۳
قانون گرانش عمومی ۱۲۸
قانون کلی گرانش ۱۲۹
بدست آوردن G ۱۳۳

منابع ۱۳۹



فصل اول

به آسمان بنگریم و به عنوان یک انسان هوشمند نظریه هایی را ارائه دهیم

علم نجوم در یونان باستان

یونانیان ملتی بودند که روشی خاص در حوزهٔ معرفت شناسی و علمی پدیده‌های مختلف دارند و همین خصوصیت آنها را از سایر ملل پیشرو قرار داده، در ستاره شناسی در عرصه معرفت شناسی که مباحث کلی در مورد پدیده ها را مورد بررسی قرار می‌دهد و فلسفه سازی را پیشهٔ خود می‌سازد و هم علوم (science) که به کاووش در جزئیات می‌پردازد و رصد جزء به جزء می‌پردازد، صاحب سبک و روش هستند.

یونانیان با طرح پرسشها و جوابهایی اولین بنیانهای علمی در ستاره شناسی را مطرح کردند و عملاً حوزهٔ دروسی که ارسطو در معرفت شناسی برپا نمود زمینه ساز تحقیقات علمی دانشمندان بعد از خود چون بطلیموس در حوزه science شد و کتابهای علمی و رصدی فراوانی در عرصه رصدها و ستارگان نگاشته شد که در اسکندریه مصر موجود بود که متاسفانه در یورش رومیان بی فرهنگ کتابخانه مشهور آن به آتش کشیده شد و بعدها کشمکشهای مختلف بر دامنه ویرانی های آن افزودند. ولی به هر حال حوزهٔ اندیشه سماوی در اختیار مسلمین قرار گرفت و آنها با سخت کوشی فراوان بنیانهای علوم یونانی را باز نویسی و محکم کردند و به مطالعات و تحقیقات آن افزودند و زمینه ساز انقلاب کپرینکی را فراهم نمودند.

پس علم مکانیک سماوی بر پایه ای استوار شد که مبنای آن در یونان و بقـای آن در اقلیم مسلمین قرار داشت و پس از آن کپلر به کمک استدلالهای ریاضـی و گالیله با انجام دادن مشاهدات و نوشتن کتابها در قرن هفدهم پیشرفت بزرگـی را در اختر شناسی سبب شدند و سپس نیوتون باهوش سرشار خود قوانین حاکم بـر حرکت در زمین را برای توضیح حرکت در آسمان به کار گرفت و ترکیبی با شکوه از دینامیک زمینی و دینامیک آسمانی پدید آورد. دستاوردهای وی چنان گسترده و مهم بود که اغلب از آن به انقلاب علمی یاد می‌کنند که علاوه برتاثیر بر فیزیک، در سایر شاخه های علم دگرگونیهای بنیادین را بوجود آورد واندیشه های بشـری و روش برخورد مردم با مسائل متحول شد. چراکه در اندیشه های جزء نگر، همان طور که حوزۀ معرفت شناسی می‌تواند بر حوزۀ science تأثیرگذار باشد، به همـان اندازه هم می‌تواند حوزه science بر معرفت شناسی موثر باشد.

مردان بزرگی چون محمد بن زکریای رازی، بوعلی، ابوریحان بیرونـی ،پاسـتور، مندل، پلانک، انیشتین، رادرفورد، فرمی و سایر دانشمندان اندیشه هـایی در علـم وارد کردند ،که اهمیت روز افزونی برای ما پیدا کرده است به همان اندازه بخشـی از روزگار مارا تشکیل می‌دهند که افرادی چون امام خمینـی، علامـه طباطبـایی، گاندی، علامه جعفری، راسل، هایدیگر، ... بخشی از روزگار ما را تشکیل می دهند. که اگر بفهمیم علم چگونه بر اندیشه و زندگی مردمان گذشته تأثیر داشـته اسـت بهتر خواهیم فهمید که چگونه بر اندیشه و زندگی امروز مـا تـأثیر مـی‌کنـد، ایـن هدف آشکارا، یکی از اساسی‌ترین هدفهای این کتاب است.

مطالبی که در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرد، نه تنهـا علمـی اسـت بلکـه تاریخی نیز هست. امروز تاریخ علم برای هر کس که در پـی شـناخت علـم اسـت اهمیت اساسی دارد.

برای ارائه علم مکانیک سماوی در چارچوب تاریخی نیز دلایلی بـه شـرح زیـر

وجود دارد:

۱. دستاوردهای این علم که به دست آمده هنوز هم درست است و در شمار قدیمی ترین اندیشه هایی است که در کارهای علمی امروز مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲. ویژگیهای هر کار علمی در آن به وضوح دیده می‌شود.
۳. می‌توانیم در آن نقش فرضیه‌ها، آزمایشها، مشاهده‌ها و تئوریهای ریاضی را ببینیم.
۴. می‌توانیم به ساز و کارهای اجتماعی کارهای گروهی، تدریس و مباحثه توجه کنیم و امکان پذیرفته شدن یافته های علمی یک شخص را به عنوان بخشی از دانش زمان خود مورد ارزیابی قرار دهیم.

میان تئوریهای رقیب که برای توضیح مشاهده‌های یکسان نجومی به کار می‌رود، نبردی دلپذیر برقرار است. این نبرد در میان همهٔ نبردهایی که امروزه در زمینه‌های مختلف علمی وجود داشته است در نوع خود بی مانند است. به ما کمک می‌کند تا بفهمیم که قضاوت علیه یک تئوری و موافق با تئوری دیگر چه معیارهایی ممکن است به کار رود.

این کتاب دربردارندهٔ همه علت‌هایی است که در پیدایش علم امروز نقش اساسی داشته‌اند، داستان انقلاب علمی و اثرات گوناگون آن در خارج از علم برای شناخت خود علم به همان اندازه که داستان انقلاب اسلامی ایران برای شناخت ایران امروز ضرورت دارد، مهم و لازم است.

اهمیت مکانیک سماوی

همانطور که گفتیم مطالعه و تحقیق در حرکت سیارات منظومه شمسی همواره در بسط و توسعه نجوم و مکانیک تأثیر اساسی داشته است. در حالی که انجام آزمایش‌ها در سطح زمین برای تحقیق در قوانین مکانیک به علت وجود

اصطکاک و نیروهای ناشی از قیود همیشه ناقص و نتایج حاصل توام با خطاهای غیر قابل اجتناب است.

منظومهٔ شمسی که در آن جرمهایی آزاد و بدون اصطکاک در تحت اثر نیروهای معلوم قرار گرفته‌اند و حرکت و مسیر آنها با رصدهای متوالی با دقت کافی معین و مشخص است. برای این منظور دستگاهی بسیار جالب و بی نظیر و قابل اعتماد می‌باشد. به همین جهت است که از همان قرن هفدهم میلادی یعنی قرن یازدهم هجری که مطالعات سیارات بر پایه علمی و با استفاده از اسبابهای و وسایل جدید شروع شد اصول مکانیک پی ریزی گردید و امروز نیز برای تحقیق این اصول و یا صحت و سقم نظریه‌های جدید در این زمینه بهترین وسیله استفاده از سیارات و اقمار آنها می‌باشد.

اگرچه در سه قرن اخیر پیشرفتهای شایانی در مکانیک سماوی حاصل شده است مع ذلک از اهمیت ادامه تحقیق در این رشته چیزی کم نشده است و کشفیات جدید و مسائل تازه‌ای که در نتیجه تکمیل نظریه‌ها و دقت اسبابهای رصد پیش می‌آید منظومه شمسی را همواره به صورت یک منبع بی پایان تحقیق الهام آورده و توجه ریاضی دانان و منجمین را به این رشته بیش از پیش جلب می‌کند.

از تاریخی که اولین قمر مصنوعی یا ماهواره به فضا پرتاب شد و متعاقب آن ماهواره‌های دیگر در دور زمین و بین سیارات به حرکت در آمدند مکانیک سماوی اهمیت خاصی پیدا کرد و صورت دیگر به خود گرفت به طوری که اگر تا آن موقع فقط مورد توجه ریاضی‌دانان و ستاره شناسان بود اکنون دامنه وسیع‌تری پیدا کرده و عدهٔ کثیری از فیزیکدانان و مهندسین و اهل فن و دانش در این رشته مشغول تحقیق و فعالیت شده‌اند.

مکانیک سماوی با خلاقیت‌های بطلیموسی به صورت مدلهای هندسی که

آمیخته به باورهای افلاطونی بود شروع شد و با گسترش فیزیک و ریاضیات یا کارهای کوپرنیک و کپلر تکامل پیدا کرد و در ادامه با ابتکارات علمی نیوتون از حالت سینماتیک وارد عرصه دینامیک شد. در حالت سینماتیک حرکت دورانی جزء فطری و ذاتی اجرام سماوی قلمداد می‌شد ولی در نگره دینامیکی برای این حرکات دلایلی فیزیکی عنوان شد و حالت معرفت شناسی جای خود را به حالت science داد و در ادامه با نگرش جدید انیشتین به مسئله فضا و زمان و امکان انحنای آنها در نزدیک اجرام سنگین و تفاوت متریکها در جاهای مختلف فضای اطراف زمین و سیارات برای دقت بالاتر از نسبیت عام و قوانین خاص آن در مبحث مکانیک سماوی بهره برده شد.

گام اول در ستاره‌شناسی تاریخی

رویدادها و واقعیتهای روزانه نجومی در زمان ما با آنچه در روزگار ابوریحان بیرونی و ابن سینا اتفاق افتاد تفاوت ندارد. ما می‌توانیم با چشم غیر مسلح تمامی آنچه را که دانشمندان نخستین می‌دیدند و ضبط می‌کردند مشاهده کنیم. می‌توانیم بعضی از دوره‌ها و نظم‌هایی که از روزگاران دیرین شناخته شده‌اند کشف کنیم.

مثلا می‌توانیم تغییرات فصلی ارتفاع نقطه اوج خورشید در ظهر حقیقی، چهره‌های گوناگون ماه را در طول ماه و چرخش آسمان شکوهمند شب را کشف کرد.

اگر بخواهیم خسوفها و کسوفها، مواضع سیاره‌ها و فصلها را پیش‌بینی کنیم می‌توانیم مانند بابلیان و مصریان به ضبط جزئیات مربوط به دوره‌ها و نظم‌ها بپردازیم.

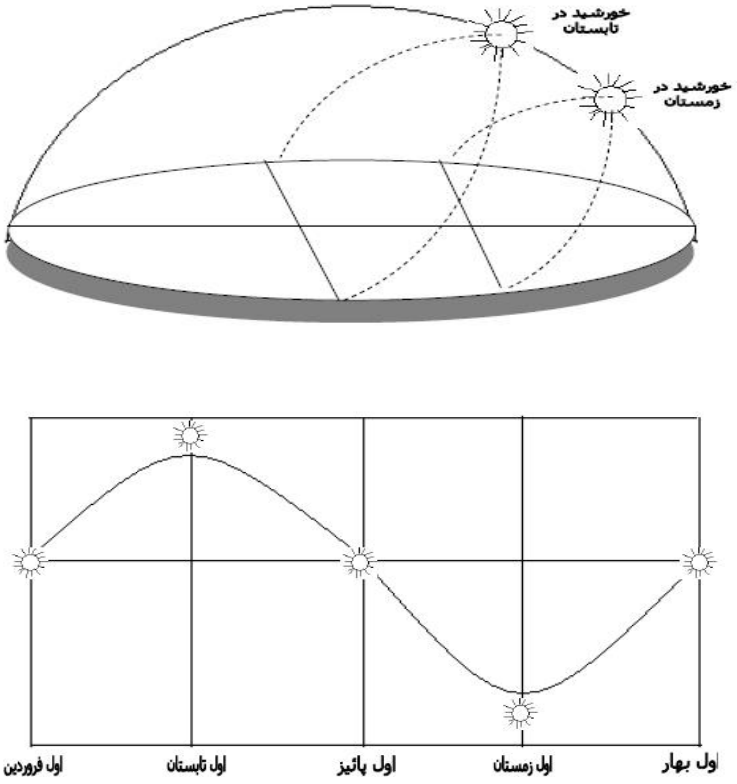
اما فرض کنید مانند یونانیان بخواهیم توضیحی برای این دوره‌ها پیدا کنیم در

این صورت ناچاریم از اطلاعات و تخیل خود برای ساختن نوعی الگوی ساده یا تئوری برای پیش بینی تغییرات استفاده کنیم. پیش از کشف بعضی از تئوریهای پیشینیان نخست به بررسی نمودهای اصلی نجومی می‌پردازیم که اختر شناسان می‌کوشیدند تا با تئوریهای خود آنها را توضیح دهند.

حرکت‌های خورشید، ماه، سیاره‌ها و ستارگان

به خورشید بنگریم

می‌دانیم که مهمترین دوره نجومی که از زمین دیده می‌شود تناوب روز و شب است. هر روز خورشید در افق محلی در مشرق پدیدار و در مغرب ناپدید می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود خورشید در آسمان مسیر قوسی می‌پیماید هنگام ظهر در میان راه مغرب و مشرق، خورشید در میان راه خود در بالاترین ارتفاع خود نسبت به افق قرار می‌گیرد. در حقیقت همه اجرام آسمانی در حرکت روزانه از چنین الگویی پیروی می‌کنند؛ همهٔ آنها از مشرق طلوع می‌کنند، به نقطه ای بلند در آسمان می‌رسند سپس پایین می‌آیند و در مغرب فرو می‌روند. البته بعضی از ستارگان اصلاً زیر افق نمی‌روند. با دگرگونی فصلها، جزئیات مسیر حرکت خورشید در آسمان نیز تغییر می‌کند. در نیم کره شمالی هنگام زمستان طلوع و غروب خورشید در افقی جنوبی‌تر روی می‌دهد و نقطه اوج آن پایین‌تر از نقطه اوج در فصل‌های دیگر است. از این رو مدتی که خورشید آسمان را می‌پیماید، کوتاه‌تر است.



هنگام تابستان طلوع و غروب خورشید به سمت شمال نزدیک‌تر و ارتفاع نقطه اوج خورشید بلندتر می‌شود. از این رو مدتی که خورشید آسمان را می‌پیماید بلندتر می‌شود.

یک دوره کامل این تغییرات اندکی کمتر از ۳۶۵ و ۱/۴ روز می‌باشد. در نیم کره جنوبی نیز همین تغییرات ولی با شش ماه فاصله مشاهده می‌شود.

این دوره یک ساله شمالی و جنوبی مبنای سال فصلی یا سال خورشیدی است.

ظاهراً مصریان باستان، زمانی چنین می‌پنداشتند که هر سال ۳۶۰ روز است اما بعدها ۵ روز عید را بدان افزودند تا طول سال ۳۶۵ روز باشد و آن بیشتر با تغییرات فصلی سازگار بود.

امروزه در تقویم طول سال را ۳۶۵/۲۵ روز می‌گیرند و برای اینکه این اعشار را از بین ببرند هر چهار سال یک بار کبیسه می‌گیرند اما چون در حقیقت طول سال شمسی ۳۶۵/۲۴۲۱ روز می‌باشد که اختلاف آن با ۳۶۵/۲۵ حدود ۸۷٪ است که اگر ۱۲۸ سال بگذرد این کسر یک می‌شود یعنی هر ۱۲۸ سال یک روز از سال کم است پس لاجرم منجمان اسلامی برای اینکه این کم شدن در خود سالها منظور گردد هر ۷ کبیسه چهار ساله را که می‌گرفتند بعد از آن یک کبیسه ۵ ساله می‌گرفتند که این روند تا ۱۲۸ سال خود به خود این یک روز را جبران می‌کرد. پس تقویمی دقیق برای احتساب ایام خود در ایران به وجود آمد ولی تقویمی که ملل مسیحی و غرب و سایر ملل از آن استفاده می‌کنند این دقت در آن وجود ندارد و همین عامل شد که در سال ۱۵۸۲ میلادی پاپ گریگوری تقویم جدیدی ارائه دهد و تقویم رابا حذف روزهایی به حالت عادی باز گرداند که در این تقویم به ازای هر ۴۰۰ سال ۹۷ روز اضافه وجود دارد که برای رسیدن به آن سالهایی که آغاز قرن هستند و بر عدد ۴۰۰ قابل تقسیم نیستند سال کبیسه به حساب نمی‌آورند. بنابراین سال ۱۹۰۰ میلادی سال کبیسه نیست در صورتی که سال ۲۰۰۰ میلادی کبیسه است.

ستارگان

نقاطی درخشان در آسمان که به صورت منظم از جانب شرق طلوع و در طرف غرب غروب می‌کنند. صور فلکی که اسامی خیالی برای گروه‌های ستاره‌ای برای طبقه بندی آسمان است و از اجتماع ستارگان به وجود می‌آید شکلشان در طول

هزاران سال تغییری نکرده و این نشان از این است که موضع ستارگان نسبت به یکدیگر ثابت است از طرفی ستارگان جایگاه طلوع و غروبشان در طول زمان مانند خورشید تغییر نمی‌کند. پس لاجَرم ستارگان می‌توانند به عنوان دستگاه مختصات مرجع محسوب شوند و موضع سایر اجرام نسبت به آنها تعیین شود. با تعیین یک چارچوب یعنی ستارگان و موضع آنها به عنوان چهارچوب مرجع حال به تحقیق درباره اجرام آسمانی می‌پردازیم.

خورشید

توصیف حرکت خورشید نسبت به چنین چارچوبی باید شامل عبور روزانه خورشید از آسمان ، تفاوت روزانه زمان طلوع و غروب و تغییرات فصلی در ارتفاع نقطه اوج خورشید باشد. اولاً مشاهده می‌شود که خورشید سمت طلوع و غروبش در آسمان متفاوت است و تابستان از شمال شرقی طلوع و در شمالی غربی غروب می‌کند و در زمستان از جنوب شرقی طلوع و در جنوب غربی غروب می‌کند. و در اول بهار و پاییز درست از جانب شرق طلوع و در جانب غرب غروب می‌کند.

همچنین دیده می‌شود در مقایسه خورشید با ستارگان خورشید هر روز ۴ دقیقه دیرتر از ستارگان شاخص غروب می‌کند مثلاً فرض کنید خورشید و ستاره‌ای امروز هم زمان با هم غروب کنند فردا خورشید چهاردقیقه دیرتر غروب می‌کند، پس فردا هشت دقیقه دیرتر و به همین ترتیب گویی خورشید در مسیر حرکت خود با توجه به اینکه سیستم مرجع ما ستارگان هستند. نسبت به زمینه آسمان یک حرکت چهار دقیقه‌ای در هر روز از جانب غرب به شرق دارد.

بنابراین بنا به مشاهداتمان می‌توان برای خورشید سه حرکت قائل شویم:

۱. از جانب شرق به غرب که روزانه آن را می‌بینیم؛

۲. حرکت شمال به جنوب و جنوب به شمال که اگر لحظه ظهر اعتدال بهاری

را صفر در نظر بگیریم زاویه خورشید هر چه به سوی تابستان پیش می‌رویم از این نقطه به طرف شمال زیادتر شده و در اول تابستان به بیشترین زاویه یعنی ۲۳/۵ درجه می‌رسد و از اول تابستان به بعد دوباره این زاویه کم و کمتر می‌شود تا اینکه در فصل پاییز دوباره زاویه به صفر گرایش پیدا می‌کند و از اول پاییز به بعد دوباره زاویه به طرف جنوب زیاد شده و در اول زمستان به بیشترین زاویه جنوبی یعنی ۲۳/۵ درجه رسیده و از اول زمستان به بعد دوباره این زاویه کم و کمتر شده تا این که در اول بهار به صفر گرایش پیدا می‌کند.

۳. بالاخره حرکت دیگر حرکت از غرب به شرق است که روی دائره البروج انجام می‌دهد و روزی ۴ دقیقه از ستارگان دیرتر غروب یا دیرتر طلوع می‌کند که معادل حرکت یک درجه از جانب غرب به شرق روی دائره البروج می‌باشد.

مشاهده ماه

ماه بعد از خورشید از نظر هیوی و رصدی جایگاه ویژه‌ای دارد، در رصد ماه مهمترین مسئله آن است که مانند سایر اجرام سماوی از شرق به غرب حرکت می‌کند و از جانب مشرق طلوع و در جانب مغرب غروب می‌کند. ماه نسبت به زمینه آسمان یعنی ستارگان هم حرکت ویژه‌ای دارد ماه نسبت به زمینه آسمان حرکتی از مشرق به مغرب دارد ولی حرکتی نسبتاً سریع‌تر از خورشید. ماه هر روز ۵۰ دقیقه دیرتر از سایر ستارگان غروب می‌کند مثلاً اگر امروز ساعت ۱۰ شب غروب کرد فردا ساعت ۱۰:۵۰ دقیقه غروب می‌کند پس فردا ساعت ۱۱:۴۰ و به همین ترتیب.

حرکت ماه نسبت به خورشید

اگر چنانچه حالتی را در نظر بگیریم که همزمان با غروب خورشید ، ماه طلوع کند که در این حالت در حالت بدر می‌باشد و قرص کامل ماه قابل رؤیت است. با رصد ماه متوجه می‌شویم که هر روز دیرتر از روز قبل طلوع می‌کند و از گردی آن کاسته می‌شود. تقریباً چهارده روز بعد ماه در آسمان در کنار خورشید قرار می‌گیرد و همراه با آن طلوع می‌کند در این هنگام به هیچ وجه قابل رؤیت نیست. پس از حالت مقارنه دوباره به صورت هلالی باریک در ارتفاع کم در مغرب آسمان قابل رؤیت می‌باشد. همراه با حرکت ماه به جانب شرق که از حرکت خورشید سریعتر اتفاق می‌افتد پیوسته بر قسمت روشن ماه افزوده می‌شود. تا آنکه ماه به صورت نیم دایره روشن در می‌آید پس از یک هفته به صورت بدر ظاهر می‌شود. پس از هر بدر همین دور بار دیگر تکرار می‌شود.

اگر چنانچه در روز ۵۰ دقیقه نسبت به ستارگان دیرتر غروب کند اگر مثلاً در روز ۱۸ بهمن ۱۳۹۰ مطابق ۱۴ ربیع الاول ۱۴۳۲ لحظه غروب خورشید ساعت ۱۷:۳۶ باشد و طلوع ماه همزمان با آن صورت پذیرد لاجرم می‌توان چنین نوشت: Q=۱۷/۰۶ + (۰/۸۳)n که n شمار روزهای گذشته از چهاردهم ماه ربیع الاول است و Q ساعت طلوع ماه در روزهای مختلف همان گونه که ملاحظه می‌شود در ۱۵ روز بعد که مصادف ۲۹ ماه قمری است Q = ۳۰/۰۵ است که اگر از ۲۴ ساعت کم کنیم ساعت ۶/۰۵ می‌شود.

نزدیک به طلوع آفتاب که ساعت ۶/۴۷ می‌باشد.

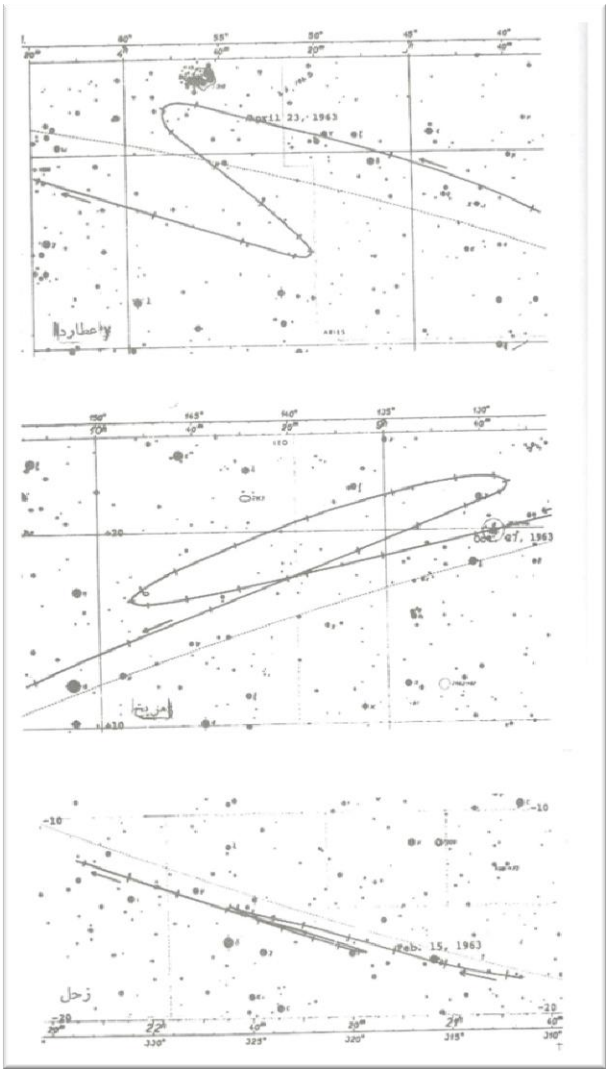
تا پیش از سال ۳۸۰ پیش از میلاد افلاطون فیلسوف یونانی دریافته بود که ماه کره‌ای است که هر ۲۷ روز یک بار به دور زمین می‌گردد و نور خورشید را منعکس می‌کند. چون ماه در مقایسه با ستارگان بسیار بزرگ به نظر می‌رسد و حرکتی بسیار سریعتر دارد سبب شده است که مردم در روزگاران دور آن را

نزدیک به زمین بدانند. مسیر حرکت ماه در آسمان به مسیر سالانه خورشید نزدیک است. به گفته دیگر ، ماه همواره در نزدیک دائره البروج حرکت می‌کند اما مسیر آن نسبت به خورشید اندکی انحراف دارد اگر چنین نمی بود در هر ماه نو، ماه کاملاً در برابر خورشید قرار می‌گرفت و سبب کسوف می‌شد و نیز در هنگام بدر درست در سوی دیگر خورشید قرار می‌گرفت و در فضا در سایه زمین حرکت می‌کرد و خسوف پدید می‌آمد. حرکت ماه در طی قرنها به ویژه برای پیش بینی خسوفها و کسوفها مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. این حرکتها بسیار پیچیده‌اند درستی هر تئوری مربوط به حرکت در آسمان را می‌توان بر اساس دقت پیشگویی آن درباره موضع ماه در آسمان ارزیابی کرد. پس آنچه از ماه می بینیم حرکت ماه از شرق به غرب است، همچنین حرکت از غرب به شرق در نزدیک دائره البروج که از حرکت خورشید تندتر است و به طور متوسط ۱۳ درجه در آسمان در جانب غرب به شرق حرکت می‌کند. حرکت شمالی و جنوبی که اگر دائره البروج را مدار شاخص بگیریم نسبت به دائره البروج ۵ درجه شمالی و تا ۵ درجه جنوبی تغییر وضعیت می‌دهد.

سیارات

بدون تلسکوپ گذشته از خورشید و ماه پنج شیء نسبتا درخشان در آسمان می‌توان دید که در میان ستارگان حرکت می‌کنند این اجرام سرگردان یا سیارات عطارد، زهره، مریخ، مشتری، زحل هستند. با کمک تلسکوپ بعدها سه سیاره دیگر کشف شدند. همه این سیارات مانند سایر اجرام از شرق طلوع کرده و در غرب غروب می‌کنند. و نیز حرکتی غربی- شرقی نسبت به ستارگان دارند. اما یک حرکت دیگر در سیارات آسمان مشاهده می‌شود و آن اینگونه است که در حرکت خود در غرب به شرق به مدت چند ماه حرکت به سوی غرب را شروع می‌کند این

حرکت به جانب غرب را رجعت می‌گویند. سیاراتی مانند مـریخ، مشـتری و زحـل زمانی حرکت رجعی را انجام می دهند که درست در جهت مقابله خورشید نسبت به زمین هستند و سیاراتی همچون زهره و عطارد در مقارنه بالایی رجعـت اتفـاق می‌افتد.



مسیرهای همه سیاره‌ها نزدیک مسیر خورشید در میان ستارگان یعنی نزدیک دائره‌البروج است. عطارد و زهره نیز همیشه تقریباً نزدیک خورشید هستند بزرگترین فاصله زاویه‌ای عطارد در غرب و یا شرق خورشید ۲۸ درجه و برای زهره ۴۸ درجه است. حرکتهای رجوعی این سیاره‌ها به سوی غرب تقریباً هنگامی روی می‌دهد که آنها در جهت مخالف خورشید باشند. پس هنگامی که مشاهد شد که سیاره زهره سه ساعت و دوازده دقیقه بعد غروب خورشید، غروب یا سه ساعت و دوازده دقیقه قبل از طلوع خورشید طلوع می‌کند زمانی است که حرکت رجعی خود را شروع می‌کند. و یا در سیاره عطارد وقتی این سیاره یک ساعت و چهل و هشت دقیقه بعد غروب خورشید غروب یا یک ساعت و چهل و هشت دقیقه قبل از طلوع خورشید طلوع کند زمانی است که حرکت رجعی خود را شروع می‌کند. درخشندگی سیاره ها بسیار متغیر است. زهره، نخستین بار که در آغاز شب در آسمان به صورت «ستاره شامگاهی» ظاهر می‌شود. نسبتاً درخشنده می‌باشد مدت ۴ تا ۵ ماه در جهت مشرق از خورشید دور می‌شود، در این مدت به تدریج بر درخشندگی آن افزوده می شود تا آنکه اغلب در هوای صاف نیز در روز دیده می‌شود. پس از چند هفته به سرعت به طرف خورشید حرکت می‌کند چیزی نمی‌گذرد که ناپدید می‌شود از کنار خورشید می‌گذرد و بار دیگر در آسمان صبح پیش از طلوع خورشید به صورت «ستاره صبحگاهی» پدیدار می‌شوند. از این پس همان تغییرات اما در جهت عکس اتفاق می‌افتد. نخست درخشان است و پس از آن به آرامی درخشندگی خود را از دست می‌دهد. سیاره عطارد نیز به همین شیوه رفتار می‌کند ولی چون این سیاره فقط در نزدیک خورشید دیده می‌شود تغییرات آن به آسانی قابل رؤیت نیست. مریخ مشتری و زحل هنگامی حرکت رجعی را شروع می‌کنند که در شب درخشنده‌ترین حالت هستند سپس میزان حداکثر درخشندگی تغییر می‌کند این تغییر بخصوص در

مورد مریخ بسیار آشکار است پیش از این دیدیم که خورشید ماه و سیاره‌ها یا گردش کره آسمان به دور زمین به تدریج به عقب می‌لغزند و بنابراین به نظر می‌رسد که در میان ستارگان به طرف شرق حرکت می‌کنند این نیز واقعیتی است که ماه و سیاره‌ها همواره در داخل نواری به عرض ۸ درجه در دو طرف مسیر حرکت خورشید یافت می‌شوند. این نوار را منطقه البروج نامند.

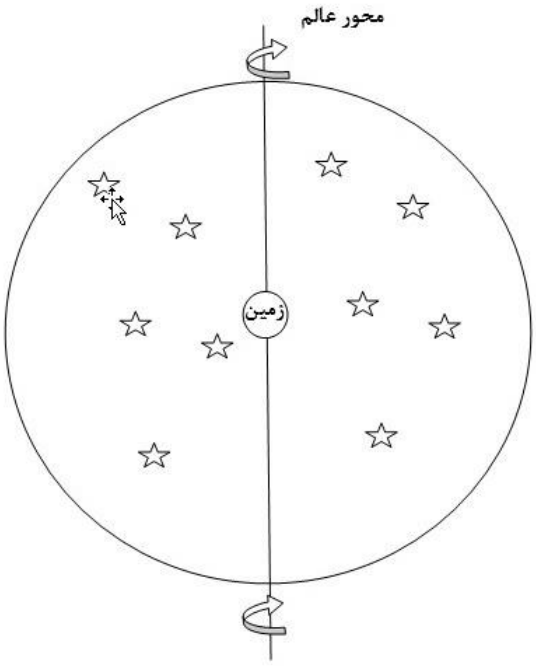
بالاخره راه‌حل چیست؟

این مشاهدات ما از سیارات و ماه و خورشید است اما دلیل حرکت آنها بدین گونه چیست و کدام تئوری و نظریه در مورد آنها درست است؟ این پدیده‌ها هزاران سال است که توسط بشر رؤیت می‌شود از حضرت آدم (علیه السلام) تا خاتم (ص) از افلاطون و بطلیموس تا ابوریحان بیرونی و خواجه نصیرالدین طوسی از کوپرنیک تا کپلرو نیوتون و انیشتین و هاوکینگ و خود ما همه پدران ما همین‌ها را دیده‌اند که ما الان می‌بینیم و گزارشات رصدی آنها همه ثبت و ضبط شده است. شاید اولین نظریات بر مبنای اندیشه انسانی که برگرفته از دانش بشری است توسط یونانیان بوده باشد که زمین را جسمی بزرگ و جامد و پایدار در نظر می‌گرفتند که بی حرکت در جهان است و سایر اجرام حول آن در حال دوران هستند این پدیده را زمین مرکزی گویند.

تئوری زمین مرکزی

از این دیدگاه حرکت شبانه روزی ستارگان به آسانی قابل توضیح بود. ستارگان چسبیده به پوسته کروی شکل بزرگی بودند که زمین را احاطه کرده است همگی به یک فاصله از زمین قرار دارند و هر شبانه روز این کره آسمانی یک بار حول محوری که از میان زمین قرارداشت می‌چرخید. به این ترتیب همه

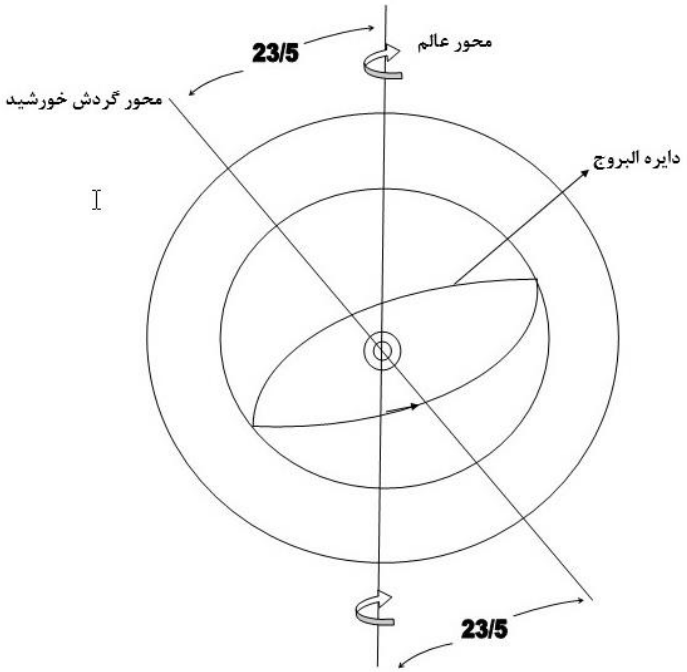
ستارگان که به آن پوسته چسبیده بودند به دور مرکز دوران، مسیرهای دورانی را می‌پیمودند. پس یک الگوی ساده یک کره آسمانی گردان و یک زمین ساکن می‌توانست حرکت شبانه روزی ستارگان را حل کند.



و اما خورشید

سه حرکت آشکار خورشید به الگوی نسبتاً پیچیده‌ای نیاز داشت. برای توضیح حرکت خورشید نسبت به ستارگان یک پوسته نادیدنی مجزا در نظر گرفته می‌شد. این پوسته خورشید را بر گرد زمین حمل می‌کرد و بر کره آسمان پیوسته بود. و در حرکت اول ویژه خود داشت که به یک روز ۳۶۰ درجه در سال بالغ می‌شد و حرکت شمالی جنوبی خورشید را ناشی از انحراف محور کره آن

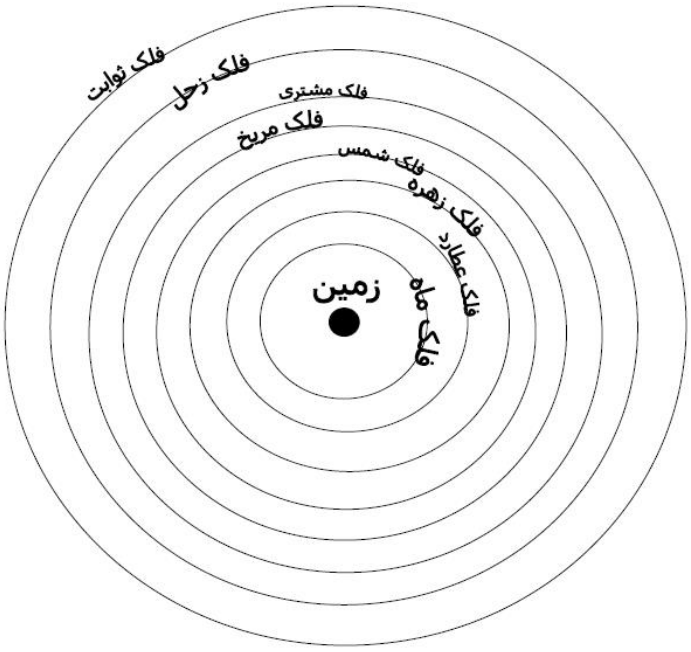
می‌دانست. این فرض با انحراف ۲۳/۵ درجه مسیر خورشید نسبت به محـور گنبـد ستارگان مطابقت داشت.



سیارات

توجیه حرکت سیارات شناخته شده دشـوارتر بـود. ایـن سـیاره‌هـا در حرکـت عمومی و شبانه روزی ستارگان سهیمند اما حرکتهـای ویـژه‌ای نیـز برخوردارنـد. زحل بسیار کند در بین ستارگان حرکت می‌کند و در هـر ۳۰ سـال یـک گـردش کامل انجام می‌دهد. بنـابراین کـره مربـوط بـه آن بزرگتـر و نزدیکتـرین کـره بـه ستارگان در نظر گرفته می‌شود. در داخل کره مربوط بـه زحـل کـره‌هـای حامـل سیاره‌های سریعتر یعنی مشتری (۱۲ سال) و مریخ (۶۸۷ روز) قرار داشـت. چـون حرکت دوره‌ای این کره‌ها در میان ستارگان بیش از یک سال بـه طـول انجامیـد.

این سیاره‌ها را در فراسوی کره حامل خورشیدی می‌پنداشتند از طرفی رصدهای مقارنه‌های همپوشانی کننده این مطلب را آشکارتر می‌کرد مثلاً ماه صورت خورشید را می‌پوشاند پس فلک ماه جلوی فلک خورشید است. به قول شیخ الرئیس ابن سینا، زهره را چون خالی بر صورت خورشید دیدم پس این نشان از این است که فلک زهره جلوی فلک خورشید است و ماه جلوی سیاره زهره قرار می‌گیرد پس سیاره زهره بین ماه و خورشید است و به همین گونه.



آرایش فرضی پوسته‌ها با کره‌های شفاف الگویی اجمالی برای توضیح حرکتهای عمومی اجرام فلکی فراهم ساخت. این الگو را ممکن نبود با انتخاب اندازه‌های مناسب برای کره‌ها و سرعت جهت حرکت آنها، کاملا با مشاهدات سازگار کرد. هر گاه پدیده‌های تازه‌تری با تغییرات دوره‌ای دیگر مشاهده می‌شد

می‌توانست کره‌های دیگری برای تکمیل الگو بدان بیفزایند. شاید این تصور ایجاد شود که دانش یونانیان دانشی در خور و مناسب نبوده اما این درست نیست یونانیان پیش قراولان گسترش تئوریهای بودند طبیعتاً آنها فرضهایی را می‌پذیرفتند که الان برا یمان قابل پذیرش نیست و همان گونه که ما فرضهایی را پذیرفته‌ایم که ممکن است برای بشر ۲۰۰۰ سال دیگر قابل قبول نباشد.

مفاهیم علمی اندیشه‌های کلی هستند که تنها به جنبه‌های معینی از مشاهده‌ها مربوط می‌شود و نمی‌تواند تمام اطلاعات تجربه نشده و نا آزموده که در جهان وجود دارد را در بر بگیرد. تاریخ علم موارد بسیاری را نشان می‌دهد که در آن عواملی معین که از دیدگاه یک پژوهشگر ناچیز می‌نمود. بعدها تبدیل به عواملی مهم شده‌اند اما بدون کوشش اولیه چگونه می تواند نظامهای بهتری برای انجام پیشگویی به وجود آورد؟ تئوریها در طی آزمونها و بررسی‌ها بهبود می‌یابند و گاه به طور کامل با تئوریهای بهتری عوض می‌شوند.

راه‌حل خورشید مرکزی تئوری دیگر یونانیان

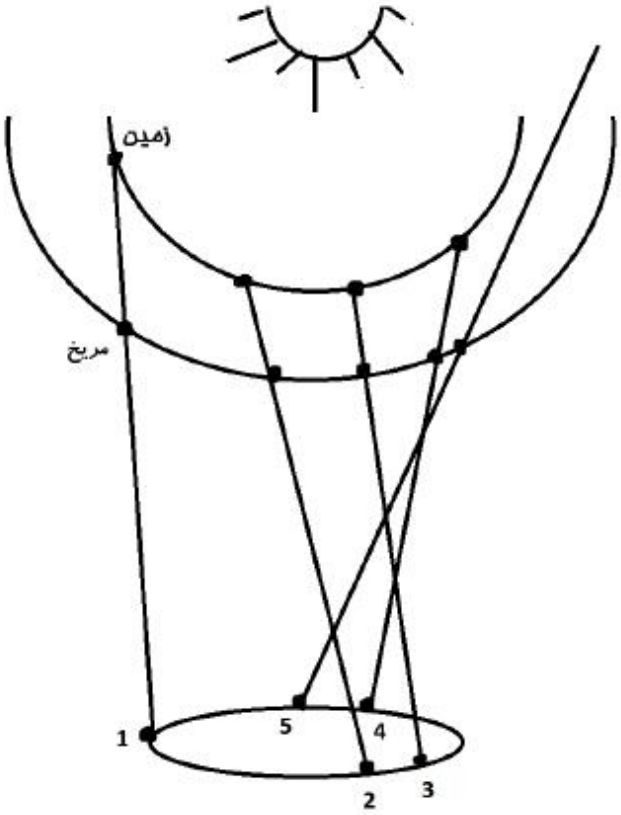
گرچه تا دو هزار سال بعد از ارسطو و افلاطون فرضیه زمین مرکزی مورد قبول بود و در حول و حوش آن فعالیت می‌شد ولی در قرن سوم میلادی فیلسوفی به نام آریستارکوس اخترشناسی که احتمالاً تحت تأثیر نوشته‌های هرالکیدُس که یک قرن پیش از او می‌زیست قرار گرفته بود الگویی تازه را ارائه داد وی اعلام داشت که برای توضیح ساده تر حرکتهای آسمانی باید خورشید که سرچشمه نور است، در مرکز و زمین سیاره‌ها و همهٔ ستارگان اطراف آن قرار گیرند. چنین آرایشی را هیئت خورشید مرکزی یا منظومه خورشید مرکزی می‌نامند.

او معتقد بود که کره آسمان ثابت است و زمین هر شبانه روز یک دور حول محور خود می‌زند و با این فرض می‌توان تمامی حرکتهای شبانه روزی را که در

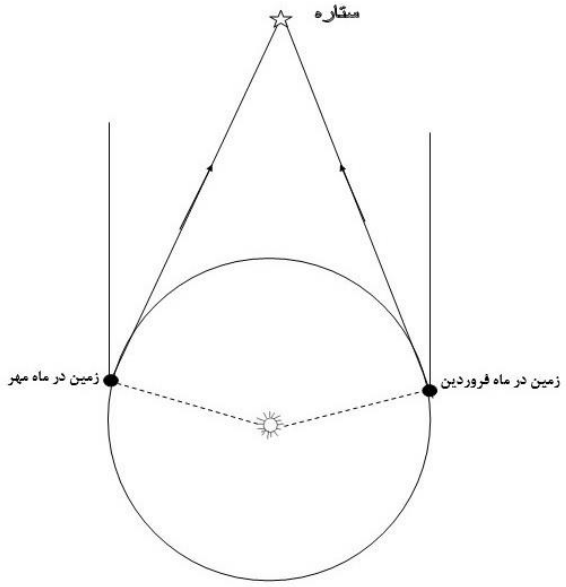
آسمان مشاهده می‌شود توضیح داد. در منظومه خورشید مرکزی انحراف ظاهری مسیرهای خورشیدی ماه و همه سیاره‌ها نتیجه انحراف محور خود زمین است.

تغییرات سالانه آسمان از جمله حرکتهای رجوعی سیاره‌ها با یک فرض که زمین و سیاره‌ها به دور خورشید می‌گردند قابل توجیه است. در این الگو حرکتی که پیش از آن به خورشید حول زمین نسبت داده می‌شد به زمین در حرکت به دور خورشید نسبت داده می‌شد از این گذشته زمین خود یکی از سیاره‌های منظومه شمسی به شمار می‌آید. وعنوان می شد که سیاره‌ها جایگاه خدایان نیستند بلکه اجرامی هستند مانند زمین.

در شکل زیر نشان داده شده است که چگونه این هیئت می‌توانست مشکل حرکت رجعی سیارات را حل کند. چنین فرض شده است که یک سیاره بیرونی و زمین در مدارهای دایره‌ای به دور خورشید می‌گردند. سیاره بیرونی کندتر از زمین حرکت می‌کند. در نتیجه هنگامی که زمین در یک راستا میان خورشید و سیاره قرار می‌گیرد. به سرعت از برابر سیاره کنار می‌رود نسبت به ما چنین به نظر می‌رسد که سیاره مدتی در آسمان به عقب حرکت می‌کند. مسئله مهم دیگری که در نظریه آریستارکوس جالب بود دلیل درخشان بودن سیارات در حرکت رجعی مشخص می‌شد چرا که در این نظر دو سیاره در مقابل هم بودند لاجرم نزدیکترین فاصله را تا زمین داشته لذا درخشانتر دیده می‌شدند. اما با تمام این تفاسیر نظر آریستارکوس مورد پذیرش معاصرانش قرار نگرفت.



اولاً این نظریه با مفاهیم معرفت شناسی که زمین را مرکز عالم می‌دانست مغایرت داشت ثانیاً طرح تازه او با حس مشترک و مشاهدات روزمره در تباین بود. و ثالثاً حالت پارالاکس یا اختلاف منظری در ستاره‌ها در اثر گردش زمین حول خورشید در هیچ رصدی ثبت و اعلام نشده بود و این می‌توانست خود دلیل داشته باشد یا زمین حول خورشید حرکت نمی‌کند و یا اینکه فاصله ستارگان از ما خیلی دور است و اختلاف منظر کوچکتر از آن است که رؤیت شود.



اگر زمین به دور خورشید گردش کند در این صورت امتداد رؤیت ستارگان باید در طول سال تغییر کند. تغییر مواضع نسبی اشیا براثر حرکت ناظر اختلاف منظر نامیده می‌شود. بزرگترین اختلاف منظر یک ستاره در حرکت سالانه زمین بر گرد خورشید در حدود ۱/۲۴۰۰ درجه است.

پس ما هم با یونانیان موافقیم که تئوری خورشید مرکزی را تا اندازه‌ای به سبب آنکه در ستارگان اختلاف منظر نمی‌دیدند، نمی‌پذیرفتند. تنها آریستارکوس بود که به این فکر افتاد که ستارگان ممکن است در فاصله‌ای بسیار دور باشند. سرانجام ایده آریستارکوس به دلیل آنکه به جزئیات پرداخته نشد و برای پیشگویی مواضع سیارات مورد استفاده قرار نگرفت مطرود شد، و فقط در کتب لمعاتی از آن باقی ماند که گاهی از طرف افرادی چون سجزی و ابوریحان مورد نقد قرار می‌گرفت و سپس در قرن ۱۸ با نگرشی نو به علم دوباره رونق دوباره گرفت و حیاتی دوباره یافت. اندیشه‌ها در محدوده زمان یا مکان باقی نخواهند ماند.

معرفت‌شناسی افلاطون

افلاطون به عنوان یک حکیم تأثیرگذار در طول تاریخ علم مطرح بوده که همواره نظراتش در چندین قرن مورد پذیرش حکیمان بعد از خود قرار گرفته در مورد آسمان نظر افلاطون بر این اساس قرار داشت که همان گونه که مشاهدات نشان می‌دهد ستاراگان و اجرام آسمانی می‌باید اجرامی باشند که دارای کون و فساد مانند مواد زمینی نباشند چرا که هزاران سال بدون تغییر مانده‌اند و چون آسمان جایگاه خدایان است می‌بایست اجرامی که در آن هستند کامل‌ترین باشند حتی در حرکت و شکل، لاجرم شکل همه اجرام سماوی کرویست که کامل‌ترین اشکال هندسی است و حرکتشان دایروی حول زمین با حرکت یکنواخت می‌باشد و در مورد اجرامی چون سیارات، ماه و خورشید که حرکتشان یکنواخت به نظر نمی‌رسد از ترکیب حرکات یکنواخت دایروی به وجود آمده و بلاخره منجر بدین حرکت شده است. پس تئوری ساده افلاطون که با مشاهدات هم سازگاری داشت مورد پذیرش اخترشناسان قرار گرفت.

فصل دوم

منظومه زمین مرکزی بطلمیوس

بطلمیوس ۵۰۰ سال بعد از افلاطون و ارسطو با مبنی قرار دادن معرفت شناسی آنها برای توجیه حرکت ستارگان مبنای قوی ریاضی زیبایی را برقرار کرد و در کتاب خود موسوم به مجسطی به توضیح فرضیات خود بر مبنای زمین مرکزی و معرفت شناسی افلاطونی پرداخت.

وی در مقدمه کتاب المجسطی می‌نویسد:

«... ما امیدواریم که نمودهایی آشکار از مشاهده‌های گذشته و خود بیابیم و دستاوردهای این تصورات را به کمک نمایشی هندسی به کار گیریم. و بنابراین باید اعلام کنیم که افلاک کروی هستند و بطور کروی حرکت می‌کنند و زمین نیز از نظر شکل بطور محسوسی کروی می‌باشد و از نظر موضع همچون مرکز هندسی درست در مرکز افلاک قرار دارد، و از نظر بزرگی و فاصله نسبت به کره ستارگان ثابت در حکم نقطه‌ای است و خود هیچ گونه حرکت موضعی ندارد.»

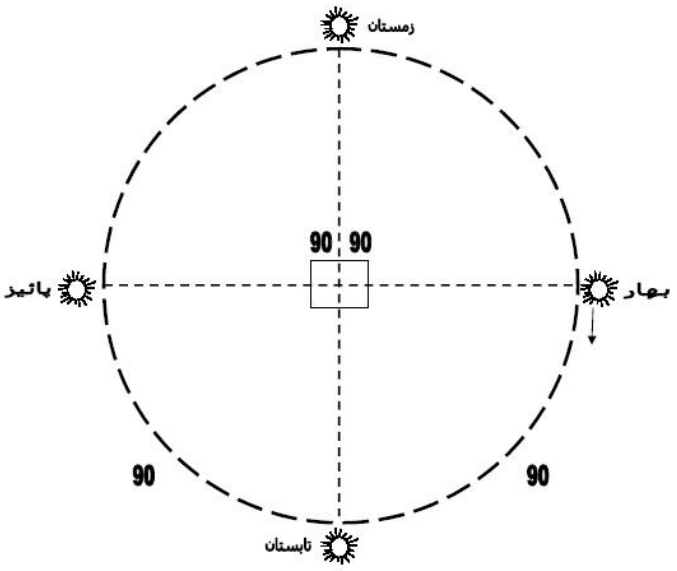
و در جای دیگر مجسطی می‌گوید:

«اما برخی از مردم هر چند سخنی ندارند تا مخالفت با این استدلالها بیان کنند به چیزهای دیگری معتقدند و آنها را درست تر می‌پندارند و خیال

می‌کنند به نادرستی این پندارها، که بر اساس آن افلاک ساکنند و زمین به دور محور فلکی از غرب به شرق در حدود یک دور در روز می‌چرخد، هیچ گونه دلیلی ندارد. اینان توجه نکرده‌اند که با در نظر گرفتن حرکتهای ستارگان، هیچ دلیلی بر علیه نظر ساده ما وجود ندارد. حال آن که با توجه به رویدادهای اطراف ما در هوا چنان نظری نامعقول و نارواست» پس مبانی معرفت شناسی بطلمیوس بر اسا س معرفت شناسی افلاطون استوار شده که زمین را در مرکز عالم، کروی و حرکت اجرام سماوی را دایره‌ای و یکنواخت می‌داند و مشاهده پذیر بودن و حس مشترک را هم به مدد می‌طلبد و در جایی شاهد می‌آورد برای رد خورشید مرکزی و حرکت زمین و استدلال می‌آورد که آنچه مشاهده می‌شود با آنچه در این نظریه مطرح است مغایرت دارد چرا که به اعتقاد بطلمیوس می‌بایست در اثر حرکت گردشی زمین تمام پرندگان موجود در هوا، ابرها از غرب به شرق پرتاب می‌شدند و چنین مسئله‌ای را کسی گزارش نداده، پس مردود است.

مختصری به شرح کار و روش بطلمیوس می‌پردازیم

بطلمیوس سه طرح فلک خارج مرکز، فلک تدویر و فلک معدل المسیر را در استدلالهای خود وارد کرد چرا اگر فرض کنیم خورشید در مداری دایره‌وار با سرعت یکنواخت حول زمین در حال گردش باشد پس لاجرم می‌بایست ۳۶۰ درجه را با سرعت یکنواختی بپیماید. اگر محل استقرار خورشید در اول بهار را آغاز حرکت و زاویه صفر بدانیم لاجرم باید خورشید در اول فصل تابستان زاویه‌اش با اول بهار درست ۹۰ درجه دورتر در جهت شرق و در اول پاییز درست ۹۰ درجه با فصل تابستان و اول فصل زمستان درست ۹۰ درجه با اول فصل پاییز فاصله داشته باشد و سپس پس از طی ۹۰ درجه به بهار برسد.

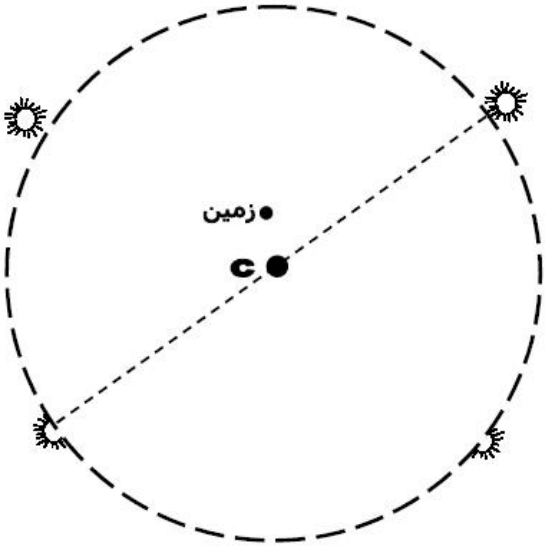


اما واقعیت چنین نیست بلکه واقعیت این را نشان می‌دهد که این زاویه ها با یکدیگر مساوی نیستند و با مراجعه به یک تقویم می‌توان این را دریافت. خورشید در بهار و زمستان چند روز بیشتر زمان صرف می‌کند تا به نقاط مورد نظربرسد. پس این حرکت، حرکتی یکنواخت نیست و این مسئله در مورد سایر اجرام نیز کم یا بیش وجود دارد. شگردهایی که بطلمیوس برای بهبود تئوری زمین مرکزی به کار برد عبارت بودند از طرح ریزی: فلک خارج از مرکز، فلک تدویر و فلک معدل‌المسیر.

فلک خارج از مرکز

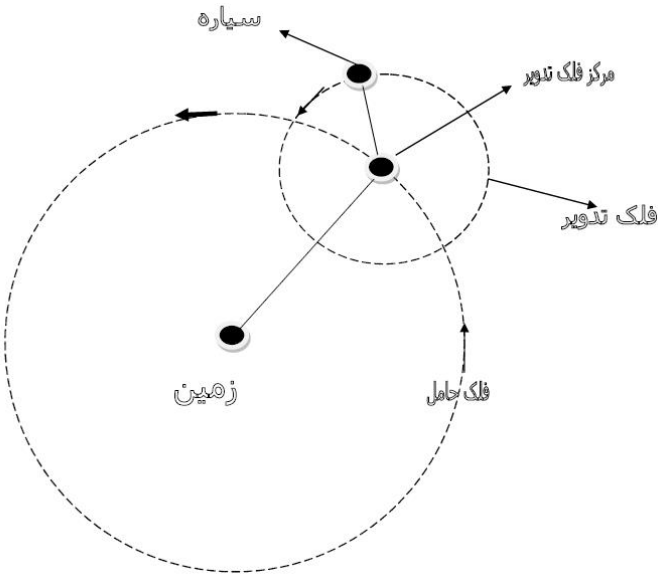
برای استدلال حرکت غیر یکنواخت خورشید بطلمیوس با آنکه مبانی افلاطون را مبنی بر چرخش یکنواخت اجرام فلکی حول مرکز و مرکزیت زمین را پیشه خود ساخته بود ولی اصراری بر این واقعیت نداشت که حتما زمین باید مرکز

مشترک گردش تمام اجرام سماوی هم باشد بلکه در استدلال خود مرکـز گـردش خورشید را جایی ماورای زمین در نظر می‌گرفت که با زمین فاصله داشت.



پس با این استدلال گرچه حرکت خورشید حول مرکز C یکنواخت است ولـی نسبت به زمین یکنواخت نیست و به این لحاظ می‌توانسـت حرکـت خورشـید در فصلهای مختلف را توجیه کند. چنین فرضی می‌توانست حرکـات غیـر یکنواخـت سیارات و خورشید و ماه را تا حدودی زیادی اصلاح نماید امـا مسـئله دیگـری در حرکت سیارات و رصدهای آنها وجود داشت که با این اصلاح هم مرتفع نمی‌شد و آن حرکت رجعی سیارات بود. چگونه یک سیاره در مسیر حرکت خـود در زمینـه ستارگان از غرب به شرق ناگهان به سوی مغرب حرکت رجعی انجـام مـی‌دهـد و دوباره مسیر خود را پیش می‌گیرد.

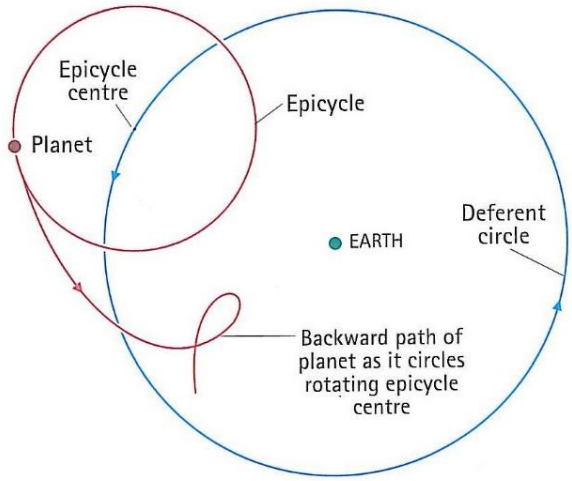
فلک تدویر سیارات

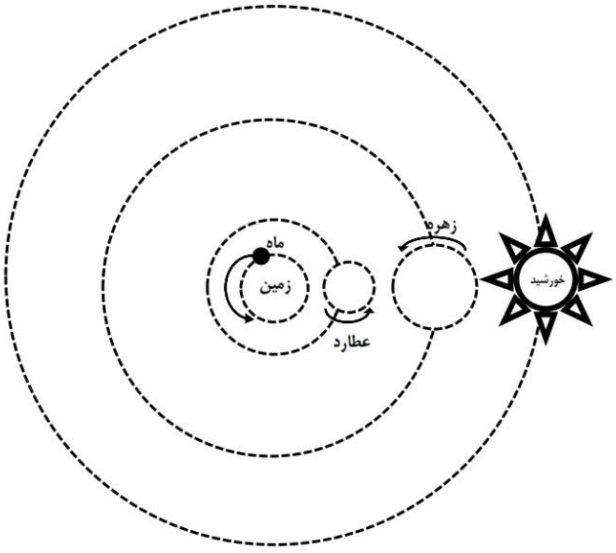


لاجرم برای چنین حرکتی ناگزیز برای پاره‌ای از سیارات فلک تدویر پیشنهاد شد که این فلک تدویر بدین گونه عمل می‌کند که سیاره با سرعت یکنواخت بر دایره‌ای کوچک به نام فلک تدویر در حرکت است. مرکز تدویر با سرعت یکنواخت بر دایره‌ای بزرگ به نام فلک حامل بر گرد زمین حرکت می‌کند.

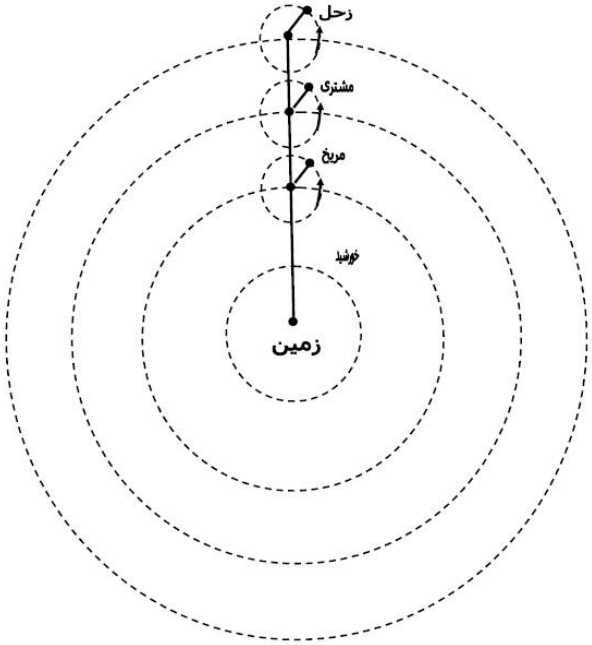
اگر سرعت سیاره بر فلک تدویر بیش از سرعت آن بر دایره بزرگ باشد سیاره آن طور که از بالای الگو دیده می‌شود حلقه وار حرکت خواهد کرد. به وجود آوردن منظومه‌ای که بتواند همه جلوه‌های اساسی حرکت سیاره‌ای را نشان دهد به کمک افلاک تدویر چندان دشوار نبود. یکی از ویژگیهای جالب توجه در منظومه بطلمیوس به فلکهای تدویر سیاره‌های بیرونی مربوط می‌شود، دوره حرکت همه این سیاره‌ها یکسان بود درست یک سال.

از این گذشته مواضع سیاره‌های بیرونی بر فلکهای تدویرشان همواره با موضع خورشید نسبت به زمین جور در می‌آمد.





مدل بطلمیوسی برگرفته شده از کتاب لاتین



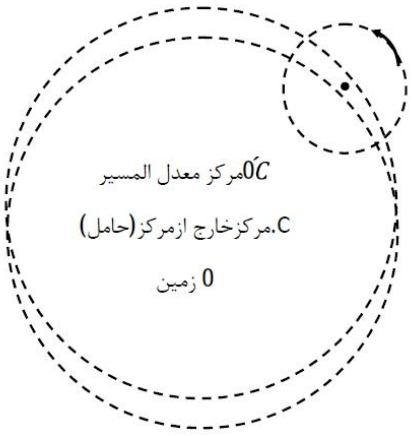
نمایش ساده‌ای از منظومه بطلمیوسی که نشان دهنده سیاره‌های میان زمین و خورشید است هشت بار بزرگتر از مقیاس نموداری است که نشان دهنده سیاره‌های دورتر از خورشید است. افلاک تدویر بر سیاره‌ها در یک امتداد نشان داده شده‌اند تا اندازه نسبی آنها مشخص شود.

تا اینجا آرایش افلاک تدویر و افلاک حامل به اندازه کافی مناسب بوده است با این روش نه تنها حرکتهای رجوعی، بلکه درخشنده تر شدن سیاره‌ها را در این حرکت نیز می‌توان توضیح داد هر سیاره به هنگام حرکت رجوعی در قسمت درونی فلک تدویر خود قرار دارد، بنابراین به زمین نزدیکتر است لاجرم درخشنده تر دیده می‌شود. این نتیجه‌ای غیر منتظره است چرا که این الگو برای این موضوع طرح نشده بود.

و بالاخره معدل المسیر

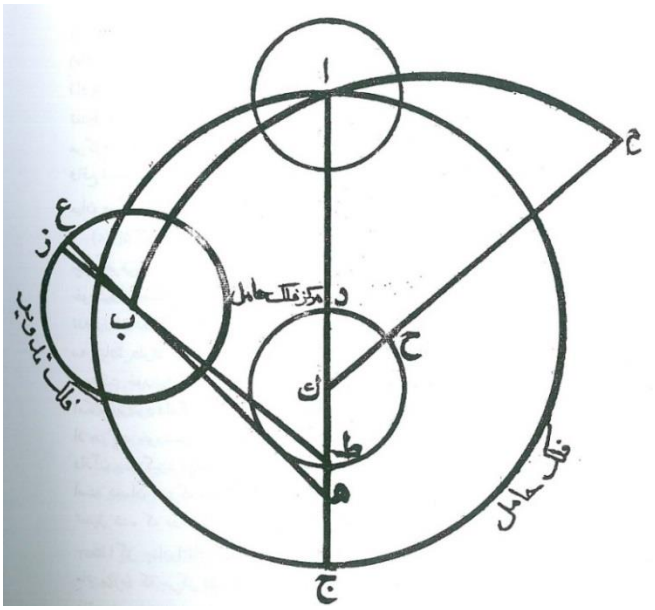
اما حتی با ترکیب فلکهای تدویر و خارج مرکز بطلمیوس نمی‌توانست حرکتهای پنج سیاره را به دقت توضیح دهد. مثلاً در مورد سیاره مریخ حرکتهای رجوعی همیشه از نظر مدت یا اندازه زاویه‌ای یکسان نیست.

پس لاجرم بطلمیوس چنین عنوان می‌کند که اگر فلک تدویر بر حول فلک حامل بگردد و حرکت آنها یکنواخت باشد آنگاه می‌بایست مدت و اندازه زاویه‌های سیاره در حرکتهای رجعی یکسان باشد بلکه این طور نیست بلکه این تساوی نسبت به نقطه‌ای است که فاصله آن از مرکز فلک حامل برابر با فاصله فلک حامل تا مرکز عالم است و این فلک را فلک معدل المسیر گویند که در واقع می‌بایست حرکت دوار یکنواخت سیاره حول این مرکز باشد و نسبت به زمین یکنواخت نیست.



سیاره عطارد

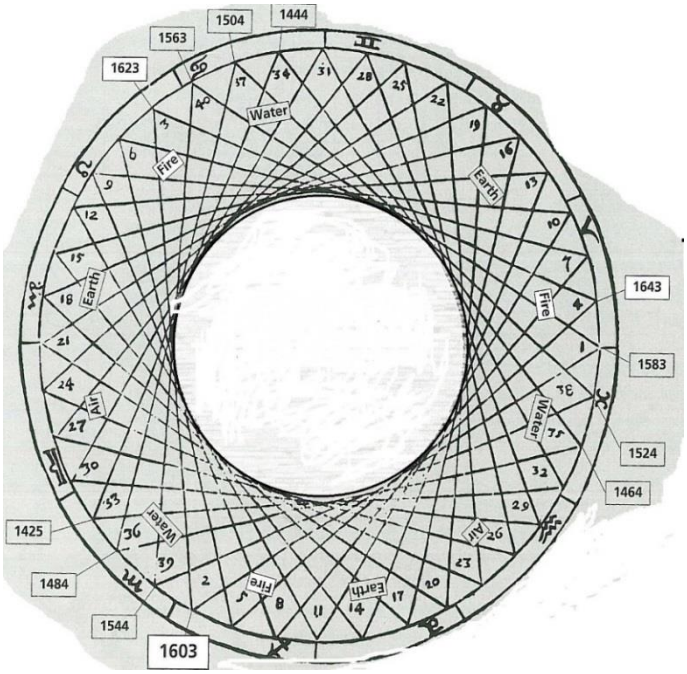
این سیاره مسیر حرکتش در آسمان پیچیده بود و ارباب عقول را به مبارزه می‌طلبید فرض مرکز خارج از مرکز، مرکز معدل المسیر و فلک تدویر بر آن کارساز نبود.در دوران اسلامی ابوریحان بیرونی در کتاب قانون مسعودی در تشریح حرکت سیاره عطارد چنین می‌آورد که قائل به این مسئله می‌شود که مرکز شعاع حامل با حرکتی از شرق به غرب خود حول دایره‌ای به حول مرکز در حال حرکت است و همچنین فلک تدویر در طول حرکت گویی شعاعش متغیر می‌باشد.



مدار سیاره عطارد برگرفته شده از کتاب قانون مسعودی ابوریحان بیرونی

ابوریحان بیرونی حرکت سیاره عطارد را همانند حرکت ماه پیچیده می‌داند و شکلی را مشابه شکل فوق برای حرکت آن در نظر می‌گیرد. سیاره عطارد در

دوره‌های بعد نیز حرکتش قابل توجه بود به طوری که فیزیک کلاسیک از عهده جواب دادن به حرکت ناهمگون آن به حول خورشید که بیضی‌های بازی را به وجود می‌آورد عاجز ماند و بالاخره توسط آلبرت انیشتین با اتکا به نظریه انحنای فضا - زمان در نزدیکی خورشید این مسئله حل شد.



مدار سیاره عطارد برگرفته شده از کتب لاتین

جفت طوسی شاهکار هیأت انتقادی وزمینه ساز مکتب کوپرنیکی

عنوان جدید سازوکاری که خواجه نصیرالدین طوسی (۵۹۷ -۶۷۲) ابداع کرد و به صورت بخشی از نظریه سیاره‌ای بدیع خویش به کاربرد. در نجوم دوره اسلامی، این سازوکار را با نام عربی اصل‌الکبیره و الصغیره و نام فارسی دایره بزرگ و دایره خرد می‌شناختند. ظاهراً نخستین‌بار قطب‌الدین شیرازی (متوفی

۷۱۰) در نهایهٔ الادراک، اصطلاح عربی مذکور را بـه کـار بـرده اسـت. امـا عبـارت «جفت طوسی» را نخستین‌بار ادوارد کندی در مقاله‌ای در ۱۳۴۵/۱۹۶۶ شمسـی مطرح کرد. این سازوکار، در ساده‌ترین طرح خود (خطی یا مسـتقیم‌الخـط)، از دو دایره تشکیل یافته است که یکی در درون دیگری قرار دارد و می‌تواند نقطـه‌ای را در طول یک خط راست بـه نوسـان در آورد. طـرح دیگـرِ (منحنـی‌الخـط) جفـتِ طوسی به صورتی طراحی شده بود که بتواند همین نوسان را بر سطح یک کـره و در طول کمانی از دایره عظیمه آن ایجاد کند.

پیشینه تاریخی جفت طوسی

از نظر تاریخی، جفت طوسی به جریانی باز می‌گردد کـه از سـده پـنجم، و بـا انتقاد اخترشناسان اسلامی از الگوهای سـیاره‌ای بطلمیـوس آغـاز گشـت. ابـوعلی حسن‌بن هیثم (۳۵۴ـ۴۳۰) در اثر مهم خویش، الشکوک علی بطلمیوس، بـه نقـد الگوهای بطلمیوس پرداخت و چنـین اسـتدلال کـرد کـه ایـن الگوهـا حرکتهـای نامنظمی ایجاد می‌کنند که در چارچوب طبیعیات آسمانی مرسوم ــ که بر اساس آن، حرکت هر جسم آسمانی توسط اجسـام کـروی شـکل دارای حرکـتِ دورانـی یکنواخت (افلاک)، صورت می‌پذیرد جایی ندارند. نظیر چنین استدلالی را می‌توان در آثار معاصران ابن‌هیثم، چون ابوریحـان بیرونـی و ابوعُبیـد جوزجـانی (شـاگرد ابن‌سینا)، نیز یافت. در دوران متأخرتر اسلامی، این بی‌نظمیها را با عنوان اِشکالات شانزده‌گانه می‌شناختند، که شش اِشکال آن به حرکتهای نـامنظم مـاه و سـیارات مربوط می‌شد که بر اثر حرکت فلک حامل (که فلک تدویر خـویش را بـه حرکـت در می‌آورد) با سرعت یکنواخت، حول نقاطی ایجاد می‌شد که خـارج از مرکـز آن قرار داشت (در مورد سیاره‌ها این نقاط را معدّل‌المسیر می‌نامیدند)؛ نُه اِشـکال بـه سازوکارهایی مربوط می‌شد که بطلمیوس آنها را برای ایجـاد تغییـرات عرضـی در

حرکت سیارات (یعنی حرکت سیارات در بالا و پایین دایره البروج) به‌کار برده بود، و آخرین اشکال نیز به قطر فلک تدویر ماه مربوط می‌شد که امتداد آن، به جای آنکه بر مرکز فلک حامل قرار گیرد، بر نقطه‌ای به نام نقطه محاذات قرار می‌گرفت. خواجه نصیرالدین طوسی برای نخستین بار قصد خویش را در پرداختن به این مشکلات در اثری به نام الرساله المعینیه و در آغاز دوران فعالیت علمی خویش بیان کرد. این کتاب که به زبان فارسی و در سال ۶۳۲ نوشته شد، یکی از چند کتابی بود که خواجه نصیرالدین زمانی که در دربار ناصرالدین محتشم، حاکم اسماعیلی ولایت قهستان، به سر می‌برد نوشت. این اثر در زمره آثاری از علم هیئت به شمار می‌رفت که پیشینه آنها به کتاب الاقتصاص (یا کتاب المنشورات) بطلمیوس بازمی‌گشت. در جهان اسلام این نوع آثار چشم‌اندازی کلی از علم نجوم را از دیدگاه هیئت به دست می‌دادند، بی‌آنکه به برهان های هندسی گسترده‌ای که در مجسطی بطلمیوس آمده بود بپردازند.

مقدمه الرساله المعینیه مبانی ریاضی و فیزیکی نجوم را بیان می‌کند، سپس در بخشی طولانی به هیئت می‌پردازد. در پی آن، بخشی به ساختار جهان زیرفلک قمر، و آخرین بخش به اندازه‌ها و فاصله‌های تمامی اجرام فیزیکی عالم اختصاص دارد. در بخشهای راجع به ماه و سیارات عُلْوی و زهره و عطارد ، طوسی انتقادهای منجمان دوره اسلامی پیش از خود را بر نظریه بطلمیوس در باب حرکت سیارات، تکرار کرده و سپس افزوده است که راه‌حل این اشکالات را بعداً در فرصت مناسبی عرضه خواهد کرد. این تأییدی است بر تقدم زمانی حل مشکلات معینیه (که ذیل معینیه نیز خوانده می‌شد) در معرفی طرح خطی. این رساله کوچک، که در نُه فصل و اغلب به صورت پیوست رساله معینیه نوشته شده، به احتمال زیاد اندکی پس از رساله معینیه نگارش یافته است. در فصل سوم، راه‌حلی که در رساله معینیه وعده داده شده بود، با این عنوان آمده است: «در حل شکی که بر حرکت

مرکز تدویر ماه بر محیط حامل و تشابه آن حرکت بر حوالی مرکز عالم واردست» این نخستین بار بود که طرح خطی جفت طوسی برای حل حرکت طولی ماه معرفی می‌شد. در پایان فصل، طوسی به اختصار چگونگی استفاده از این راه‌حل را برای دیگر سیاره‌ها شرح داده است. بنابراین، طوسی در اینجا، برای شش اِشکال راجع به حرکت در طول، راه‌حلهایی عرضه کرده است.

اما در حل مشکلات معینیه نشانی از حالت منحنی‌الخط نمی‌یابیم، بلکه در فصل پنجم این رساله، طوسی راه‌حلی از ابن‌هیثم، برای رفع اشکالات نظریه‌های بطلمیوس در مورد عرض سیاره‌ها، معرفی کرده است. راه‌حل ابن‌هیثم در اصل مبتنی بر افزودن دو فلک هم‌مرکز دیگر به فلک تدویر است، به صورتی که فلکهای افزوده شده محورهای متفاوتی داشته باشند و در جهتهای مخالف گردش کنند تا بتوانند «دوایر کوچک» بطلمیوس را به‌وجود آورند؛ دوایری که هدف از طرح آنها در مجسطی پدید آوردن عرض سیاره یا به تعبیر دیگر، تعیین موقعیت سیاره در شمال و جنوب دایرهٔ البروج است. استفاده از چنین سازوکاری، که در آن دو کره (فلک) مماس بر هم در جهت های مختلف دوران می‌کنند، بسیار شبیه به سازوکاری است که ائودوکسوس اهل کنیدوس در سده چهارم پیش از میلاد به کار برده است. در التذکرهٔ فی علم الهیئت (تألیف در ۶۵۹)، طوسی طرح منحنی‌الخط جفت دایره‌های خویش را، به عنوان صورت تغییر شکل یافته‌ای از مدل ابن‌هیثم، معرفی کرده؛ اما، در حل مشکلات معینیه ، آن را بدون هیچگونه شرحی صرفاً عرضه نموده است. این نشان می‌دهد که وی در هنگام نوشتن حل مشکلات معینیه تنها طرح خطی را در نظر داشته و هنوز به الگوی منحنی نزدیک نشده بوده است. نخستین اشاره به طرح دوم (منحنی‌الخط) را در تحریر مجسطی (تألیف ۶۴۴) می‌یابیم، که در آن طرح مختصری از این مدل ارائه شده است. نمایش کامل‌تر هر دو صورت خطی و منحنی در باب دوم، فصل یازدهم

تذکره، آمده است. این اثر زمانی نوشته شد که طوسی در مراغه برای فرمانروایان مغول کار می‌کرد.

طوسی آگاه بود که سازوکارهای وی نمی‌توانند مدلهای بطلمیوس را دقیقاً بازسازی کنند یا تمامی اشکالات هیئت وی را برطرف سازند. مهم‌تر از همه، آنکه، وی نتوانست الگویی برای حرکتهای پیچیده عطارد پیشنهاد کند. وی همچنین این نکته را دریافته بود که مسیری که مراکز فلک تدویر سیاره‌ها بر اساس الگوهای سیاره‌ای وی ایجاد می‌کنند، بر خلاف الگوهای بطلمیوسی که مستدیرند، بیضی‌وارهای ناهمگون‌اند. در مورد مریخ، که بیشترین ناهمگونی را دارد، دو الگوی طوسی و بطلمیوس اختلافی در حد ۱۴ دقیقه کمان خواهند داشت. در طرح منحنی‌الخط، طوسی اظهار داشته که الگوهای او میل‌های متقارنی را برای عرض سیاره و نیز نوسان نقطه محاذات ماه (هم در مقدار و هم در زمان) ایجاد خواهند کرد، که این ناقض الگوهای بطلمیوس است. گفتنی است که مدل‌های سیاره‌ای طوسی چندان هم به صرفه نیستند؛ طوسی به ۶۷ فلک نیاز داشت در حالی که بطلمیوس در کل ۲۲ فلک صلب را به کار برده بود. این دستاورد خواجه نصیرالدین طوسی از جنبه‌های گوناگون حائز اهمیت است. سازوکارهای وی به او اجازه داد که نخستین مدل جامع (هرچند ناکامل) را برای مدلهای سیاره‌ای بطلمیوس فراهم آورد. با نشان دادن اینکه می‌توان الگوهایی را در اختیار داشت که هم به اصول فیزیکی و هم به اصول ریاضی وفادار باشند، وی سبب شد که نگرشی مثبت در باره نوعی هیئت ریاضی و همگون به وجود آید. سازوکارهای وی همچنین روش مؤثری برای پرداختن به جنبه‌های مختلف حرکتهای سیاره‌ای به صورت مستقل از یکدیگر به وجود آورد. برای نمونه، بر اساس طرح خطی، طوسی می‌توانست تغییرات در فاصله مرکز تدویر از زمین را، مستقل از حرکت دورانی آن، حول زمین ایجاد کند، و این در مقایسه با نظریه بطلمیوس پیشرفت مهمی

به شمار می‌رفت. با طرح منحنی‌الخط، وی می‌توانست تأثیرات حرکت در عرض را با نوسانی در طول کمانی از دایره عظیمه فرضی محدود کند، در حالی که بطلمیوس ناگزیر بود برای حل نظریه عرضی سیاره‌ها، به دوایر کوچک، که سبب اختلال در حرکت طولی سیاره می‌شد، تکیه کند.

الگوهای طوسی تأثیر عمیقی بر تاریخ نجوم گذاشت. این تأثیر نخست در کارهای شاگرد و همکار وی، قطب‌الدین شیرازی و ابن‌شاطر دمشقی (۷۰۶ـ۷۰۷)، بروز یافت و پس از آن نیز تقریباً در تمامی نوشته‌های نجوم نظری، تألیف شده تا سده سیزدهم، در سرزمینهای شرقی اسلامی تأثیر نهاد. از دیدگاه فرهنگی نیز جفت طوسی با راه یافتن به متون سنسکریت و بیزانسی و نیز آثار چندین اخترشناس دوره نوزایی، از جمله کپرنیک (۱۴۷۳ــ۱۵۴۳ م)، پیامدهایی داشته است. کپرنیک هر دو شکل خطی و منحنی جفت طوسی را در یکی از نخستین آثار انتشار نیافته‌اش به نام شرحی مختصر بر فرضیه حرکتهای آسمانی و نظم حاکم بر آنها (برای مدار و عرض عطارد) به کار برد. در اثر معروف دیگرش، به نام گردش افلاک آسمانی هم بار دیگر الگوی جدید را برای عطارد، عرض سیارات، حرکت اعتدالین و تغییرات دوره‌ای میل دایره البروج به کار گرفت.

موفقیت‌ها و محدودیت‌های الگوی بطلمیوسی

در بنای الگوی بطلمیوسی همواره از حرکت زاویه‌ای یکنواخت نسبت به مرکز استفاده شده است. در این حد منظومه بطلمیوسی با فرضیه افلاطون مطابقت دارد. اما برای آنکه با مشاهدات سازگار شود، بطلمیوس نظر داد که باید مراکز حرکت را به اندازه لازم در خارج از زمین قرار داد. او توانست با ترکیب افلاک خارج مرکز تدویر و معدل المسیر مواضع هر سیاره را به طور جداگانه تشریح کند. بطلمیوس برای هر سیاره ترکیبی از حرکتها پیدا کرد که قادر بود برای مدت

طولانی مواضع مشاهده شده هر یک را پیشگویی کند. پیشگوییهای وی خطایی به اندازه ۲ درجه داشت که در مقایسه با هیئتهای پیشین پیشرفت بزرگی به شمار می‌رفت. الگوی بطلمیوسی مجموعه‌ای بود از شگردهای ریاضی که به منظور سازگاری با واقعیت و پیشگویی حرکتهای هر سیاره به طور جداگانه پرداخت شده بود. تحلیلهای هندسی او را باید همچون معادله‌های پیچیده‌ای از حرکت برای هر سیاره به حساب آورد. اما در قرنهای بعد، اغلب دانشوران از جمله ـ دانته شاعر ایتالیایی آن را یک الگوی واقعی به حساب آورد. آنان واقعاً عقیده داشتند که سیاره‌ها بر روی کره‌هایی شفاف و نامرئی حرکت می‌کنند. احساس می‌کردند که حرکت این کره‌های مجزا باید به طریقی وابسته به هم باشد. اما در الگوی بطلمیوس هر سیاره مستقل از سیاره‌های دیگر بود.

بطلمیوس الگوی خود را در حدود سال ۱۵۰ میلادی ارائه داد و ۱۵۰۰ سال در حوزه اندیشه بشری این مدل حکومت کرد و دلایل آن به شرح ذیل است:

۱. این الگو با دقت کافی موضع خورشید، ماه و سیاره‌ها را پیش بینی می‌کرد.
۲. توضیح می‌داد که چرا ثوابت هنگام مشاهده با چشم غیر مسلح اختلاف منظر ندارند.
۳. از نظر جزئیات با فلسفه حاکم بر آن دوران انطباق داشت.
۴. با حس مشترک همه مردم که ماه و خورشید و تمام سیارات را دوار حول زمین می‌دیدند، سازگار بود.
۵. به این فرضیه آرامش بخش که ما بر روی زمین بی‌حرکت در مرکز جهان هستیم، استحکام می‌بخشید.
۶. به ظاهر با اسلام جور در می‌آمد گرچه در روایات معصومین و در قرآن مجید آیات زیادی مغایر با آن به چشم می‌خورد ولی با مسیحیت منطبق بود.

خودتان تجربه کنید

۱. میله‌ای را قائم به سطح در محیطی باز و آفتاب خور فرو کنید.

الف) ظهر محلی را تعیین کنید.

ب) سمت شمال و جنوب را پیدا کنید.

ج) سایه آفتاب در ۱۳ فروردین در منطقهٔ رصدی شما در لحظه ظهر چقدر است.

د) اگر مسافرت می‌کنید طول شاخص چه تغییری می‌کند.

ه) ارتفاع خورشید را در اول فروردین در لحظه ظهر تا افق جنوب بیابید.

ز) غرب و شرق را با طلوع و غروب خورشید در منطقه خود بیابید «اول فروردین»

۲. حرکت ماه در طول یک‌ماه نسبت به زمینه آسمان چگونه است با رصد و نمودار ذکر کنید؟

۳. حرکت سیاره زهره و مشتری را زیر نظر بگیرید چگونگی حرکت آنها را بنویسید؟

۴. خورشید در هر ساعت چند درجه طول جغرافیایی می‌پیماید؟

از اطلاعات زیر چه رقمی برای قطر زمین می‌توانید به دست آورید:

۱. عرض جغرافیائی مشهد و زنجان تقریباً یکسان است. این واقعیت را چگونه می‌توان آزمود؟

۲. ۲ ساعت طول می‌کشد تا یک هواپیما جت از فراز ابرها در منطقه‌ای که باد نمی‌وزد یک راست با سرعت $800\ ^{km}/_{h}$ از زنجان به مشهد برود.

۳. وقتی که در مشهد خورشید غروب می‌کند شخصی تلویزیون خود را روشن می‌کند تا برنامه مسابقه فوتبال را ببیند که در زنجان برگزار می‌شود. ۱ ساعت بعد گوینده اعلام می‌کند که آخرین گل در غروب خورشید زده شد.

۴. حرکت ماه نسبت به خورشید را در لحظه غروب و زمینه ستارگان در نظر بگیرید، اگر امروز ماه مقارنه با قلب‌العقرب داشته باشد و دوره ماه به حول زمین ۲۷/۲۱۲۲ روز باشد مدلی را ارائه دهید که بتوان بر طبق آن مقارنه ماه با قلب‌العقرب را برای ماه‌های آتی پیش‌بینی کنید؟

۵. سیاره زهره در هر روز چند درجه در زمینه ستارگان حرکت می‌کند «هر ۲۲۴ روز این سیاره یک دور به در زمینه ستارگان می‌زند) مدلی را ارائه دهید که بدون احتساب حرکت رجعی بتواند موضع سیاره زهره را چند ماه دیگر محاسبه کند؟ با احتساب حرکت رجعی چطور؟

۶. حرکات ماه را از نظر رصدی آنچه مشاهده می‌شود را ذکر کنید؟

فصل سوم

منظومه کوپرنیکی

کوپرنیک در سال ۸۵۲ هجری شمسی متولد شد و تا سال ۹۲۲ هجری در لهستان زندگی کرد. دوران زندگی کوپرنیک قبل از دوران حکومت صفوی در ایران بود. و همان‌طور که انقلاب کوپرنیکی در اروپا در حال جریان بود در مشرق زمین در اصفهان حکیم صدرالمتألهین شیرازی مشهور به ملاصدرا گوی سبقت را در حکمت متعالیه از سایر حکما ربوده بود و فلسفه‌ای قوی و محکم را پایگذاری می‌کرد و از سویی اندیشمندانی چون میرداماد و شیخ بهائی در ایران اسلامی زندگی می‌کردند. همان‌طور که پیشتر عنوان شد مکتب نجوم انتقادی بعد از خواجه نصیرالدین طوسی در هیأت به وجود آمده بود و الگوهای زیادی در اصلاح هیأت بطلمیوسی ظهور کرده بود. همان‌گونه که ذکر شد مسئله جفت طوسی و مدلهای قطب‌الدین شیرازی و ابن شاطر از این دست الگوها بودند. کوپرنیک هم تحت تأثیر همین مکتب قرار گرفته بود و در صدد ارائه الگوئی مناسب بود کوپرنیک در زمرهٔ کشیشانی بود که به علومی چون حقوق، طب، و ریاضیات نیز مسلط بود و در زمینه اصلاح تقویم میلادی نیز کارهایی را انجام داده بود به هر حال تأثیر فرهنگ شرقی و اسلامی بر کوپرنیک غیرقابل انکار است و اکثر قریب به اتفاق تاریخ علم‌دانان معاصر چون جمیل رجب و رشدی راشد و دیگران وی را

شاگرد معنوی مکتب مراغه که خواجه نصیرالدین طوسی بنیان نهاده بود می‌دانند. و این تأثیر در کتاب بزرگ وی که در هنگام رحلتش نسخه چاپ شده‌اش به دستش رسید، مشهور است. کوپرنیک نام کتاب خود را (درباره گردش افلاک آسمانی) نامید. این عنوان اشاره‌ای به عقیده گذشتگان درباره افلاک است. کوپرنیک نیز که شاگرد مکتب علمی مراغه بود با همان منش انتقادی که از ابن هیثم نشأت گرفته بود به هیأت نگریست و چون خواجه نصیرالدین طوسی و قطب الدین شیرازی و ابن شاطر در سدد بود که شبهه ی ابن هیثم مبنی بر عدول بطلمیوس از اصول افلاطونی مبنی بر حرکت دورانی یکنواخت حول مرکز عالم را به گونه‌ای حل کند او بررسیهای خود را با کنار گذاشتن منظومه بطلمیوسی افلاک معدل المسیر که مخالفت با فرضیه افلاطون به نظر می‌رسید آغاز کرد. در اینجا بخشی از یک عبارت خلاصه و کوتاه او که در حدود ۸۸۹ هجری شمسی عنوان می‌کند می‌آوریم:

«... تئوریهای سیاره‌ای بطلمیوس و بیشتر اخترشناسان دیگر اگرچه با داده‌های عددی سازگار بودند به نظر می‌رسد که مشکلی را هم حل نمی‌کنند هیچ‌یک از این الگوها بدون تصور افلاک معدل المسیر کامل نبودند.» به نظر می‌رسد که سیاره نه بر فلک حامل خود و نه به دور مرکز تدویر خود با سرعت یکنواخت حرکت نمی‌کرد. بنابراین چنین منظومه‌ای به اندازه کافی کامل و رضایتبخش به نظر نمی‌رسید. با آگاهی از این نارساییها همواره در پی آن بودم که مگر ترتیبی منطقی از افلاک بیابم که در آن هر چیز به طور یکنواخت بر مرکز واقعی خود گردش کند و بر پایه آن به وجود هر اختلاف آشکار بتوان پی برد.

در کتاب درباره گردش افلاک آسمانی می‌نویسد:

«با این حال، باید اقرار کنیم که این حرکتها دورانی با ترکیبی از چند حرکت دورانی است چرا که این بی‌نظمیها با یک قانون ثابت و یا بازگشتهای دوره‌ای ثابت انطباق دارد و اگر حرکتها دورانی نبودند این دوره‌ها پدید نمی‌آمدند. زیرا فقط دایره است که می‌تواند آنچه را گذشت و تمام شد را باز آورد.»

و در جای دیگر می‌نویسد:

"من نخستین بار دریافتم که در گذشته افرادی بودند که زمین رامتحرک می‌دانسته‌اند و به همین موجب تفکر درباره امکان حرکت زمین پرداختم گرچه این نظر نامعقول به نظر می‌رسید چون می‌دانستم که پیش از من دیگران مختار بوده‌اند که برای توضیح پدیده‌های آسمانی هرطور که بخواهند دایره‌ها را ترکیب کنند چنین اندیشیدم که من نیز آزادم که با این فرض که زمین هم حرکت دارد در امکان وجود توضیحاتی اساسی‌تر برای گردش افلاک آسمانی تحقیق کنم... سرانجام به یاری مشاهده‌های طولانی و بسیار دریافتم که هرگاه حرکت ستارگان سرگردان با حرکت دورانی زمین مربوط باشد و همچنین هرگاه حرکت‌های سیاره‌ها براساس گردش آنها به دور خورشید محاسبه شود. نه تنها همه پدیده‌های دیگر مربوط به آنها از آن نتیجه می‌شود، بلکه این ارتباطات ترتیب و بزرگی همه سیاره‌ها و افلاک یا دایره‌های مداری آنها و خود آسمان را چنان به هم پیوند می‌دهد که هرگونه تغییر مکانی در هر قسمت از آن سبب درهم فرو رفتن قسمتهای دیگر و همه جهان خواهد شد.» کوپرنیک در کتاب خود که نتیجه چهل‌ساله مطالعه و بررسی بود، منظومه‌ای را آراست که شامل بیش از سی فلک خارج مرکز و فلک تدوین بود. کتاب کوپرنیک با کتاب

مجسطی در خواندن و فهم مطالب تفاوت چندانی نداشت هر دو زمینه هندسی و ریاضی بالائی را می‌طلبید و به قول خود کوپرنیک کتابش شرح مبسوطی بر هیأت بطلمیوسی و کتاب مجسطی می‌باشد و وی همانند گذشتگان مکتب مراغه که در هیأت انتقادی، الگوئی تازه ارائه می‌دادند، الگوئی را براساس نظر آریستارکوس بنا نهاد و از فرضیات وی استفاده نموده است.

الگوی وی براساس فرضیات زیر استوار شد:

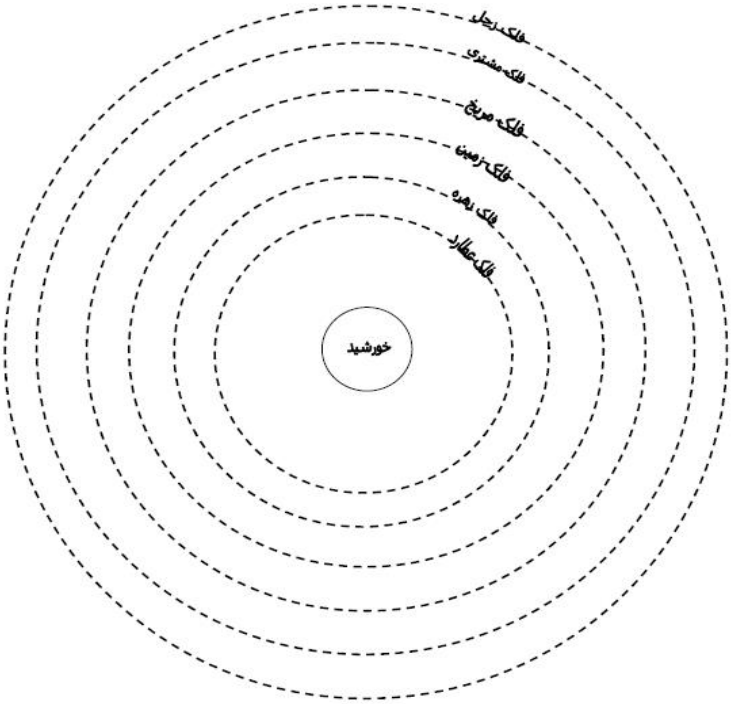
۱. زمین مرکز جهان نیست بلکه زمین تنها مرکز مدار ماه است.
۲. همه افلاک به دور خورشید می‌گردند... بنابراین خورشید در مرکز جهان واقع است.
۳. مرکزی هندسی و دقیق برای همه مدارها یا افلاک آسمانی وجود ندارد.
۴. فاصله زمین از خورشید، در مقایسه با فاصله آن از ستارگان بسیار کوچک است.
۵. هر حرکت ظاهری در آسمان به سبب حرکت آسمان نیست بلکه مربوط به حرکت زمین است. زمین همواره با آب و هوای پیرامون خود یک گردش کامل به دو قطبهای ثابت خود می‌کند. اما آسمان بدون حرکت باقی می‌ماند.
۶. آنچه در نظر ما حرکت خورشید می‌نماید ناشی از حرکت خود آن نیست بلکه به حرکت زمین مربوط می‌شود... زمین مانند سایر سیارات دیگر به دور خورشید می‌گردد. پس زمین بیش از یک حرکت دارد.
۷. حرکت رجعی سیارات را می‌توان از حرکت زمین نتیجه گرفت.

گرچه نظریات کوپرنیک با نظریات بطلیموس تفاوت دارد ولی با نظریات آریستارکوس تفاوت چندانی ندارد و وی احیاکننده اندیشه‌های آریستارکوسی بوده که البته با نگرش انتقادی مکتب مراغه هیأتی خاص را فراهم می‌آورد.

کوپرنیک در توضیح الگوی انتقادی خود می‌نویسد:

«اندیشه‌هایی که در اینجا بیان می‌شود دشوار و تقریباً غیرقابل قبول می‌نماید، این اندیشه‌ها کاملاً برخلاف عقاید عمومی است، اما به یاری خداوند دست‌کم برای آنان که از ریاضیات غافل نیستند با نتیجه‌هایی که به دست خواهیم آورد، همه چیز را به روشنی روز نشان خواهیم داد... نخستین فلک، فلک ستارگان ثابت است که همه افلاک دیگر را در برمی‌گیرد و ثابت است حرکت نمی‌کند و بی‌تردید بخشی از جهان است، که حرکت و مواضع سایر اجرام سماوی می‌بایست نسبت به آن سنجیده شود. اگر هنوز مردمی هستند که قائل به حرکت آن هستند ما نظر مخالف داریم و پس از اثبات حرکت زمین نشان خواهیم داد که چرا به چنین نتیجه‌ای رسیده‌ایم، نخستین سیاره یعنی زحل که گردش خود را در طول ۳۰ سال تمام می‌کند نزدیکترین سیاره به فلک ثوابت است، دومین سیاره مشتری که دور خود را ۱۲ سال تمام می‌کند، که بعد از زحل قرار دارد، پس از مریخ قرار دارد که هر گردش آن دو سال به طول می‌انجامد، و چهارمین فلک متعلق به زمین و فلک ماه می‌باشد و گردش سالانه انجام می‌دهند. در موضع پنجم زهره قرار دارد که گردش خود را ۹ ماه به پایان می‌برد، سرانجام در ششمین موضع سیاره عطارد واقع است که هر گردش آن ۸۰ روز است، در میانه همه افلاک خورشید را بدون حرکت می‌یابد.»

همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوی بطلمیوسی یک نظم جالبی را دارد و هر چه از زحل به عطارد پیش می‌رویم به مدت دوره تناوب سیاره کوتاه‌تر می‌شود.



ابتکارات کوپرنیکی

گرچه تئوری کوپرنیک از نظر ساختار شبیه نظریه آریستارکوس به نظر می‌رسید ولی نگاه ریاضی و اندیشمندانه کوپرنیک که حاصل از نگرش مکتب مراغه بود توان ارائه زیبائی از ریاضیات و محاسبات خاص آن را به همراه داشت و همین زمینه‌ساز انقلاب علمی بعد از وی شد. از جمله این ابتکارات تعیین دورهٔ گردش هر سیاره به گرد خورشید و بدست‌آوردن اندازه مدار هر سیاره نسبت به مدار زمین بود، که این کار برای نخستین‌بار مقیاسی برای ابعاد منظومه شمسی براساس مشاهدات تجربی را رقم زد. از این گذشته کوپرنیک برای نخستین‌بار در تاریخ، توانست فاصله‌های نسبی میان سیاره‌ها را بدست آورد و تا قبل از وی در

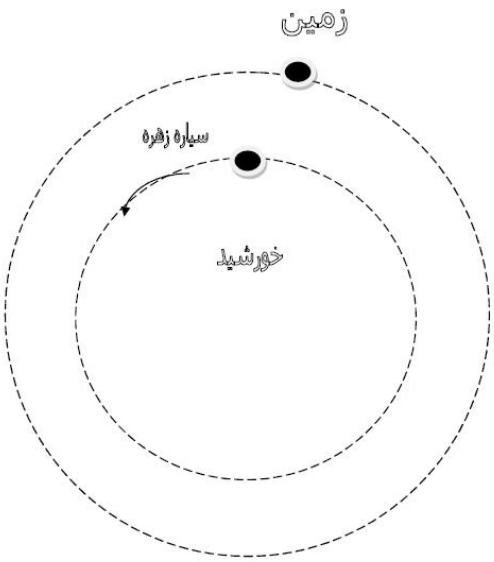
منظومه بطلمیوسی مقیاسی برای فاصله وجود نداشت و فقط سخن از زاویه‌ها و حرکات زاویه‌ای و مواضع آنها در آسمان بود. منظومه بطلمیوسی حرکتهای خورشید و پنج سیاره را برحسب افلاک تدوین یک‌ساله بر روی افلاک حامل توصیف می‌کرد و تنها اندازه‌های نسبی فلک حامل و فلک تدویر را به طور جداگانه برای هر سیاره به دست می‌داد. اما کوپرنیک همه این ویژگیهای حرکتی سیاره‌ها را برحسب گردش سالانه زمین به دور خورشید توصیف می‌کرد.

دوره‌های گردش سیارات به دور خورشید

مسئله عبارتست از یافتن آهنگ حرکت سیاره‌ها به دور خورشید با استفاده از مشاهدات انجام شده از روی زمین.

برای سیارات داخلی که پرید گردش آنها تندتر است می‌توان نوشت:

$$F_p = F_e + X$$

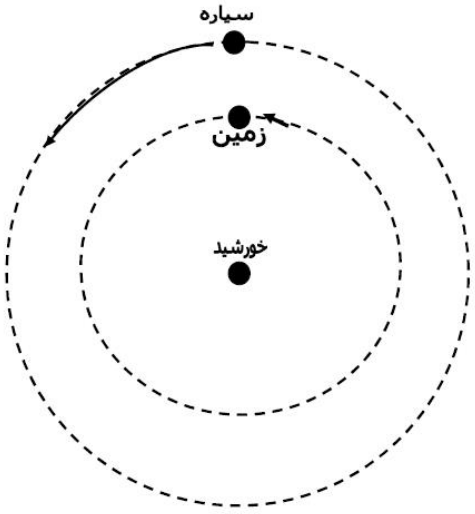


فرض کنید سیاره‌ای که در داخل مدار زمین است و با فرکانس $1\frac{1}{4}$ دور در سال به دور خورشید می‌گردد (دور خود را کامل می‌کند) نسبت به زمین دارای فرکانس ظاهری $^1/_4$ است چرا؟

$$F_p - F_e = +X$$
$$X = 1\frac{1}{4} - 1 = {}^1/_4$$

پس X با F_{pe} با فرکانس سیاره از منظر زمین برای $^1/_4$ می‌باشد $^1/_4$ دور در سال یعنی اگر فرض کنیم که در امسال سیاره داخلی به نظر ما زمینی ها همراه با خورشید غروب کرده و در همان حین با ستارهٔ قلب‌الاسد هم مقارنه داشت در سال آتی مقارنه سیاره داخلی با قلب‌الاسد ۹۱/۲۲ روز زودتر اتفاق خواهد افتاد یعنی سیاره داخلی دور خود را زودتر به اتمام رسانیده یعنی دوره تناوب تندتری داشته. به عبارت دیگر اگر امسال سیاره داخلی همزمان با خورشید غروب کرد حدود ۹۱/۲۲ روز دیگر دوباره همزمان با خورشید غروب می‌کند. برای سیارات خارجی که پرید گردش آنها کندتر است می‌توان نوشت:

$$F_p = F_e - X$$



فرض کنید سیاره‌ای که در خارج مدار زمین است و با فرکانس $\frac{1}{4}$ دور در سال به دور خورشید گردش می‌کند نسبت به زمین دارای فرکانس $3/4$ می‌باشد چرا؟

$$F_p - F_e = -X \Longrightarrow X = F_e - F_p$$

$$X = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

بحث در منظومه کوپرنیکی

کوپرنیک می‌دانست که کار او در نظر بسیاری از دانشوران نامعقول بلکه تقریباً مخالف با ادراکات متعارف بشری جلوه خواهد کرد. بنابراین کوشید تا به راههای گوناگون به مقابله دلایلی قدیمی بر ضد حرکت زمین بپردازد.

۱. کوپرنیک کوشید تا منظومه خود را با الگوهای مذهبی سازش دهد.
۲. شعاعها و سرعتهای نسبی حرکت دورانی را در منظومه خود با دقت محاسبه کرد و جدولی را برای پیش‌بینی حرکت اجرام بدست‌آورد که 2° خطا داشت.
۳. به دلایل گردش زمین که با چرخش آن به همراه همه چیز روی آن و جَوَش متلاشی نمی‌شود بلکه اگر قرار به متلاشی شدن بود افلاک دوار با حرکت پرسرعت می‌بایست متلاشی می‌شدند.
۴. با عنوان این مسئله که ستارگان نسبت به خورشید از ما بسیار دور هستند مسئله عدم وجود اختلاف منظر را اثبات نمود.

اختلاف منظر یا پارالاکس چیست

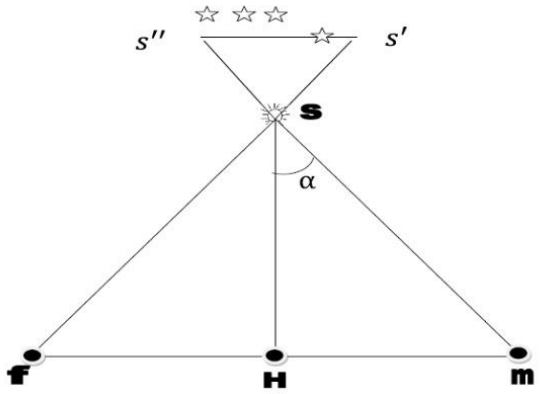
اگر چنانچه زمین حول خورشید در حال گردش باشد.

$$Tg \propto = \frac{MH}{SH}$$

$$Tg \propto = \frac{1}{SH}$$

$$SH = \frac{1}{Tg \propto}$$

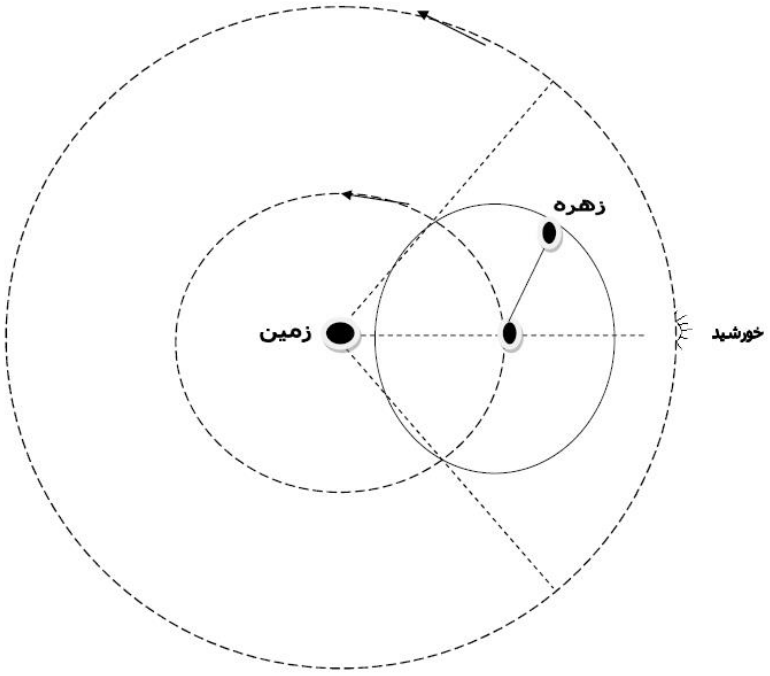
$$SH \to \infty \text{لاجرم} \; 0 \leftarrow Tg \propto$$



پس در دو زمان متفاوت که درست زمین در دو سوی مخالف خورشید است مثلاً ماه مهر و فروردین با عکسبرداری جایگاه یک ستاره را نسبت به زمینه آسمان تعیین و مقایسه می‌کنیم اگر میزان زاویه اختلاف منظر را بیابید می‌توانید فاصله ستاره تا خورشید را تخمین بزنید. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود. این زاویه بسیار کوچک است لاجرم فاصله بسیار زیاد است.

تحول الگوی بطلمیوسی به الگوی کوپرنیکی

در مورد سیارات داخلی از لحاظ الگوی بطلمیوسی داریم:

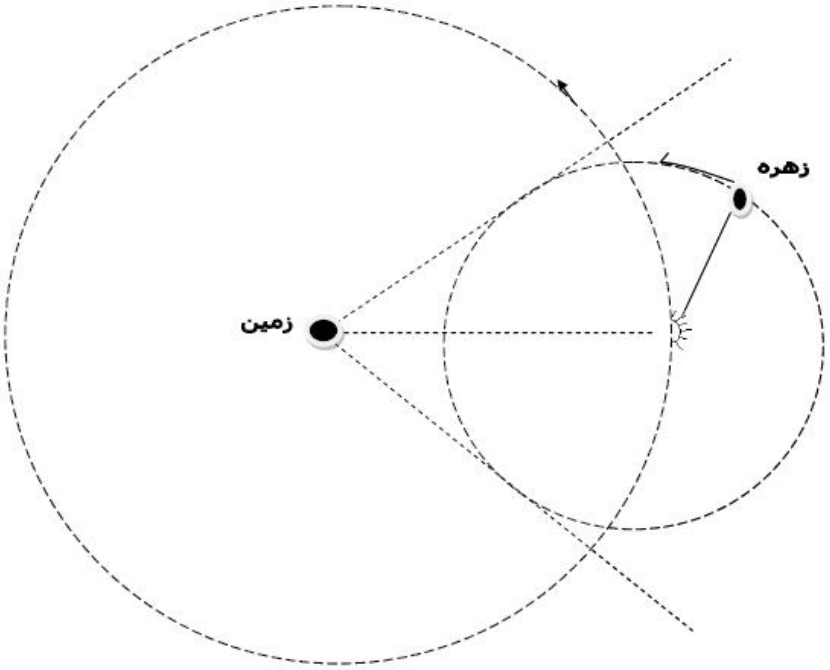


همان‌طور که در شکل فوق ملاحظه می‌شود مرکز دایرهٔ تدویر سیاره زهره به گرد زمین در حال گردش بوده و هماهنگی با حرکت سالانه خورشید دارد. اما خود سیاره با آهنگ متفاوتی گرد مرکز فلک تدویر در حال گردش است. به عبارت دیگر حرکت سیاره زهره به گونه‌ای است که همواره در حول خورشید دیده می‌شود یا سمت چپ خورشید و یا سمت راست خورشید و یا در حال مقارنه سفلی و علوی و حداکثر کشیدگی در جانب چپ و راست خورشید 48° می‌باشد. خوب بدیهی است که حرکت رجعی وقتی اتفاق می‌افتد که سیاره

بیشترین کشیدگی خود را از خورشید از جانب غرب دارد. وچون در این مدت به زمین نزدیکتر است لاجرم پرنورتر محسوب شده و چون حرکتش از شرق به غرب است و در همان حال حرکت خورشید از غرب به شرق است سرعت نسبی سیاره جمع سرعت حرکت خورشید و خود سیاره است لاجرم حرکت رجعی با سرعت بیشتری به نظر می‌رسد.

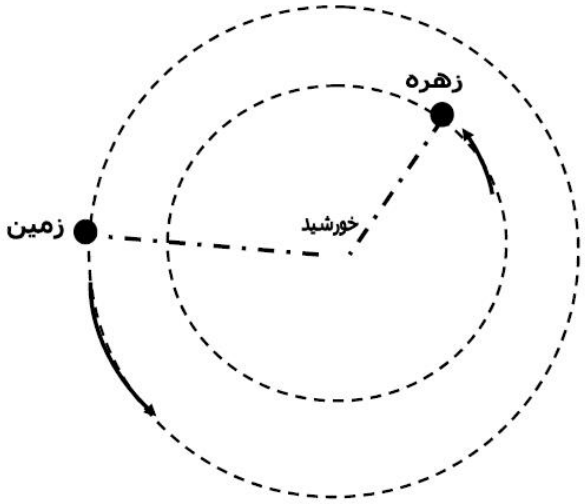
اولین قدم تحول

کوپرنیک محوریت خورشید را در مورد این سیارات «داخلی» مشابه این مسئله دانست که ما خورشید را در مرکز فلک تدویر این سیارات «داخلی» قرار دهیم و در صورت این فرض هیچ تغییری در مسئله مشاهده نمی‌شود.



دومین قدم تحول

در دومین قدم جای اینکه خورشید را دوار حول زمین در نظر بگیریم خورشید را ثابت و زمین را دوار در نظر بگیریم. باز هم در اصل مسئله هیچ تغییری از لحاظ محاسباتی وجود ندارد.

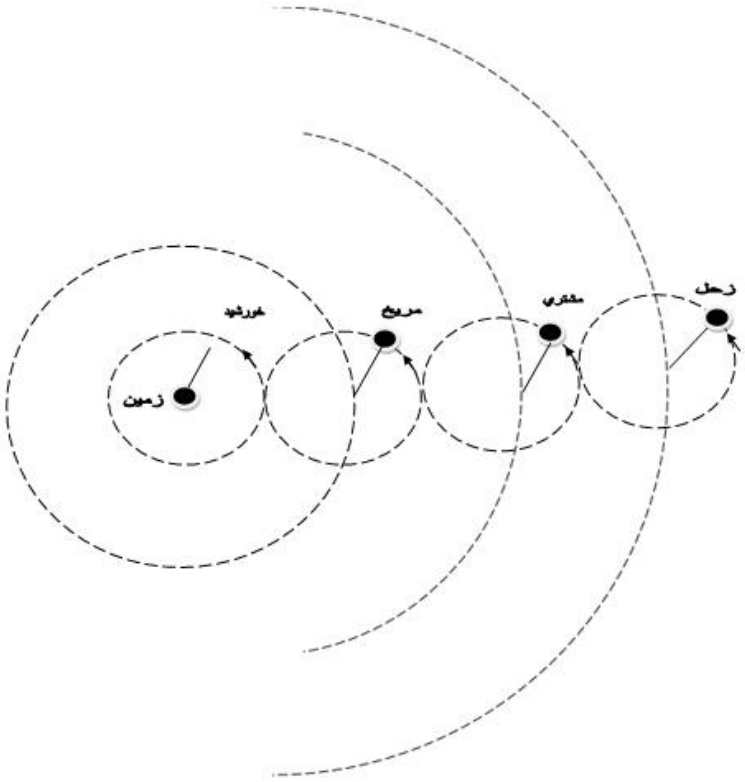


و این اولین مرحله ارائه یگ الگوی خاص خورشید مرکزی بود در مورد سیاره عطارد هم بدین منوال تحقیق می‌کنیم. حرکت رجعی در این تعبیر در سیارات داخلی این‌گونه است که این حرکت وقتی است که جهت حرکت زمین و سیاره به ظاهر خلاف جهت باشد و این وقتی است که بیشترین کشیدگی را نسبت به زمین یعنی 48° را دارد و چون زهره در حالت مقابله یا مقارنه علوی است نور بیشتری را منعکس می‌کند لاجرم درخشنده‌تر و چون خلاف جهت مداری زمین حرکت می‌کند با سرعت بیشتری حرکت می‌کند. اما نکته قابل توجه اینجاست که چرائی حرکات رجعی مختلف‌الشکل که بطلمیوس با وارد کردن فلک معدل‌المسیر مسئله آن را حل کرده بود که مورد انتقاد شدید دانشمندانی چون

ابن هیثم و مکتب انتقادی مراغه واقع شد در مدل کوپرنیک وجود نداشت و این اختلافات به جایگاه زمین در حرکت مداری خود باز می‌گشت و قابل توجیه بود.

سیارات خارجی از نگاه الگوی بطلمیوسی و کوپرنیکی

در الگوی بطلمیوسی در مورد سیارات خارجی داریم که:

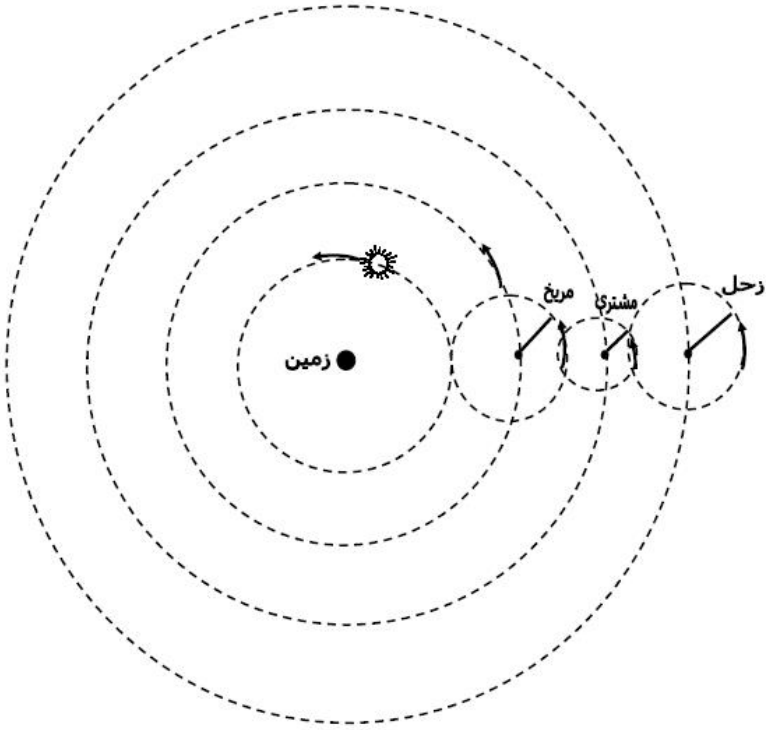


همانطور که در الگوی سیارات داخلی بطلمیوسی دیدیم در آن الگو مرکز فلک تدویر هر یک سال حول زمین گردش می‌کرد با آنکه خود سیاره در فلک تدویر با آهنگی متفاوت در حال گردش بود. در سیارات خارجی مطلب بگونه دیگر است

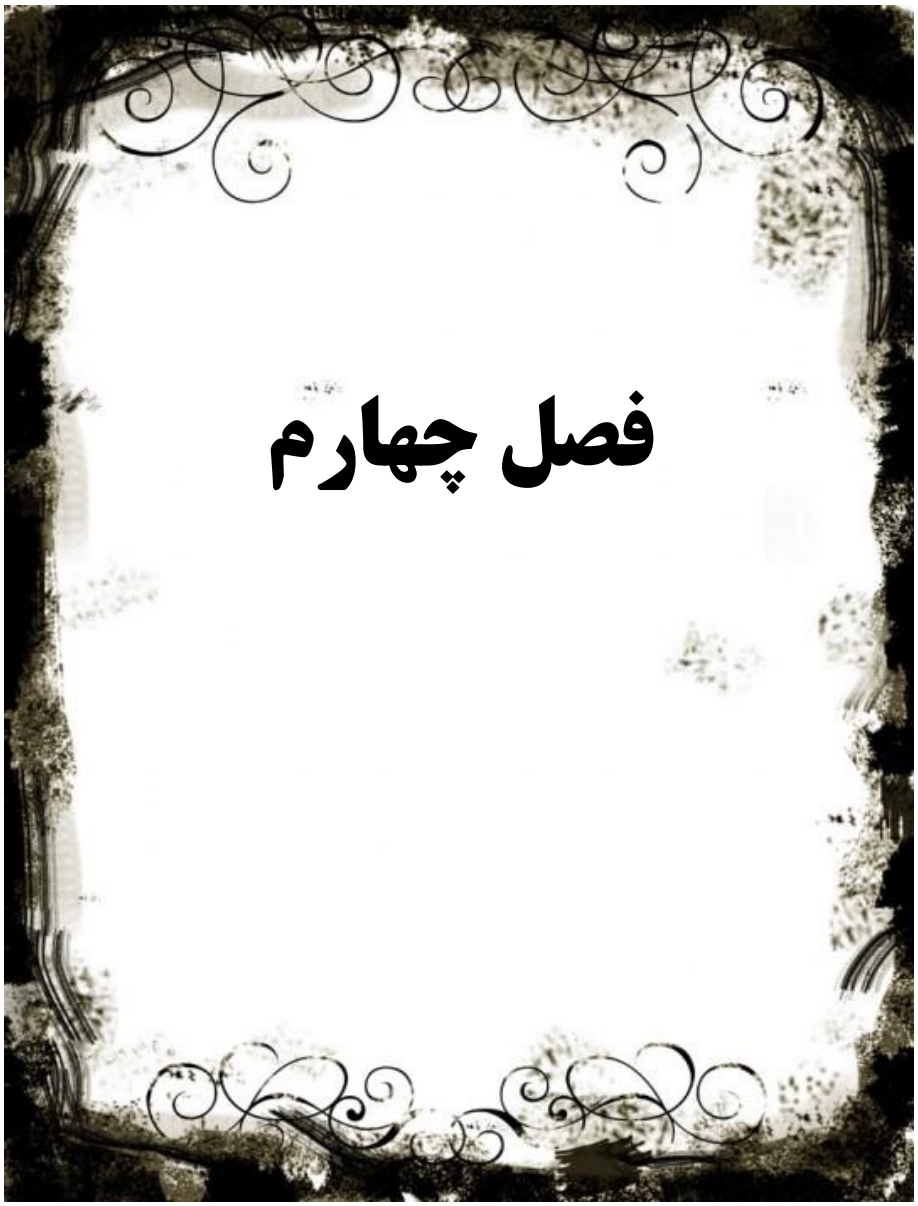
در این الگو سیارات در فلک تدویر در هر سال یک دور مـی‌زننـد در صـورتی کـه مرکز فلک تدویر ممکن است حرکتش از دو سال در مورد مـریخ تـا ۳۰ سـال در مورد زحل در حال تغییر باشد. با این تفسیر حرکت رجعی سالانه در جـای خـود باقیست و جایگاه سیارات نسبت به خورشید و نسبت به هم نیز تحقیق می‌شود.

گام اول در تحول کوپرنیکی

در مرحله اول این‌گونه تحلیل می‌کنیم باتوجه به اینکه مدت گردش هر سیاره خارجی حول مرکز تدویر یکسال زمینی طول می‌کشد پس اندازهٔ مـداری حرکـت آنها حول مرکز تدویر با مدار گردش یکساله خورشید به دور زمین یکسـان و هـم اندازه است.



کوپرنیک در مرحله دوم پس از یکسان‌سازی مدار حرکت فلک تدویر باتوجه دوران یکساله آنها حول مرکز تدویر ابتدا این‌گونه استدلال کرد که به جای گردش خورشید به حول زمین در نظر بگیریم که زمین حول خورشید در طول یکسال دوران می‌کند از لحاظ محاسباتی هیچ فرقی نمی‌کند. حال بگوئیم به جای اینکه سیارات (خارجی) حول مرکز تدویر می‌گردند حول خورشید می‌گردند. و این حرکات یکسان یکساله مربوط به حرکت یکساله زمین حول خودش می‌باشد باز از لحاظ محاسباتی با قبل هیچ تفاوتی نمی‌کند. اما در این الگو چندین دایره التدویر حذف شد و الگو بسیار زیبا و ساده شد. کوپرنیک خاطر نشان کرد که سادگی منظومه او فقط آسانی آن نیست بلکه در زیبائی و خوشایندی آن برای ذهن است خوشایندی برای ذهن که دانشمندان در سادگی الگوهای خود می‌یابند یکی از نیرومندترین تجربه‌ها در علم است. کار علمی نه تنها عملیاتی بیروح و صرفاً منطقی نیست بلکه عموماً از شناخت هماهنگی و زیبائی آکنده است. «در میان همه خورشید، بدون حرکت می باشد به راستی چه کسی در این معبد باشکوه، دهنده نور را در جائی جز آنجا که بتواند همه قسمتهای دیگر را بیفروزد قرار می‌دهد؟ پس، براساس این برگزیدگی، تقارن قابل ستایشی در جهان و هماهنگی آشکاری در حرکت» وجود دارد.


فصل چهارم

تیکو براهه اندیشمندی میانه‌رو

در سال ۱۵۴۶ میلادی مصادف با ۹۲۵ هجری شمسی در خانواده‌ای دانمارکی به دنیا آمد. از دوران نوجوانی به مطالعات اخترشناسی علاقمند بود و کتب مجسطی و دربارهٔ گردش آسمان را مطالعه و تحقیق کرده بود و همواره فکر در اختلاف بین دو سلوک فکری و نتایج یکسان دو نظریه می‌نمود واقعاً حقیقت لابلای نوشته‌های بطلمیوس و پیروان اوست و یا باید کوپرنیک را تأیید کرد. همان‌طور که می‌دانیم نتایج بدست آمده از دو هیأت بطلمیوسی و کوپرنیکی یکسان بود اما هیأت بطلمیوسی منطبق با فلسفه آن دوران بود و هیأت کوپرنیکی علی‌رغم سادگی و زیبائی با فلسفه زمین مرکزی در تناقض آشکار بود. در زمان جوانی تیکو دو پدیده نجومی خاص به وجود آمد که می‌توانست تا حدودی راه را نشان دهد.

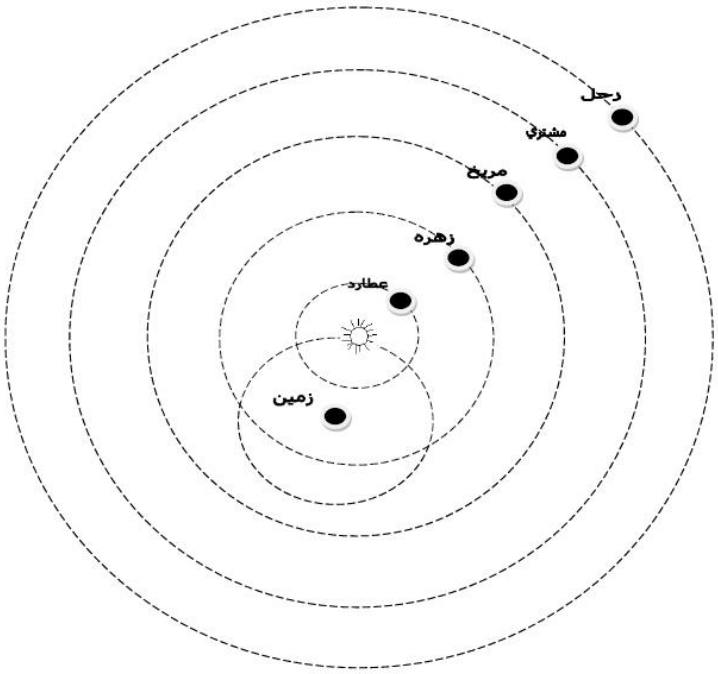
۱. در صورت فلکی ذات الکرسی یک نواختر ظهور کرد که بسیار پر نور بود و طوری بود که نور آن» در روز هم قابل تشخیص بود و ناگهان این نور و به افول گذاشت و ناپدید شد و این مسئله حاکی از آن بود که در اجرام آسمانی نیر کون و فساد وجود دارد و این خلاف فلسفه افلاطونی بود.
۲. از طرفی در سال ۹۵۶ هجری شمسی در آسمان دونباله‌داری دیده شد

تیکو براهه مشخصات دقیق این دنباله‌دار را ثبت کرد و به دیگر نقـاط کـره زمین نیز مسافرت کرد و از منجمان مشخصات آن دونباله‌دار را طلب کـرد. با کمال تعجب تمام مشخصات یکسان بودند پس باتوجه به اینکه در ماه در افق مختلف اختلاف منظر وجود داشت و این اختلاف منظـر در دونبالـه‌دار وجود نداشت پس لاجرم این دونباله‌دار در ماورای ماه قرار داشت و تصوری که دونباله‌دارها را پدیده‌های جوی می‌دانست مردود شد.

۳. دنباله‌دار از پدیده‌های نجومی ماورای فلک قمر بود سؤال ایـن بـود چگونـه این دونباله‌دار فلکها و گویهای فرض ارسطویی و بطلمیوسی را می‌شکافت و از بین آنها عبور می‌کرد. پس همین مشـاهده‌هـای تجربـی وزنـه را بسـوی کوپرنیک قوی‌تر مـی‌کـرد. از طرفـی تیکـو براهـه مـی‌دانسـت کـه الگـوی بطلمیوسی و کوپرنیکی هر دو بر مبنای یکسری داده‌های غیردقیق تنظـیم شده‌اند لاجرم برای بدست‌آوردن الگوی دقیق باید داده‌هـای دقیـق داشـت پس با پشتوانه شهرت و استفاده از حمایتهای فرمـانروای دانمـارک از نظـر امکانات و اقتصادی وی اقدام به برپائی رصدخانه‌ای مجهز در یکی از جزایـر کرد و با استعانت از ساخت ابزارهای بزرگ و احتساب خطاهایی که ممکـن بود هر کدام از دستگاه‌ها داشته باشند بار دیگر مواضع ستارگان و سـیارات را مورد رصد علمی قرار داد. تیکو براهـه در زمـان حکمرانـی فردریـک دوم تمام کوشش خود را صرف مطالعـات نجـومی کـرد امـا پـس از مـرگ وی جانشین فردریک تن به حمایـت از رصـدخانه پرخـرج تیکـو را نـداد. پـس لاجرم تیکو از آن جزیره به مملکت دیگری تغییر مکان داد. خوشبختانه در این تغییرات خدمتکاری به نام یوهان کپلر با وی همراهی می‌کرد و پس از مرگ تیکو تمام یادداشتهای وی را جمـع‌آوری و مـورد پـردازش و تحلیـل علمی قرار داد.

منظومه شمسی ارائه شده توسط تیکوبراهه

تیکوبراهه که خود دانشمند اهل تحقیق و تحلیل علمی و عملی بود. با مطالعات الگوهای کوپرنیک و بطلمیوس الگویی که ترکیبی از این دو بود را ارائه داد تیکو گردش سیارات به حول خورشید را قبول کرد و مورد تأیید علمی قرار داد ولی از لحاظ علمی و تجربی متقاعد به این مسئله نشد که زمین حول خورشید حرکت می‌کند لذا معتقد بود که همه سیارات به دور خورشید می‌گردند ولی خورشید خود به دور زمین می‌گردد و در این نظریه زمین در مرکز عالم قرار داشت. اما این تحلیل تیکو طرفداران چندانی نداشت چرا که ستاره‌شناسان یا بطلمیوسی فکر می‌کردند که اعتقاد به زمین مرکز می‌داشتند و همه سیارات را دوار حول زمین می‌داشتند و یا کوپرنیکی بودند که خورشید را مطلقاً در مرکز عالم قلمداد می‌کردند و این کار تیکو در نزد هیچ‌کدام پذیرفته نبود.



یوهان کپلر مرد قانون‌گذار آسمان

همان‌طور که گفتیم کپلر به عنوان یکی از کارمندان رصدخانه تیکو براهه، کارهای علمی خاصی را انجام می‌داد، کپلر قبل از اینکه وارد رصدخانه شود مقاله‌ای را پیرامون اینکه چرا سیارات قابل رؤیت شش عدد هستند و فاصله آنها چرا بدین‌گونه که کوپرنیک عنوان کرده می‌باشد ارائه داده بود. فاصله سیارات از خورشید براساس کارهای (یوهانس الرت بُد) دانشمند و محقق ستاره‌شناس آلمانی در پی تحقیق و توجهش به این منظومه خورشید مرکزی کشف شد وی فرمول و قانونی را ارائه داد که هنوز برای بشر بصورت معما و اسرارآمیز است روش کار یوهانس بدین قرار بود:

۱. نام یک یک سیارات از خورشید نوشت.
۲. عدد ۴ را زیر یکایک اسامی سیارات نوشت.
۳. عدد ۳ را در صفر، در ۱،۲،۳ در ۸ در ۱۶، ۳۲ ضرب کرد و زیر یکایک آنها نوشت.
۴. ستون‌های اعداد را با هم جمع کرد و بر ۱۰ تقسیم نمود.
۵. آنگاه عدد فاصله خورشید تا زمین را عدد (واحد نجومی) انتخاب کرد. در نتیجه اعداد بدست آمد که نماینده فاصله هر یک از سیارات از خورشید است.

۱	عطارد	زهره	زمین	مریخ	؟	مشتری	زحل
۲	۴+	۴+	۴+	۴+	۴+	۴+	۴+
۳	(۳×۰)	(۳×۱)	(۳×۲)	(۳×۴)	(۳×۸)	(۳×۱۶)	(۳×۳۲)
٤	۰	۳	۶	۱۲	۲۴	۴۸	۹۶
٥	۰/۴	۰/۷	۱	۱/۶	۲/۸	۵/۲	۱۰

پس اگر فاصله زمین تـا خورشـید را ۱ بگیـریم آنوقـت عطـارد در فاصـله ۰/۴ خورشید است و زهره در فاصله ۰/۷ و مریخ ۱/۶ و مشتری ۵/۲ و زحل در فاصـله ۱۰ واحد نجومی از خورشید قرار دارد. اینجا بود که بد کشف کرد که سیاره‌ای در فاصله ۲/۸ خورشید باید باشد و اکنون نیست و دانشمندان بعد از کشف بُد شـروع به جستجو کردند و کمربند آسترویدها را در آن منطقه یافتند. قـانون بـد یکـی از قوانین عجیب اعداد است که در درون خود راز کشف نشده‌ای را هنوز دارد.

که چرا اعداد ۰-۱-۲ـ۴ـ۸ـ۱۶ـ۳۲ باید در ۳ ضرب کرد و ایـن اعـداد نماینـده چه چیز هستند؟

اعـداد (۲، ۱، ۰، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲، ۱۰۲۴) در محاسـبات سیستم کامپیوتری برابر با یک (کیلو بایت) است و جالب این است که شیخ بهائی این اعداد را در کتاب علم‌الحساب خود که در قرن ۱۲ هجری نوشته شـده کشـف کرد و اسم آن را اُم یا عدد مادر گذاشت. در محاسبات علم فیزیـک هسـته‌ای هـم در مدل‌سازی هسته‌ها از این اعداد استفاده می‌شود کـه بـه آنهـا اعـداد جـادویی می‌گویند. آرزوی بزرگ کپلر این بود که بتواند تئوری خورشید مرکزی را تکمیـل کند. او سادگی و هماهنگی این تئوری را به صورت «لذتی باورنکردنی و فریبنده» می‌نگریست. اولین کار کپلر در زمینه همین فاصله سیارات تـا خورشـید بـود وی فکر می‌کرد کلید حل این مسائل را باید در هندسه جسـتجو کنـد او بـه جسـتجو رابطه‌ای میان شش سیاره شناخته شد و پنج چنـد وجهـی منـتظم برآمـد. چنـد وجهی منتظم نوعی چند وجهی است که همه آن اضلاع و زاویه‌های برابـر دارنـد. این قاعده از زمان یونانیان باقی‌مانده بود که فقط پنج چند وجهی منتظم هندسی وجود دارد. کپلر الگوئی در نظر گرفت که براساس آن، پنج چنـد وجهـی منـتظم، یکی درون دیگری قرار گرفته‌اند. طرحی نظیر چند کاسه تو در تو، در میـان ایـن پنج چند وجهی فضاهایی برای چهار کره یا فلـک سـیاره‌ای وجـود داشـت: فلـک

پنجم در فضای مرکزی الگو و فلک ششم در فضای بیرونی الگو قرار داشت.

وی می‌گوید:

«من ابعاد مدارهای سیاره‌ای را براساس اخترشناسی کوپرنیکی در نظر گرفتم که بر طبق آن خورشید در مرکز عالم ثابت است و زمین هم به دور خورشید و هم به دور محور خود گردش می‌کند، و نشان دادم که اختلافهای مدارهای آنها با پنج شکل منتظم فیثاغورسی تطبیق می‌کند...»

کپلر با استفاده از روش آزمایش و خطا راهی برای آرایش چند وجهیها به دست آورد. به طوری که کره‌ها با ۵٪ خطا در فاصله‌های واقعی میان سیاره‌ها جای می‌گرفتند. این ایده کپلر مورد توجه تیکو براهه قرار گرفت و منجر به این مسأله شد که کپلر در رصدخانه تیکوبراهه استخدام شود. در رصدخانه به کپلر کار تعیین دقیق مدار مریخ واگذار شد تا آن زمان هنوز این مسئله بسیار دشوار را تیکو و همکاران او حل نکرده بودند. در اولین قدم کپلر بر آن شد که حرکتهای رصد شده مریخ را با حرکتهای یک فلک خارج از مرکز و یک فلک معدل المسیر سازگار کند. کپلر هم مانند کوپرنیک با ساکن فرض کردن خورشید به طرح الگویی برای مریخ پرداخت اما تفاوت وی با کوپرنیک آن بود که کوپرنیک از طرح دایره‌های تدویر ترسی نداشت و سعی می‌کرد فقط فلک معدل المسیر را از الگوهای خود حذف کند ولی کپلر با اعتقاد بر این‌که فلک تدویر واقعیت فیزیکی ندارد، چرا که در مرکز آن جرم مؤثری نیست و صرفاً حرکت حول یک مرکز پوچ است سعی می‌کرد فلک تدویر را اصلاً استفاده نکند در عوض استفاده از فلک معدل‌المسیر برای او مجاز بود.

اختلاف در محاسبات و تجربه

کپلر پس از یکسال و نیم کار کردن روی مدار مریخ نتوانست حرکات عرضی مریخ را بدست آورد و حرکات طولی را با ۸ دقیقه اختلاف معین کرد. درحالی که دقت محاسبات و خطای تیکو تا دو دقیقه بیشتر نبود. اما همین محاسبات حقیقت را بر کپلر محقق ساخت.

وی می‌نویسد:

«از آنجا که لطف الهی، تیکوبراهه، این رصدکنندهٔ فعال، را به ما اعطا فرمود و به کمک رصدهای او خطای هشت دقیقه در مورد مریخ در محاسبه‌های بطلمیوس آشکار شده است پس شایسته است که به اعتقاد قلبی نسبت به این توجه خداوند واقف و سپاسگزار باشیم. بگذارید با دقت به این موضوع بپردازیم تا سرانجام شکل درست حرکتهای آسمانی را نشان دهیم... این اختلاف هشت دقیقه‌ها به تنهایی راه را برای بازسازی همه دانش اخترشناسی باز کرده است.»

کپلر به این نتیجه رسید که مدار مریخ دایره نیست و هیچ نقطه ثابتی وجود ندارد که نسبت به آن گردش سیاره یکنواخت باشد. پس کپلر نظر افلاطون مبنی بر اینکه باید گردش سیارات یکنواخت باشد را رد کرد. حال با فرو ریختن نظرات بیست قرنه افلاطونی باید مبنایی جدید پایگذاری و به این دو سؤال پاسخ داده می‌شد.

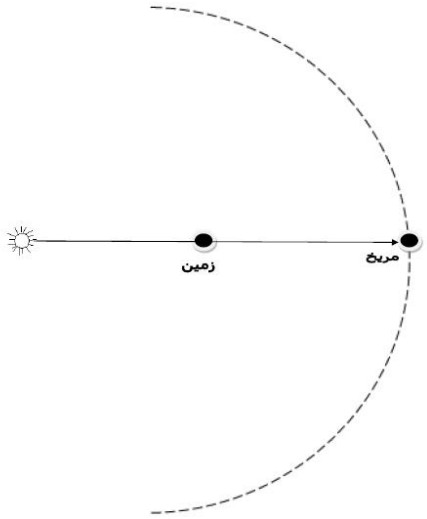
شکل مدار مریخ چیست؟

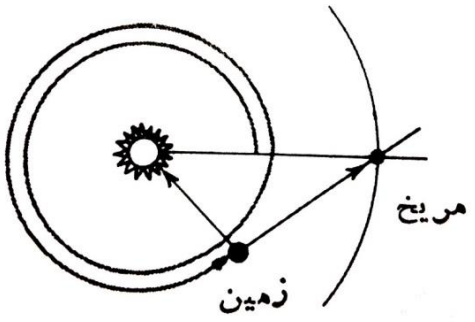
سرعت حرکت مریخ در امتداد مدار آن چگونه تغییر می‌کند؟

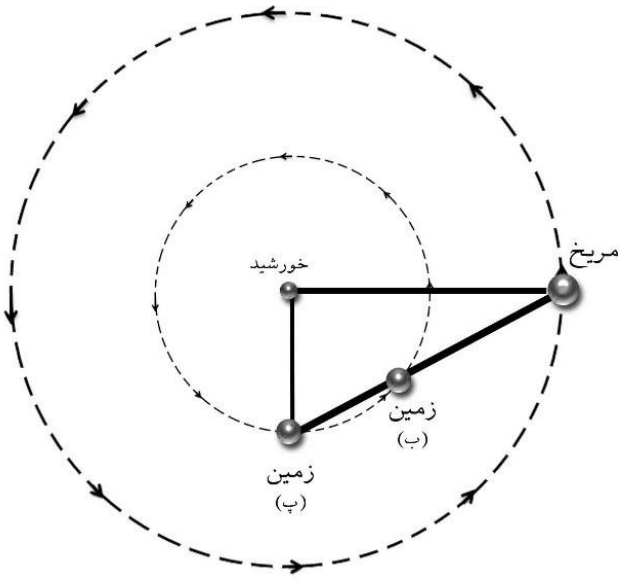
قانون کپلر درباره سطوح

مسئله کپلر مسئله‌ای بزرگ بود و حل آن به همه مهارت او نیاز داشت.

کپلر برای آغاز کار خود داده‌های تیکوبراهه در رصد مریخ را در اختیار داشت ولی این داده‌ها از روی زمین متحرک بود که چگونگی مدار آن به درستی معلوم نبود. کپلر دریافت که او نخست باید شکل مدار زمین را با دقت بیشتری تعیین کند. به این ترتیب می‌توانست مکان زمین را در مکانهای گوناگون مشاهده مریخ محاسبه نماید. آن‌گاه با کمک نتیجه مشاهده‌های تیکو ممکن بود بتواند شکل و اندازه مدار مریخ را مشخص کند. سرانجام برای پیش‌بینی مواضع مریخ لازم بود دریابد که مریخ در قسمتهای مختلف مدار خود با چه سرعتی حرکت می‌کند. برای یافتن شکل مدار زمین، کپلر لحظه‌هایی را که خورشید، زمین و مریخ تقریباً در یک راستا قرار می‌گیرند مورد توجه قرار داد. همان‌طور که کوپرنیک محاسبه کرده بود مریخ پس از ۶۸۷ روز به جای اول خود بر روی مدارش باز می‌گردد. بی‌تردید زمین در این هنگام در همان موضوع اولیه خود میان مریخ و خورشید قرار نخواهد داشت.

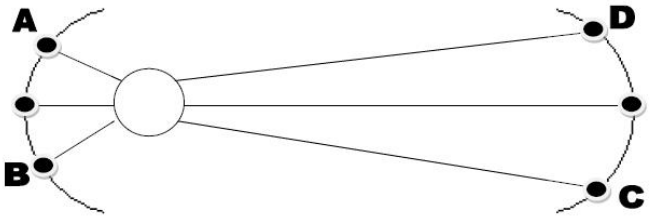






اما همان‌طور که شکل (ب) و (پ) می‌بینیم راستای زمین - خورشید و زمین - مریخ نسبت به زمینه ثوابت معلوم خواهد بود و نقطه تقاطع این دو راستا باید نقطه‌ای بر مدار زمین باشد کپلر از مشاهده‌های متعدد که سالهای روی «مریخی» انجام شده بود، استفاده کرد و سرانجام شکل مدار زمین را به طور نسبتاً دقیق به

دست آورد. مداری که کپلر برای زمین پیدا کرد، تقریباً دایره به نظر می‌رسید و خورشید اندکی خارج از مرکز آن قرار داشت. اکنون با دانستن شکل مدار زمین و نیز مواضع ثبت شده خورشید نسبت به زمین در زمانهای مختلف، می‌توانست مواضع زمین بر روی مدار و سرعت زمین را در امتداد آن مشخص کند. او اکنون مدار زمین و جدول زمانی برای حرکت آن را در اختیار داشت. نمودار کپلر در مورد حرکت زمین نشان می‌داد که زمین در نزدیکترین فاصله از خورشید با بیشترین سرعت حرکت می‌کند، کپلر در شگفت بود که چرا چنین است. او فکر می‌کرد، که خورشید باید نیرویی بر سیاره‌ها وارد کند که بتواند آنها را بر روی مدارهایشان به حرکت درآورد. این‌گونه اندیشه درباره علت فیزیکی حرکت سیاره‌ها، نقطه پیدایش دیدگاه تازه‌ای نسبت به حرکت در آسمان است.

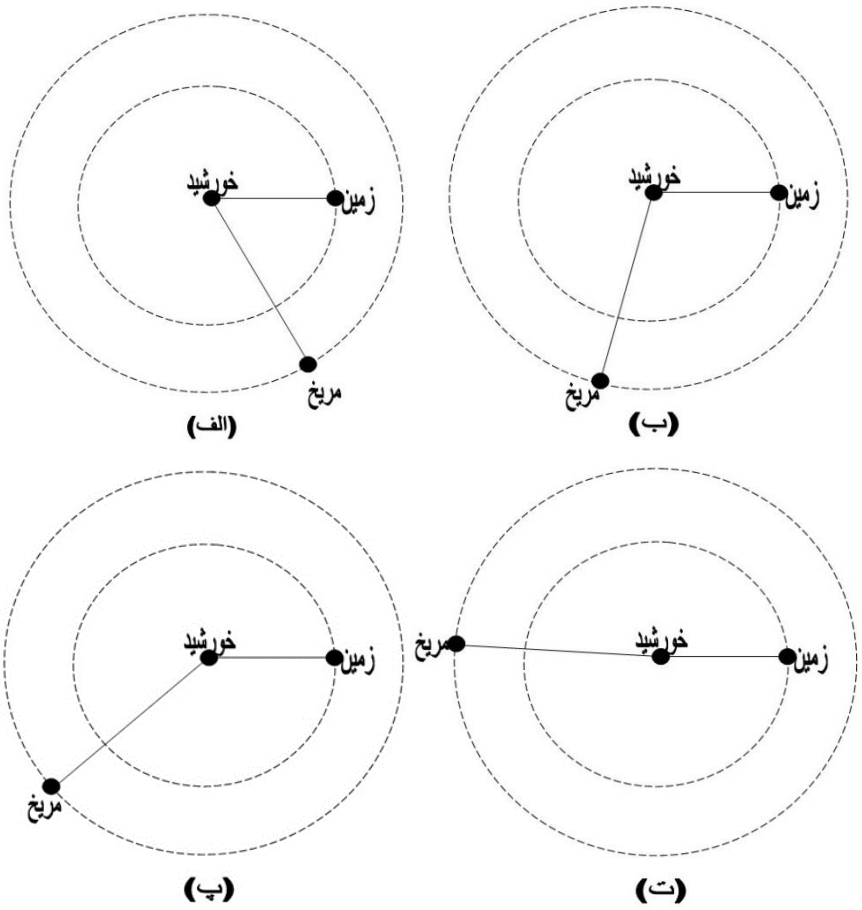


همان‌طور که در شکل دیده می‌شود هر قدر سیاره به خورشید نزدیک باشد سرعت مسیر آن تندتر و هر قدر دورتر باشد سرعت سیرش کمتر است با این همه کپلر دریافت که سطوح پیموده شده به وسیله خط و اصل میان خورشید و زمین در نزدیکترین، در دو قسمت مدار یکسان است. او بزرگی این سطوح را برای مریخ و زمین در نزدیکترین و دورترین فاصله محاسبه کرد اما سادگی و زیبائی آن او را

به این نتیجه رسانید که این رابطه را برای قسمتهای مختلف مدار درست بدانند. قانون سطوح در شکل کلی خود به این صورت است: خطی که خورشید را به یک سیاره متصل می‌کند سطوحی را می‌پیمایند که اندازه آنها با فاصله‌های زمانی لازم برای پیمودن آنها متناسب است. پس اولین قانونی را که کپلر به آن دست یافت قانون، قاعده سطوح پیموده شده می‌باشد که جزء مهمترین قوانین است، قانون سطوح، گذشته از تازگی داشتن و متفاوت بودن، مرکزیت خورشید را با تأکید بیشتری نشان می‌داد و کارهای دیگر کپلر بدون کشف این قاعده کاربردی ناچیز داشت. پس کپلر تا تعیین مدار زمین، قاعده سطوح یکسان را بدست آورد.

مدار مریخ

برای بدست‌آوردن مدار حرکت مریخ کافی بود به عکس محاسبات فوق عمل شود، بدین صورت دوران زمین در حول خورشید را در نظر گرفته و نسبت به زمینه ستاره‌ای وقتی که زمین در جایگاه موردنظر قرار داشت جایگاه مریخ را نسبت به آن محاسبه کرد و طی رصدهای مختلف مدار مسیر حرکت مریخ محاسبه شد.



در محاسبه مدار سیاره‌ی مریخ مسئله‌ای که بروز کرد این بود که این مدار بـه دایره شباهت نداشت و حالتی بیضی گون را نشان می‌داد کپلر می‌نویسد: «نتیجـه واضح این است که مسیر سیاره دایره نیست بلکـه در دو جهـت بـه طـرف داخـل مبدل می‌کند و بار دیگر در دو جهت مخـالف آن بـه طـرف خـارج انحـراف پیـدا می‌کند که این حالتی تخم‌مرغی شکل است.» البته کپلـر بعـد از تحقیقـات خـود این حالت تخم‌مرغی شکل را به بیضی‌گون اصـلاح کـرد. کشـف کپلـر مبتنـی بـر

بیضوی بودن مدار مریخ به خودی خود قابل توجه بود اما او همچنین دریافت که خورشید در یکی از دو کانون بیضی قرار دارد. کپلر این نتیجه را به صورت زیر عنوان کرد:

«سیاره‌ها در مدارهای بیضی شکل حرکت می‌کنند و خورشید در یکی از کانون این بیضیها قرار دارد.»

مریخ دارای بزرگترین مقدار خروج از مرکز است که کپلر می‌توانست مورد بررسی قرار دهد هرگاه او هر سیارهٔ دیگر غیر از مریخ را مورد مطالعه قرار می‌داد متوجه نمی‌شد که مدار آن به صورت بیضی گون است. کپلر در این خصوص می‌گوید: «مریخ به تنهائی ما را قادر می‌سازد که به اسراری از نجوم راه یابیم که اگر مریخ نبود همیشه از نظرگاه ما پنهان می‌ماندند.» کپلر بعد از اینکه به طور تجربی بیضی بودن مدار سیارات را فهمید این پرسش را ارائه کرد. که چرا باید مدار سیارات بیضی باشد در صورتی که افلاطون خلاف این را می‌گفت این پرسش در رأس فعالیت‌های علمی کپلر بود تا آنکه ریاضی فیزیکدان بنام نیوتون به آن پاسخ داد.

قانون کپلر دربارهٔ دوره‌های گردش

کپلر دو قانون خود یعنی سطوح مساوی و بیضوی بودن مدارات سیارات را ارائه داده بود ولی این دو قانون وی را راضی نمی‌کرد چرا که این دو قانون می‌توانست در مورد هر یک از سیارات به صورت مستقل راه‌کارهائی را ارائه دهد ولی انسجام سیارات و ترتیب قرار گرفتن سیارات و ارتباط خاصه آنها و نظم آنها را در برنداشت. همان‌طور که می‌دانیم کپلر اولین قدم خود در ستاره‌شناسی را با کار روی ارائه هندسی چگونگی قرارگیری سیارات در مدارات به روشی ریاضی با استعانت از چندوجهی‌ها شروع کرد. حال که دو قانون تجربی درباره سیارات یافته

می‌بایست یک اصلاحیه هم روی اولین مقاله خود براساس تئوری تجربی و کاربردی جدیدی انجام می‌داد. لاجرم ترتیب قرار گرفتن سیارات حول خورشید در دستور کا وی قرار گرفت. وی در بررسیهای خود متوجه شد اولاً پرید گردش هر سیاره به دور خورشید با فاصله آن سیاره از خورشید متناسب است. و تناسب بدین لحاظ است که هر قدر که از خورشید دور می‌شویم دوره تناوب افزایش می‌یابد و هر قدر به خورشید نزدیک می‌شویم دوره تناوب کاسته می‌شود اما این تناسب چگونه است؟ آیا مستقیم است؟ کپلر چیزی که در دست داشت داده‌های رصدی تیکوبراهه بود. و فاصله‌هایی که خود و بعدها بُد به دست آورده بودند با مقایسه جدول این دوره‌های تناوبی و فاصله سیارات تا خورشید و با نبوغ ریاضی خود ارتباط تناسبی بین فاصله سیارات تا خورشید و دوره تناوب گردش را به این‌گونه ارائه داد که $(T^2\&R^3)$ یعنی $\frac{T^2}{R^3} = k$ که k مقداری ثابت است. این رابطه در مورد همه سیارات حتی سیارات دونباله‌دار هم صادق بود.

با استفاده از اندازه‌های کوپرنیک			
سیاره	دور گردش (سال)	فاصله متوسط R_{2v} (واحد نجومی)	$\frac{T^2}{R^3}$
عطارد	۰/۲۴۱	۰/۳۸	۱/۰۶
زهره	۰/۶۱۴	۰/۷۲	۱/۰۱
مریخ	۱/۸۸۱	۱/۵۲	۱/۰۱
مشتری	۱۱/۸	۵/۲	۰/۹۹
زحل	۲۹/۵	۹/۲	۱/۱۲

اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر			
سیاره	دوره گردش	فاصله متوسط	$\frac{T^2}{R^3}$
عطار	۰/۲۴۱	۰/۳۸۷	۱/۰۰
زهره	۰/۶۱۵	۰/۷۲۳	۱/۰۰
مریخ	۱/۸۸۱	۱/۵۲۰	۱/۰۰
مشتری	۱۱/۸۶۲	۵/۲۰	۱/۰۰
زحل	۲۹/۴۵۸	۹/۵۴	۱/۰۰

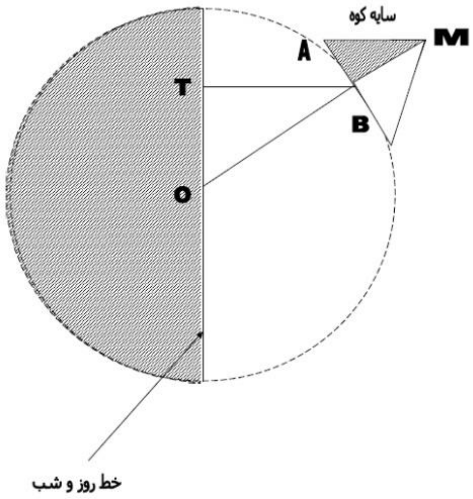
سه قانون کپلر چنان ساده‌اند که ممکن است کارآیی عظیم آنها نادیده انگاشته شود. ارزش این سه قانون همراه با کشف دیگر کپلر که هر سیاره در صفحه‌ای حرکت می‌کند که از خورشید می‌گذرد، باز هم بیشتر می‌شود. اگر شش کمیت درباره یک سیاره دانسته شود. می‌توان با کمک این قوانین تاریخچه گذشته و آینده آن سیاره را به دست آورد. دو تا از این کمیتها عبارتند از: اندازه طول قطر بزرگ a و خروج از مرکز e مدار. سه کمیت دیگر عبارتند از: زاویه‌هایی که صفحه مدار سیاره را به صفحه مدار زمین ارتباط می‌دهد. کمیت ششم مکان سیاره بر روی مدار آن در یک لحظه مشخص با این شیوه مواضع گذشته و آینده هر سیاره و هر ستاره دنباله‌دار قابل تعیین است. همگام با کپلر ،گالیله نیز به عنوان یک دانشمند کوشا و تجربه‌گرا وارد عرصه علم شد گالیله نیز اساس تفکر علمی خود را مشاهدات تجربی خود قرار داد. این ایده دینامیکی جایگزین مفاهیم فلسفی گذشته شد به عنوان مثال ایده اینکه جهان فیزیکال است و هر جرم آسمانی روحی دارد که در کالبد سیارات و اجرام در حال سیر وجود دارند و حرکات سیارات به عنوان امری ذاتی در این موجود ذی‌حیات وجود دارد جای خود را به

سیستمی عظیم و دقیق و ماشینی همچون ساعت می‌داد. همچنین علت مؤثر برای هر حرکتی جستجو می‌شد، کما اینکه کپلر نیروی مؤثر در منظومه شمسی را تحت تأثیراتی که از حوزه مغناطیس گرفته بود در اثر علل مغناطیسی خورشید می‌دانست و با ارائه معادلات جبری حوزه‌ای خاص را در روش علوم تجربی باز کرده بود از طرفی هم گالیله با دقت در مسائلی چون حرکت گلوله روی سطح شیب‌دار و نوسان پاندول گون لوسترهای کلیسا موضوعات علوم تجربی را کوچک و جزئی بررسی می‌کرد و این مورد انتقاد گروهی از فلاسفه بود که ما درگیر مسائل قامض فلسفی هستیم و فردی مثل گالیله هنوز درگیر حرکت لوسترها و گلوله‌ها می‌باشد.

به هر حال روش و منش گالیله و کپلر متفاوت بود و علی‌رغم جو حاکم آن زمان که عدول از فلسفه مشائی را جایز نمی‌شمردند این دو دانشمند شواهدی تجربی را بر علیه فلسفه مشاء که یکدیگر جمع‌آوری می‌کردند، شاید ظهور فلسفه‌های جدید دکارتی در آن دوران و غلبه منش فلسفی ریاضی دکارت مؤید کارهای تجربی آنها قرار می‌گرفت. ما هم همگام با پیش قراردادن تفکرات جدید سیر می‌کنیم؟ گالیله نیز تحت تأثیر رصد یک نواختر به ستاره‌شناسی علاقمند شد و با ایده‌ای خلاق و جستجوگر و با دستیابی به تلسکوپ دست‌ساز با بزرگ‌نمائی ۳۰ برابر و نشانه روی آن به سوی آسمان کشفیات زیادی را اعلام نمود. گالیله با ساختن تلسکوپ مشهور خود اولین موردی را که کاوش کرد ماه بود وی با رصد ماه متوجه شد که در درون ماه پر از حفره‌ها و کوههای زیادی وجود دارد وی تنها به مشاهده‌ای ساده که چنین مغایر با عقیده ارسطوئی در باب کمال آسمانها به نظر می‌رسید قناعت نکرد. او نتایج کارهای خود را با شواهد گوناگون از جمله اندازه‌گیریهای دقیق تقویت کرد. برای مثال او شیوه‌ای برای بدست آوردن ارتفاع کوه‌ها در ماه باتوجه به طول سایه‌های آنها بدست آورد.

فصل پنجم

روش گالیله در محاسبه ارتفاع کوه‌های ماه



نور خورشید از سمت راست به ماه می‌تابد و شما در جهت عمود بر تابش خورشید به ماه نگاه می‌کنید در این تصویر MB نمایانگر ارتفاع یکی از کوه‌های ماه، OB شعاع ماه است که مقدارش ۱۷۳۸ کیلومتر است AM طول سایه‌های کوه است که از زمین دیده می‌شود. TB فاصله کوه از خط روز و شب ماه است یعنی خطی که روز و شب ماه را جدا می‌کند. بر پایه هندسه مسطحه با استفاده

از تشابه مثلث‌ها درمی‌یابیم که مثلث $OTB \sim ABM$ می‌باشد زیرا زاویه $\angle T\hat{B}O = \angle A\hat{M}B$ و همچنین $\angle MBA = \angle BTO = 90$ ، در این صورت داریم:

$$MB = \frac{BT \times AM}{OB} \Leftarrow \frac{AM}{OB} = \frac{AB}{TO} = \frac{MB}{BT}$$

حال داریم OB (شعاع ماه) را می‌دانیم، تنها چیزهایی را که باید اندازه‌گیری کنیم AM و TB می‌باشد این کار توسط یک خط‌کش دقیق (خط‌کشی که درجه‌های کوچکتر از میلی‌متر داشته باشد بهتر است) و عکس واضح از ماه امکان‌پذیر است. مثلاً در همین عکس خیالی ما ۲/۵cm شعاع ماه برابر ۱۷۳۸ کیلومتر می‌باشد.

$$MB = 1 \times \frac{2}{\frac{2}{5}} = 0/8$$

2/5	*1738*
1	*X*

پس از آنکه گالیله به مشاهده ستارگان و سیارات پرداخت در رصد ستارگان متوجه شد که آمار ستارگان مشاهده شده در تلسکوپ به مراتب از تعداد ستارگان دیده شده با چشم مسلح بیشتر است پس این ایده که صرفا ستارگان برای روشنائی آسمان شب خلق شده‌اند منتفی شد. گالیله در ضمن رصد سیاره مشتری چهار قمر این سیاره را برای اولین بار مشاهده کرد که چون روزنه‌های ریز حول این سیاره در حال گردش بودند.

روش کار

۱. مشتری را در آسمان پیدا کنید و تلسکوپ را روی آن نشانه بروید. چشمی میکروگابد را روی تلسکوپ نصب کنید (یک طلق به اندازه چشمی تلسکوپ داشته باشید روی آن را طوری درجه‌بندی کنید که بتوانید اندازه‌گیری فاصله‌ها را انجام دهید.)
۲. اقمار را به ترتیب فاصله‌شان با مشتری شماره‌گذاری کنید. یعنی نزدیکترین قمر را (۱) و دورترین قمر مشتری را (۴). اگر اقمار در فاصله نزدیکی از مشتری قرار داشتند به طوری که اندازه‌گیری مشکل بود به کمک عدسی بارلو بزرگ‌نمائی را بالا ببرید «توجه کنید که عدسی بارلو روی اندازه‌گیری میکروگاید تأثیر می‌گذارد اگر عدسی بارلو n برابر استفاده می‌کنید فاصله دو خط متوالی $\frac{\propto}{n}$ خواهد بود.»
۳. فاصله زاویه‌ای اقمار گالیله را از مشتری هر ۲ ساعت یکبار اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدول بنویسید.

نمودار تغییرات فاصله زاویه‌ای اقمار مشتری از مشتری را برحسب زمان رسم کنید. توجه کنید که دقیقه و ثانیه باید به کسر ساعت تبدیل شوند.

بدین معنی که ساعت ۲۰:۳۰ به صورت ۲/۵ و ساعت ۳۰ :۴۵: ۲۰ به صورت

$20 + \frac{45}{60} + \frac{30}{3600} = 20/7582$ نوشته شود.

۴. نقاط مربوط به هر کدام از قمرها را به هم وصل کنید با استفاده از یک نقاله زاویه هر کدام از خطوط را با محور زمان محاسبه کنید. اقمار را برحسب شیب زاویه ای خط آنها مرتب کنید. قمری که بیشترین زاویه شیب را دارد قمریو است. اقمار دیگر به ترتیب زاویه شیب عبارتند از اروپا، گانیمد، گالیستو

فاصله قمر شماره ٤ از مشتری	فاصله قمر (۳)	فاصله قمر (۲)	فاصله قمر (۱)	زمان به وقت جهانی

در میان کشفیات گالیله، کشف مربوط به اقمار مشتری بیشترین تأثیر را روی مردم گذاشت و کتاب او به نام پیک ستارگان موفقیتی ناگهانی داشت ادامه کار گالیله با تلسکوپ خودش نتایج قابل توجهی به دست داد. اول با انداختن تصویری خورشید بر روی یک پرده، لکه های خورشیدی را مشاهده کرد.

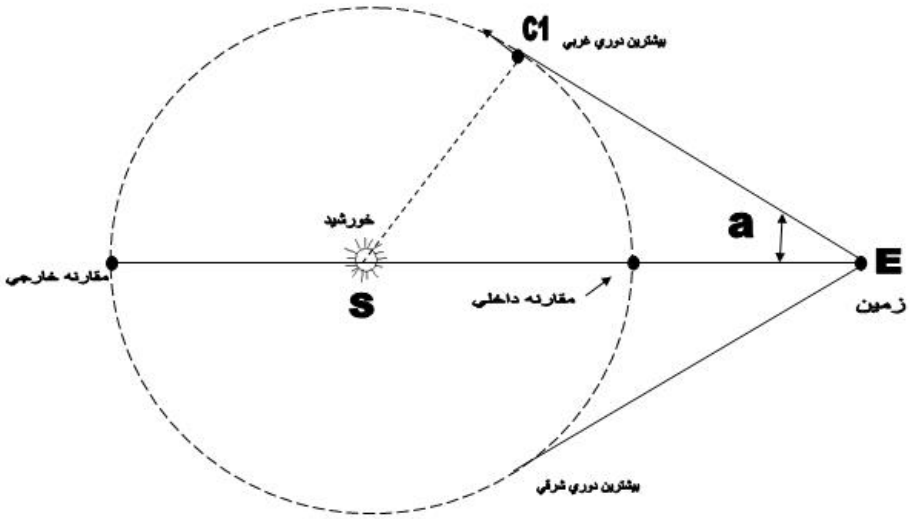
و این نشان می‌داد خورشید نیز برخلاف ادعای ارسطو، کره‌ای کامل و تمام نیست همچنین اثبات کرد که حرکت منظم لکه‌های روی خورشید یعنی خورشید، حدود ۲۷ روز یکبار حول خود گردش می‌کند.

همچنین گالیله دریافت زهره مانند ماه دارای اهله می‌باشد بنابراین زهره نمی‌توانست آن طوری که اخترشناسان بطلمیوسی می‌پنداشتند همواره میان زمین و خورشید قرار گیرد. بلکه باید همان‌طور که کوپرنیک و تیکوبراهه عقیده داشتند به طور کامل به دور خورشید گردش کند.

محاسبه فاصله زهره از خورشید از دیدگاه کوپرنیک

کافی است که زاویه بیشترین دوری از روی رصد تعیین شود. فاصله سیاره تا خورشید C_1S است.

$C_1S = 1AU\ sin \propto$



دوری	زمان (روز)	دوری	زمان (روز)
5°	۱۰۰	18°	۰
30°	۱۲۰	36°	۲۰
46°	۱۳۰	45°	۳۵
47°	**۱۶۰**	*30*	**٦۰**
45°	**۱۸۰**	10	**۸۰**
37°	**۲۰۰**	0 مقارنه سفلی	**۹۰**

در جدول فوق دوری زهره از خورشید در طول ۲۰۰ روز داده شده است.

همان طور که ملاحظه می‌شود و مقدار بیشینه در جدول فوق وجـود دارد کـه با یکدیگر هم مساوی نیستند و این بدلیل حرکت زمین در مدار خود می‌باشد، که بیشینه اولی را S_1 و بیشینه دومی را S_2 بنامیم آنگاه داریم:

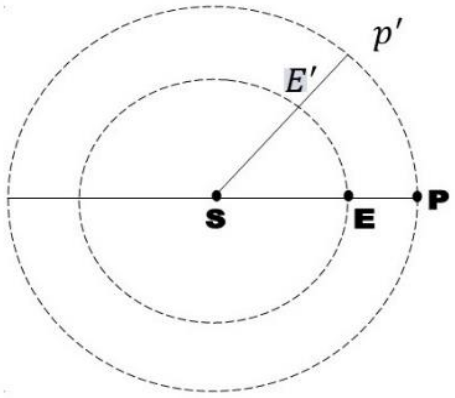
فاصله زهره از خورشید برحسب واحد نجومی $= {}^{1}/_{2}\,(sins_1 + sin\,s_2)$

$$D = {}^{1}/_{2}\,[sin(45^{\circ}) + sin(47^{\circ})]$$

گالیله در مورد سیارات خارجی همه مطالعات را ادامه داد مـثلاً دربـاره سـیارهٔ زحل احساس کرد که در امتداد استوای خود برآمدگی دارد. امـا تلسـکوپ گالیلـه چندان قوی نبود که تشخیص دهد این برآمدگی حلقه است نه برآمدگی.

بدست آوردن فاصله سیارات خارجی تا خورشید

به هنگام مقابله سیارات با خورشید، سیاره در وضعیت P و زمین در E است.



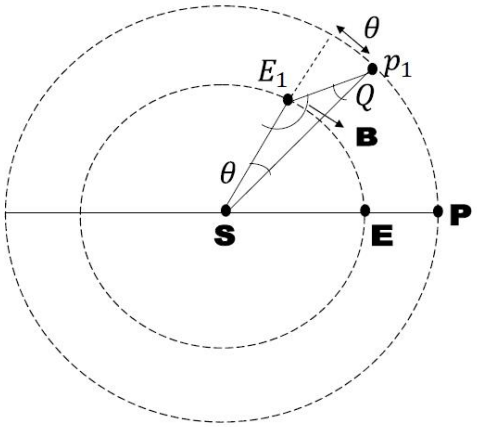
سیاره زمین

دوره تناوب مداری (نجومی) زمین را با $T\oplus$ یک سال یعنی، ۳۶۵ روز و دوره تناوب مداری (نجومی) سیاره را به TP (برحسب سال زمینی یا روز) نشان می‌دهیم. سرعت زاویه‌ای متوسط $\frac{360^{\circ}}{TP}$ و سرعت زاویه‌ای متوسط زمین $\frac{360}{T\oplus}$ است. بدیهی است که سرعت زاویه‌ای زمین بیشتر از سرعت زاویه‌ای سیاره است. بعد از گذشت زمان t از وضعیت مقابله زمین به اندازه زاویه θ از سیاره جلو خواهد افتاد.

$$\theta = \left(\frac{360}{T_{\oplus}} - \frac{360}{T_P}\right)T$$

زاویه B را می‌توان از روی رصد تعیین کرد. B زاویه بین خورشید و سیاره روی صفحه دائرهٔ البروج است.

بنابراین زاویه مثلث SE_1P_1 از روی رصد مشخص می‌شود و فاصله $E_1S = 1\ AU$ است با حل مثلث SE_1P_1 می‌توان فاصله سیاره از خورشید P_1S را برحسب واحد نجومی به دست آورد.

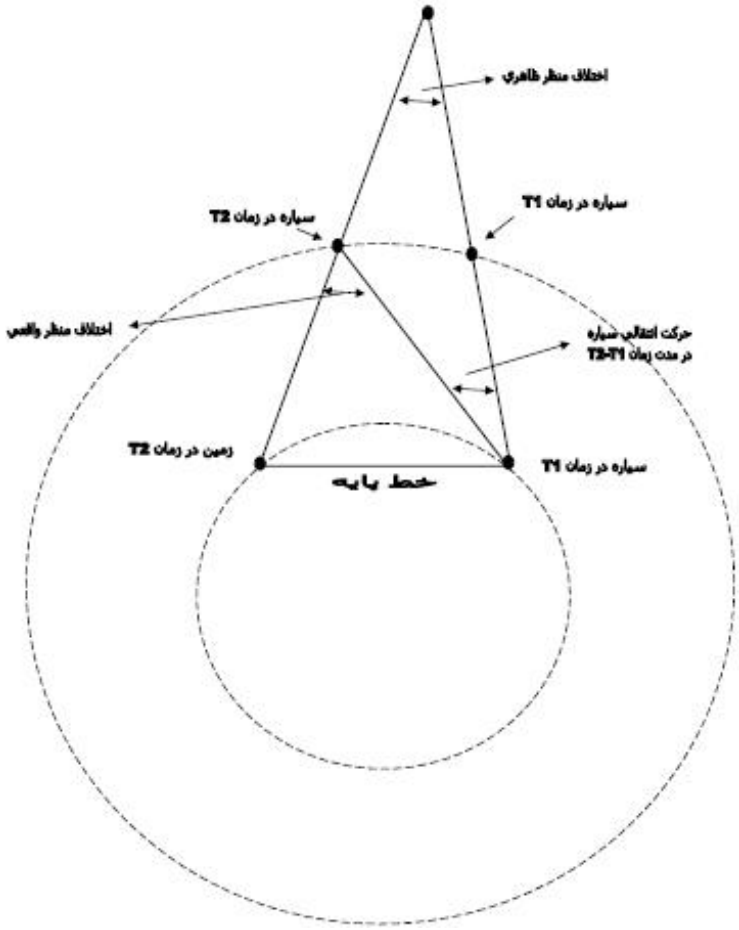


$$cos\emptyset = \frac{E_1S}{P_1S}$$

$$P_1S = E_1S\ sec\theta$$

اندازه‌گیری فاصله سیارات خارجی از زمین با استفاده از روش اختلاف منظر

تئوری: جابه‌جا شدن زمین در منظومه شمسی باعث ایجاد اخـتلاف منظـر در رؤیت سیارات می‌شود. به کمک این اختلاف منظر می‌توان فاصله سیارات از زمین را حساب کرد. در شکل زیر موضع زمین را در دو لحظه T_1 و T_2 نشـان مـی‌دهـد. اختلاف منظر سیاره نسبت به این دو موضع P و خط پایه D است.



طول خط پایه را می‌توان از روی اختلاف T_1 و T_2 به دست آورد (صفحه بعد)

اختلاف منظر بین دو موقعیت باعث می‌شود که تصویر سیارات در آسمان زمین جابه‌جا شود.

توجه به این نکته مهم است که سیاره در طول مدت $T_2 - T_1$ در مدار خود پیش می‌رود.

چون جهت حرکت آن با زمین یکسان است پیشروی سیاره باعث می‌شود که اختلاف منظر کمتر از مقدار واقعی آن به نظر برسد. با دانستن حرکت روزانه سیاره در مدار خود می‌توان اختلاف منظر مشاهده شده از روی زمین را با استفاده از رابطه زیر تصحیح کرد.

جابه‌جائی زمین مرکزی سیاره در زمان $T_1 - T_2$ + اختلاف منظر ظاهری= اختلاف منظر واقعی سیاره

با دانستن اختلاف منظر واقعی سیارات خارجی فاصله سیاره از زمین برحسب کیلومتر از رابطه:

$$R = 206265\frac{D}{P}$$

به دست می‌آید، که در آن D طول خط پایه برحسب کیلومتر و P اختلاف منظر برحسب ثانیه قوسی است.

روش رصدی

۱. به کمک آلماناک (جدول نجومی) یا نرم‌افزارهای نجومی زمان مقابله مریخ یا مشتری یا زحل را بدست آورید.
۲. زمانهای رصد ($T_2 - T_1$) را مشخص کنید.

	مناسب‌ترین قفاصله زمانی	جابجایی روزانه زمین مرکزی سیاره «درجه به روز»
مریخ	۱۰ روز	۱/۵۲۵
مشتری	۸۰ـ۴۰ روز	۰/۱۰۳
زحل	۱۶۰ـ۸۰ روز	۰/۰۰۳۷

۳. در تاریخهای T_1 و T_2 موقعیت سیاره را به کمک تلسکوپ یا اعصای یعقوب نسبت به ستارگان ثابت اندازه‌گیری کنید. جای سیاره را در این تاریخ‌ها روی نقشه آسمان مشخص کنید. به کمک پرگار و مقیاس نقشه اختلاف منظر واقعی را بدست آورید.

اختلاف منظر ظاهری سیاره = برحسب ثانیه

۴. جابه‌جایی سیاره در مدار را در مدت $T_2 - T_1$ حساب کنید و اختلاف منظر واقعی را بدست آورید.

اختلاف منظر واقعی= برحسب ثانیه

۵. با استفاده از نمودار صفحه قبل طول خط پایه را برای مدت $T_2 - T_1$ حساب کنید.

طول خط پایه در زمان برحسب (روز) = برحسب کیلومتر

۶. فاصله سیاره از زمین را از رابطه $R = 206265\frac{D}{P}$ بدست آورید.

فاصله سیاره = برحسب (کیلومتر)

تذکر: اگر D به وسیله پیمودن در عرض مدت کوتاهی مثل هواپیما باشد نیز می‌توانید با قرار دادن فاصله بین دو شهر مثلاً (تهران، مشهد) و محاسبه P مقدار R را بدست آورید.

خودتان تجربه کنید

حداکثر فاصله بین انگشت شصت تا چشم

آنچه باید انجام دهید:

۱. در فاصله حداقل ۵ متری تابلوی کلاس بایستید دست خود را کاملاً باز و کشیده کنید در مقابل صورتتان نگاه دارید. چشم راست خود را ببندید و با چشم چپ به انگشت شست با یک قلم که در دست دارید نگاه کنید.

از دوست خود بخواهید تا با راهنمائی شما روی تابلو کلاس جایی که در مقابل انگشت است نقطه ای بگذارد دوباره چشم چپ را ببندید و با چشم راست خود به آن نگاه کنید.

این بار انگشت شست شما در مقابل نقطه‌ای دیگر از تابلو دیده خواهد شد همکارتان را راهنمائی کنید تا با این نقطه را هم روی تابلو علامت‌گذاری کند.

۲. به کمک عصای یعقوب فاصله زاویه دو نقطه را اندازه‌گیری کنید. این فاصله تقریباً اختلاف منظر انگشت شما نسبت به چشم چپ و راستتان است.

اختلاف منظر= بر حسب ثانیه قوسی

۳. خط پایه راست را به دقت میلی متر اندازه گیری کنید برای این کار باید در مقابل آیینه بایستید و با خطکش فاصله مرکز چشم راست تا مرکز چشم چپ را اندازه گیری کنید

طول خط پایه = برحسب میلی متر

۴. فاصله بین انگشت شست تا چشم خود را به کمک رابطه $\gamma = 206265\frac{D}{P}$ بدست آورید [D خط پایه و P اختلاف منظر برحسب ثانیه قوسی]

حل مدار مریخ «روش کپلر»

محاسبه پارامترهای مداری مریخ

لوازم موردنیاز: خط‌کش بزرگ، ماشین حساب

۱. در جدول زیر طول دایرهٔ البروجی خورشید مرکزی مریخ (فاصله زاویه‌ای مریخ تا اعتدال بهاری به رأس خورشید)

و طول دایرهٔ البروجی خورشید مرکزی زمین و دوری مریخ از زمین (فاصله زاویه‌ای مریخ و خورشید به رأس زمین) برای ۱۲ تاریخ متفاوت داده شده است.

تاریخ	طول خورشید مرکزی زمین	طول خورشید مرکزی مریخ	دوری مریخ
۱۹۵۸/۷/۱۹	۱۲۵	347°	25°
۱۹۵۹/۲/۱۱	۱۴۱	98°	۱۰۰
۱۹۶۰/۱۰/۲	9°	53°	۹۳
۱۹۶۲/۵/۱	۲۲۰	۳۴۷	۳۱
۱۹۶۶/۵/۲۵	۲۴۳	۵۳	6°
۱۹۷۰/۱۰/۲۹	47°	۱۳۵	۶۱
۱۹۷۱/۱/۱۷	35°	۱۶۸	۳۰
۱۹۷۱/۴/۱۹	۱۱۶	۲۰۴	۶۰
۱۹۷۲/۱۲/۲	۲۰۸	۲۵۰	۹۶
۱۹۷۴/۷/۷	۷۰	۲۰۴	۲۹
۱۹۷۵/۵/۱۶	۲۸۴	۱۵۶	۳۳
	۲۳۴	۳۱۷	۵۹
$r(۱+e)$ = فاصله زمین در اوج			
$r(۱-e)$ = فاصله زمین در حضیض			

از محل خورشید خطی به طول فاصله حضیض و به زاویه طول حضیض (۱۰۱ درجه)=w نسبت به جهت اعتدال بهاری رسم کنید و نقطه حضیض مدار زمین را بدست آورید.

از محل خورشید خطی به طول فاصله اوج و به زاویه طول اوج (۱۸۰+w) نسبت به جهت اعتدال بهاری رسم کنید و نقطه اوج مدار زمین را به دست آورید.

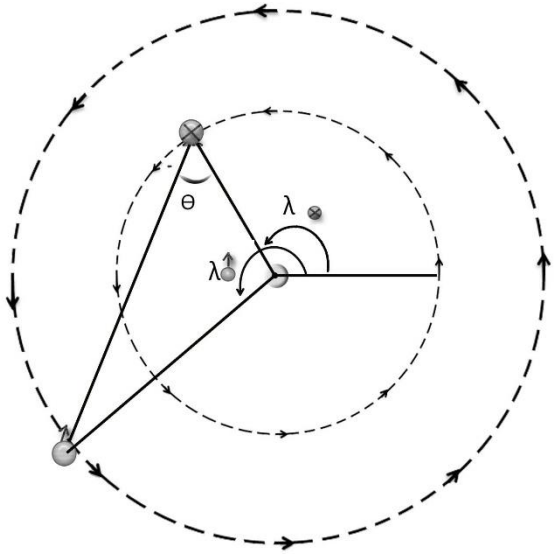
نقطه اوج را به حضیض وصل کنید. دایره‌ای به قطر خط اوج حضیض و مرکز خط اوج حضیض رسم کنید. این دایره مداری زمین است.

رسم مدار مریخ

به کمک جدول صفحه قبل برای هر تاریخ، طول دایرهٔ البروجی زمین، طول دائرهٔ البروجی مریخ به دوری خورشید و مریخ داده شده است.

۱. ابتدا با استفاده از طول دایرهٔ البروجی زمین، مکان زمین در مدار را تشخیص دهید. برای این کار، از خورشید خطی با زاویه $\lambda_{\oplus}$ (لاندا زمین) نسبت به امتداد اعتدال بهاری رسم کنید محل برخورد این خط با مدار زمین، محل زمین در تاریخ موردنظر است.

۲. خطی با زاویه λ (لاندا مریخ) نسبت به اعتدال بهاری از خورشید رسم کنید این خط جهت سیاره مریخ روی مدار است.



یک صفحه کاغذ بزرگ به ابعاد حداقل ۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر را روی زمین صاف و مناسب نصب کنید. محل خورشید را در مرکز صفحه کاغذ و جهت اعتدال بهاری را روی کاغذ مشخص کنید.

زمین در مداری بیضی با خروج از مرکز e=۰/۰۰۱۷ و طول حضیض w=۱۰۱ به گرد خورشید می‌گردد. مدار تقریبی زمین را به روش زیر رسم کنید:

۱. فاصله زمین از خورشید در نقطه اوج و حضیض را به دست آورید. (مدار زمین را دایره‌ای به شعاع r مساوی با ۲۰ سانتی‌متر بگیرید.)

از محل زمین خطی رسم کنید که با امتداد زمین خورشید زاویه θ (دوری مریخ) بسازد.

نقطه برخورد این خط با خط جهت مریخ، مکان سیاره مریخ روی مدار است.

دایره‌ای رسم کنید که از تمامی نقاطی که برای مریخ به دست آورده‌اید بگذرد.

مرکز دایره را دقیقاً مشخص کنید.

حال با رسم‌های خود مسائل زیرا را تحقیق کنید:

اندازه‌گیری نیم فصل اصول

نیم قطر طول بیضی در تقریب اول برابر است با شعاع دایره مدار مریخ:

$$\frac{\text{شعاع دایره مدار مریخ}}{\text{شعاع دایره مدار زمین}} = \text{نیم قطر طول مریخ (واحد نجومی)}$$

اندازه‌گیری خروج از مرکز:

$$\frac{\text{فاصله خورشید تا مرکز مدار مریخ}}{\text{شعاع مدار مریخ}} = \text{خروج از مرکز مدار مریخ}$$

اندازه‌گیری فاصله اوج و حضیض:

مرکز دایره مدار مریخ را به خورشید وصل کنید و از دو طرف امتداد دهید تا مدار را در دو نقطه قطع کند. نقطه‌ای که به خورشید نزدیک است، حضیض و نقطه‌ای که از خورشید دور است اوج می‌نامیم.

$$= \frac{\text{فاصله نقطه اوج از خورشید}}{\text{شعاع مدار زمین}} = \text{فاصله اوج مریخ (واحد نجومی)}$$

$$\frac{\text{فاصله نقطه حضیض از خورشید}}{\text{شعاع مدار زمین}} = \text{فاصله حضیض مریخ (واحد نجومی)}$$

صحت قانون سوم کپلر را تحقیق کنید.[۱]

$$(\text{دوره تناوب نجومی مریخ})^{۲} = (\text{نیم قطر اصول مدار مریخ})^{۳}$$

۱. دوره تناوب نجومی مریخ برابر ۱/۸۸ سال زمینی است.

فصل ششم

نیوتون و دانش قرن هفدهم

از مرگ گالیله در سال ۱۰۲۱ هجری شمسی تا انتشار کتاب اصول نیوتون در سال ۱۰۶۶ هجری شمسی چهل و پنج سال گذشت. در این مدت دگرگونی بزرگی در سازمان اجتماعی مطالعات علمی به وجود آمد.

۱. فلسفه نوین علمی بر پایه آزمایش که با شیفتگی دنبال می‌شد نتیجه‌های تازه به بار آورد.
۲. در ایتالیا، فرانسه و انگلستان علم‌اندوزان به همکاری و تشکیل انجمن‌های علمی پرداختند.
۳. در این انجمنها، میان کسانی که به انجام آزمایش‌های علمی می‌پرداختند اطلاعات علمی مبادله می‌شد و اندیشه‌های جدید مورد گفتگو قرار می‌گرفت.
۴. علیه مخالفان فعالیت‌های جدید تجربی بحث می‌شد و رساله‌های فنی انتشار می‌یافت.
۵. هر انجمن برای یافتن پایگاه علمی در میان مردم تلاش می‌کرد و نتیجه بررسیهای خود را در مجلات علمی که خواهان بسیار داشتند به چاپ می‌رساند.

از راه این انجمن‌ها فعالیت‌های علمی همه‌گیری و قدرت و ارزش جهانی پیدا کرد.

نتیجه

الف. صنعتکاران و مردمی که ثروت و فراغتی داشتند به مطالعات علمی روی آوردند.

ب. برخی برای بهبود شیوه‌های فنی و فرآورده‌های علمی کار می‌کردند.

ج. برخی دیگر مطالعه طبیعت را پرمایه آزمایشها، سرگرمی هیجان‌انگیز و تازه‌ای می‌دیدند.

در این بستر فرهنگی و ارتقای دانش عمومی بود که زمینه را برای به روی کار آمدن فرزانه‌ای مثل اسحاق نیوتون فراهم نمود. در عصر گالیله و کپلر دانشمندان اصولی و اندیشمند زیادی در مراکز علمی به وجود آمدند که پیگیر مسائل تجربی و ترکیب ریاضیات با علوم تجربی بودند. و در مسائلی چون، چه نیروهایی بر سیارات اثر می‌کنند و مسیر حرکت آنها را تعیین می‌کنند؟ و چرا اجرام روی زمین سقوط می‌کنند؟ بسیاری از ابزارهای مفید تجربی و ریاضی ساخته شده و به کارگیری ریاضی در بررسیهای فیزیکی زمینه را برای رشد ریاضیات و فیزیک توأم با هم فراهم می‌آورد. نیوتون در چنین دورانی می‌زیست که شخصیت اصلی در این بخش خواهد بود. با این حال در علم نیز مانند دیگر حرفه ها افراد بسیاری هستند که نقش‌هایی را ایفا می‌کنند و ساختمان و بنیان علم نه تنها بر دوش نوابغ بلکه بر دوش بسیاری از دانشمندان گمنام استوار است. و به قول رادرفورد: «این، در طبیعت اشیا نیست که کسی به تنهایی به کشفی بزرگ و ناگهانی نائل شود. علم گام به گام پیش می‌رود و کارهای هر کس به کار پیشینیان او وابسته است... دانشمندان بر اندیشه یک تن تکیه نمی‌کنند. بلکه از ترکیب هوشمندیهای

هـزاران تـن بهـره مـی‌گیرنـد...» نیوتـون در ۱۰ دی ۱۰۲۱ هجـری شمسـی در انگلستان متولد شد در سال ۱۰۴۰ هجری با تشویق عمویش به فراگرفتن ریاضـی در دانشگاه کمبریج پرداخت در دوران تحصیلش بر اثـر شـیوه بیمـاری طـاعون و تعطیلی دانشگاه دو سال در منزل در انزوار بود. حاصل این دو سـال در ریاضـیات کشف اصول دیفرانسیل و انتگرال و در فیزیک قانون اول و دوم از نظریـه معـروف خود بود. او می‌گوید: «من درباره گسترش داشتن نیروی جاذبه زمین تا مدار مـاه به اندیشه پرداختم و از قاعده کپلر به این نتیجه رسیدم که نیروهایی که سیاره‌هـا را در مدارهایشان نگاه می‌دارد باید بـا عکـس مجـذور فاصـله‌هـای آنهـا از مراکـز گردش آنها متناسب باشند و از آنجا نیروی لازم برای نگاهداشتن مـاه را در مـدار آن به دور زمین با نیروی جاذبه در سطح زمـین مقایسـه کـردم، و نتیجـه تقریبـاً خوب بود. همه اینها در دو سال طاعونی ۱۶۶۵ و ۱۶۶۶ روی داد زیرا در آن روزها در سن ۲۱ تا ۲۲ سالگی در آغاز سن ابداعات خود بودم و بـه ریاضـیات و فلسـفه بیش از پیش از هر زمان دیگری تا آن هنگام می‌اندیشیدم.» نیوتون بعد از این دو سال دوباره به کـالج بازگشـت و خیلـی زود بـه قسـمت آمـوزش و تـدریس پـای گذاشت نیوتون در مسأله نور و ذره‌ای بـودن آن بـا پیـروان هـویگنس در تعـارض فکری بود و همین مجادلات منجر به این شد که نیوتون در انزوای علمـی خاصـی فرو رود تا آنکه فردی به نام ادموند هالی که از دوستان نیوتون بـود و روی مسـأله حرکت دونباله‌دارها با هویگنس اختلاف علمی داشت برای پیش برد مقاصد خـود شکایت به نزد نیوتون برد و با کمال تعجب دید تمام مسائل دونباله‌دارها را نیوتون حل کرده و در کتاب اصول آورده است. به پیشنهاد هـالی و بـه سـرمایه وی ایـن کتاب نیوتـون منتشـر شـد و نیوتـون در سـال ۱۰۶۱ هجـری شمسـی در زمـرهٔ بزرگترین متفکران تاریخ قرار گرفت. بعد از این تـاریخ نیوتـون علـی‌رغـم داشـتن مشاغل مهم سلطنتی به علت بیماری اعصاب رکورد علمی خـود را سـپری کـرد و

هیچ نوآوری علمی بعد از آن، از ناحیه وی دیده نشد.

نیوتون در کتاب اصول در پیشگفتارش چنین می‌نویسد:

«چون پیشینیان در بررسی اشیاء طبیعی بیشترین اهمیت را برای علم مکانیک قائل بوده‌اند، و امروزیها با کنار گذاشتن صورتهای جوهری و چشم‌پوشی از کیفیتهای مرموز، تلاش کرده‌اند که پدیده‌های طبیعت را تابع قوانین ریاضی بدانند من در این رساله تا آنجا که به فلسفه مربوط می‌شود ریاضیات را پرورانده‌ام... تمام هم و غم بر این است که از پدیده‌های حرکت، نیروهای طبیعت را بیابیم. سپس به کمک این نیروها پدیده‌های دیگر را ثابت کنیم.

و آن مسائل را تعمیم دهیم.

و در راستای همین هدف است که کتابهای اول و دوم گزاره‌های کلی ارائه شده‌اند و در کتاب سوم، مثالی از این هدف در تشریع نظام جهان آورده‌ام به طوری که در کتاب سوم به کمک گزاره‌هایی که در کتابهای قبلی به طور ریاضی اثبات کرده‌ام، از پدیده‌های آسمانی نیروهایی گرانشی را استنتاج کرده‌ام که اجسام را متمایل به خورشید و سیاره‌های گوناگون نگه می‌دارد. سپس به کمک این نیروها یا گزاره‌های دیگری که آنها نیز ریاضی هستند حرکتهای سیاره‌ها و دنباله‌دارها، ماه و دریا را استنتاج کرده‌ام...» کتاب با تعریف‌هایی از جرم، اندازه حرکت، اینرسی و نیرو آغاز می‌شود. پس از آن، قانون حرکت و اصول جمع نیروها و تندیها آورده می‌شود. نیوتون همچنین متن قابل توجه و بسیار مهمی دربارهٔ «قواعد استدلال فلسفی» می‌آورد.

که صورت این قواعد به قرار زیر است:

۱. طبیعت به بیهودگی رفتار نمی‌کند، و طبیعت اساساً ساده است.

۲. باید برای پدیده‌های طبیعی یکسان، علتهای یکسان در نظر گرفت.

۳. خواص مشترک همه اجسامی که مورد آزمایش قرار می‌گیرد در مورد همه اجسام دیگر وجود دارد.
۴. در فلسفه تجربی، فرضیه‌ها یا کلیتهایی که براساس تجربه به دست آمده‌اند باید پذیرفته شوند.

کتاب اصول سندی فوق‌العاده است. سه بخش اصلی آن محتوی مجموعه‌ای از کشفیات ریاضی و فیزیک است اما در این میان تئوری گرانش جهانی با بحث‌ها و استدلالهایی که منجر به آن شده بر همه چیز سایه افکنده است یعنی هر جسم در جهان هر جسم دیگر را جذب می‌کند. به نظر نیوتون حرکت طبیعی هر جسم حرکتی بود با سرعت یکنواخت در راستای خطی مستقیم. حرکت سیاره‌ها در امتداد یک منحنی نشان‌دهنده آن است که نیرویی دائمی سیاره‌ها را به خارج از حرکت طبیعی مستقیم‌الخط آن شتاب می‌دهد و این نیرو، نیرویی است که در همه اجرام زمین و آسمانی وجود دارد. و همین نیرو عامل افتادن همه اجرام بر زمین می‌شود.

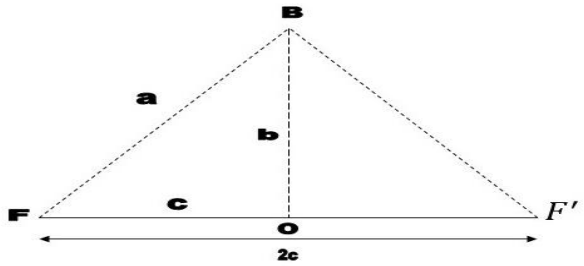
گذر از کپلر به مکانیک کلاسیک

همان‌طور که می‌دانیم قوانین کپلر براساس تجارب رصدی و رصد سیاه مریخ بدست آمد نیوتون در فلسفه طبیعی خود سعی کرد تا حد امکان قواعد طبیعی را با ریاضیات قرین کند.

نیوتون در شرح قوانین کپلر به این‌گونه عمل می‌کند:

۱. همه سیارات در مداری بیضی گون به دور خورشید می‌گردند به طوریکه خورشید در یکی از کانونهای بیضی قرار دارد.

اولاً بیضی مکان هندسی نقاطی است که مجموع فواصل آن نقاط تا دو نقطه ثابت F', F مقداری ثابت است مثلاً B



$$e = \frac{c}{a}$$

$$BF + BF' = 2a \rightarrow BF = B'F' \rightarrow BF = a$$

$$BF^2 = OF^2 + OB^2 \rightarrow a^2 = c^2 + b^2$$

$$\Longrightarrow a^2 = b^2 + a^2e^2 \Rightarrow b^2 = (1 - e^2)a^2$$

$$c = ae \; c = ae$$

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$

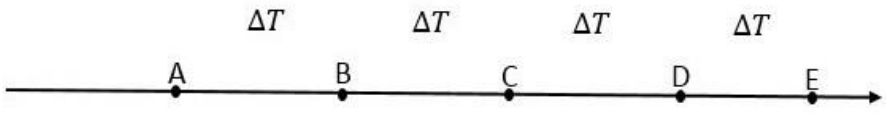
از طرفی نیروی جاذبه گرانشی بین ستاره خورشید و سیارات چون تابعی از $\frac{1}{r^2}$ است لذا کنسرواتیو است به علت کنسرواتیو بودن تابع انرژی پتانسیل u وجود دارد که $F = \frac{-du}{dr}$

به علت کنسرواتیو بودن انرژی مکانیکی سیستم پایسته است

$$E = K + U$$

$$-\frac{GMm}{r} = \frac{-du}{dr} \Longrightarrow du = \frac{GMmdr}{r^2} \Longrightarrow u = \frac{-GMm}{r}$$

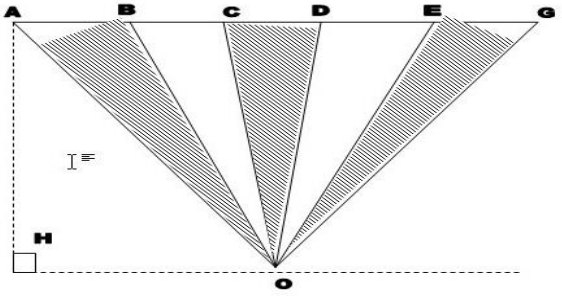
نیوتون عقیده داشت که مسیر طبیعی مستقیم‌الخط سیاره‌ها تحت تأثیر خورشید به صورت منحنی درمی‌آید. او نشان داد که قانون کپلر درباره سطوح فقط و فقط در صورتی می‌تواند درست باشد که نیروهایی که به سیاره اثر می‌کنند فقط از یک نقطه باشد.



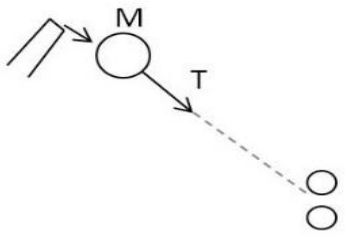
روش استدلال وی به گونه زیر است:

طبق قانون اول اگر چنانچه به جسمی نیرویی وارد نشود با سرعت مستقیم‌الخط یکنواخت مسیر خود را طی می‌کند.

همان‌طور که در شکل فوق دیده می‌شود در زمانهای مساوی مسافتهای مساوی طی می‌شود. حال اگر از دید ناظرO به سیستم نگاه کنیم :

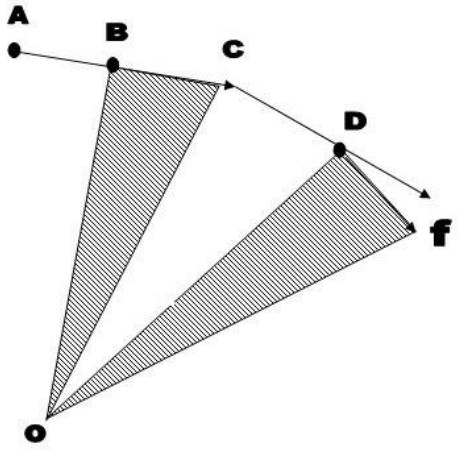


باتوجه به اینکه مساحت مثلث مساوی است با حاصلضرب قاعده در ارتفاع تقسیم بر عدد ۲ برای هر مثلث نظیر $OA^{\Delta}B$ با $OB^{\Delta}C$ و... قاعده‌ها که برابر است و ارتفاع هم OH یکسان است. لاجرم مساحت مثلثها با هم برابر است شگفت آنکه قانون دوم کپلر در مسیرهای مستقیم‌الخط هم صادق است. اما نیوتون بعد از این استدلال عنوان می‌دارد اگر فرض کنیم به جسم متحرک اگر ثابت باشد و در جهت O ضربه‌ای بدان وارد کنیم لاجرم جسم با سرعت ثابت به سوی O شتاب خواهد گرفت.



حال اگر جسم m علاوه بر حرکت مستقیم‌الخط افقی ضربه‌ای هم در جهت O بدان وارد شود لاجرم حرکت آن به گونه زیر خواهد بود .

پس لاجرم حرکت به گونه BR خواهد بود حال دو مثلث $OB^{\Delta}C$ و $OB^{\Delta}R$ را در نظر می‌گیریم قاعده دو مثلث OB می‌باشد که مشترک است و ارتفاع BC برای دو مثلث یکسان است پس می‌توان نتیجه گرفت مساحت‌های داخل آنها نیز مساوی است. و اگر باز ضربه را در نقطه R به سوی O ادامه دهیم.



در این استدلال هندسی پیوسته نیرو را به سمت نقطه معین مانند O وارد کردیم. نیرویی که پیوسته به سمت نقطه معین وارد می‌شود نیروی مرکزی

نامیده می‌شود، توجه داشته باشید که در این استدلال کاری به تغییرات سرعت نسبت به فاصله نداریم. نیوتون آنگاه دریافت که حرکت در مسیر بیضی شکل تنها در صورتی ممکن است که نیروی مرکزی با عکس مربع از بتواند مدارهای مشهود بیضی شکل را که به‌وسیله کپلر شرح داده بود به وجود آورد. نیوتون سرانجام ثابت کرد که وجود چنان نیرویی، قانون دوره‌های گردش را ثابت می‌کند.

$$\alpha = rw^2 \Rightarrow \alpha = r\frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$\Longrightarrow \alpha = r\frac{4\pi^2}{Kr^3} \Rightarrow \alpha\frac{4\pi^2}{Kr^2}$$

قانون سوم کپلر: $\frac{T^2}{R^3} = K \Longrightarrow T^2 = KR^3$

نیوتون ثابت کرد که این نتیجه درباره همه بیضی‌ها هم صدق می‌کند. درواقع درباره هر جسمی که در مداری به هر یک چاه پتانسیل می‌گردد صدق می‌کند. نیوتون شواهد بیشتری هم از مشاهده‌های تلسکوپی قمرهای مشتری و زحل در دست داشته قمرهای هر سیاره وقتی که سیاره را در مرکز بپنداریم از قانون کپلر دربارهٔ سطوح پیروی می‌کند برای قمرهای مشتری، قانون کپلر دربارهٔ دوره گردش ثابت $K = {}^{T^2}/_{R^3}$ صدق می‌کرد اما اندازهٔ K با اندازه‌ای که برای سیاره‌های به دور خورشید به دست می‌آید متفاوت است و برای اقمار زحل هم به همین روش.

$$maw^2 = \frac{GmM}{a^2} \rightarrow ma^3w^2 = GmM$$

$$\text{↳ } ma^3\frac{4\pi^2}{T^2} = GmM$$

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

قانون گرانش عمومی

فیزیک یعنی علم تعمیم ها، یعنی اینکه آنچه را که در زمین تجربه می‌کنیم در آسمان و دیگر جاهای دنیا نیز چنین مساله‌ای وجود دارد. به نوشته ی از یکی از دوستان نیوتون به نام ویلیام استیوکلی توجه کنید:

«... پس از آن، وقتی که مفهوم جاذبه به ذهن او رسیده بود، درست در همین شرایط وقتی که به فکر فرو رفته بود سیبی از درخت افتاد و این سبب شد که مفهوم جاذبه به ذهنش راه یابد او با خود اندیشید که چرا سیب باید همواره به طور قائم به زمین سقوط کند و چرا نباید به صورت مایل بیفتد یا به طرف بالا برود و پیوسته به جانب مرکز زمین حرکت می‌کند؟»

و سپس خود نیوتون در کتاب اصول می‌نویسد:

«به این نتیجه رسیدم که نیرویی که سیاره‌ها را در مدارشان نگه می‌دارد باید با عکس مجذور فاصله‌های آنها از مراکز گردششان متناسب باشد و از آنجا نیروی لازم برای نگه‌داشتن ماه در مدارش به دور زمین با نیروی جاذبه در سطح زمین مقایسه کردم و نتیجه تقریباً همان بود...» همان‌طور که دیده می‌شود تجربه‌ای در زمین را برای ماه گسترش می‌دهد و روش کار به قرار زیر است: اطلاعاتی که در اختیار داشت نشان می‌داد که فاصله مرکز زمین از مرکز ماه در حدود ۶۰ برابر شعاع زمین است نیوتون معتقد بود که نیروی جاذبه به نسبت $1/R^2$ تغییر می‌کند بنابراین شتاب گرانشی زمین بر ماه می‌بایست فقط $(\frac{1}{(60)^2})$ یا $\frac{1}{3600}$ مقدار نزدیک زمین باشد، مشاهده سقوط اجسام مدتها پیش از آن مشخص کرده بود که شتاب گرانشی در سطح زمین حدود $9/80\ m/s^2$ است بنابراین ماه باید با $(\frac{1}{3600})$ آن مقدار شتاب، یعنی $(\frac{9/80}{36000})\ m/s^2$ یا $2/72 \times 10^{-3}\ m/s^2$

سقوط کند نیوتون با این آگاهی که دور گردش مداری ماه به تقریب ۲۷/۳۳ روز است به محاسبه پرداخت شتاب مرکزگرای α جسمی که به‌طور یکنواخت با دور گردش T در دایره‌ای به شعاع R حرکت می‌کند برابر است با $x = xw^2$ یعنی $\alpha = r\,{}^{4\pi^2}/_{T^2}$ با جایگزین کردن مقادیر معلوم کمیتهای R و T (برحسب متر و ثانیه) درمی‌یابیم شتاب مشهود برابر است با:

$$\alpha = 2/74 \times 10^{-3}\,{}^{m}/_{s^2}$$

این مقدار با مقدار که ${}^{m}/_{s^2} \times 10^{-3}\,2/72$ که در بالا پیش‌بینی شده بود در توافق بود. بنابراین نیرویی که ماه را در مدارش نگه می‌دارد در سطح زمین با نیروی گرانش که در اجسام سنگین مشاهده می‌شود برابر است. پس نیرویی که ماه را در مدارش نگه می‌دارد همان نیروئی است که ما عموماً آن را گرانش می‌خوانیم.

نیوتون اثبات کرد که به‌وسیله همین نیروی گرانش می‌توان مدار تمام سیارات و دلیل حرکتهای آنها را توضیح داد و احتیاج به هیچ فرضیهٔ دیگری نیست. نه آنچه کپلر ادعا داشت مغناطیس و نه آنچه دکارت ادعا می‌کردند گردابهای خاص سیالات کیهانی بلکه فقط جاذبه. صحبت از چرائی حرکت بود و نیروها، نه چیستی آنها.

قانون کلی گرانش

این گزارهٔ عام که نیروهای گرانشی به طور جهانی وجود دارند اکنون باید به صورت یک قانون کمی در آید به عبارتی نیاز داریم که هم بزرگی و هم جهت نیروهایی را که هر دو جسم بر یکدیگر اعمال می‌کنند بدست آوریم. نیوتون می‌خواست نشان دهد که چگونه می‌توان این نیروها را به روش مستقیم با

غیرمستقیم اندازه‌گیری کرد. حال برای روش تحقیق می‌بایست مشخص کرد که نیروی مثلاً بین ماه و زمین، فاصله دو جرم را از مرکز بگیریم یا دو سطح، علیرغم آنکه شعاع این دو جرم در مقایسه با فاصله آن دو جرم قابل صرف نظر کردن بود ولی به هر حال در محاسبات دقیق لازم می‌نمود نیوتون چندین سال از عمرش را به مطالعه این موضوع صرف کرد و لاجرم موفق به حل مسئله شد مفهومی به نام مرکز جرم، می‌توان برای محاسبات، مجموع جرم یک جسم را در مرکز آن متمرکز دانست و نسبت به مرکز، آن مسائل را حل کرد مثلاً کل جرم زمین را در مرکز زمین و کل جرم ماه را در مرکز ماه در نظر گرفت. پس فاصله R فاصله بین مراکز دو جرم است. حال مسئله دیگر اینجاست نیرویی که بین دو جرم مبادله می‌شود با خود اجرام چه تناسبی دارد مثلاً خورشید و مشتری، فرض کنیم یک کیلوگرم از ماده خورشید و یک کیلوگرم از ماده مشتری را داریم که در همین فاصله بین خورشید و مشتری واقع هستند این دو جرم به هم نیروئی وارد می‌کنند مساوی با هم $M_A \leftrightarrows M_B$

حال نیروئی که بین دو جرم رد و بدل می‌شود با هم مساوی است حال یکی از دو طرف را ۱۰۰۰ برابر زیاد می‌کنیم مثلاً طرف A را قسمت M_A، ۱۰۰۰ برابر نیروی بیشتری بر سیستم وارد می‌کند و m_B را با نیروی بیشتری به سوی خود می‌کشد. هر چه مقدار جرمی که جذب می‌کند بیشتر باشد جرمی هم که جذب می‌شود بیشتر است هر چند نیروهای دوسویه جاذبه در بزرگی برابرند شتابهای حاصل برابر نیستند مشتری خورشید را با همان شدتی جذب می‌کند که خورشید مشتری را جذب می‌کند. اما خورشید تنها با شتابی معادل $\frac{1}{1000}$ شتاب مشتری به نیرو پاسخ می‌دهد زیرا از سی آن ۱۰۰۰ بار بیش از اینرسی مشتری است. نیروی گرانشی که بر اثر کنش خورشید بر سیاره وارد می‌شود برابر نیروی گرانش است که سیاره بر خورشید وارد می‌کند، نیروی گرانشی وارد بر یک سیاره از طرف

خورشید با جرم سیاره متناسب است و به همین ترتیب نیروی گرانش وارد بر خورشید از طرف سیاره با جرم خورشید متناسب است پس نتیجه به دست می‌آید که اندازه نیروی گرانش با جرم خورشید و جرم سیاره متناسب است. یعنی جاذبه گرانشی میان دو جسم با حاصلضرب جرمهای آنها متناسب است اگر جرم یکی از دو جسم سه برابر شود، نیرو نیز سه برابر می‌شود و اگر جرم هر دو، سه برابر شود نیرو ۹ برابر می‌شود پس

$$F_g \alpha\ m_p m_s$$

از طرفی می‌دانیم جاذبه به مربع فاصله میان مراکز دو جسم بستگی دارد پس

$$F_g \alpha \frac{m_p \times m_s}{R^2}$$

این تناسب را می‌توان با وارد کردن یک ضریب ثابت به صورت یک معادله درآورد

$$F_g = G \frac{m_p \times m_s}{R^2}$$

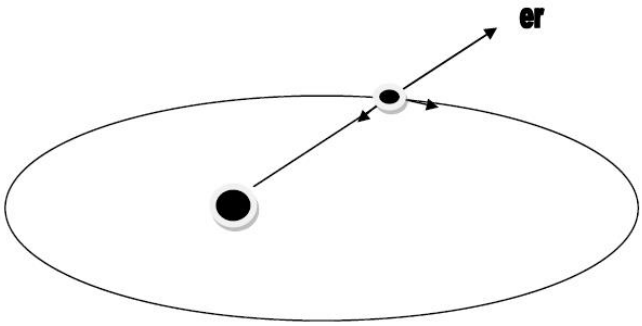
این معادله مشخص می‌کند که نیروی میان خورشید و هر سیاره فقط به سه عامل بستگی دارد که عبارتند از: جرم خورشید، جرم سیاره و فاصله بین خورشید و سیاره، باتوجه به پیچیدگی حرکت سیارات رسیدن به این معادله ساده با واردکردنی نیست و جالب اینکه سه قانون کپلر از این معادله استنتاج می‌شود.

قانون اول کپلر:

$$N = \vec{r} \times \vec{f}$$

$$\vec{f} = \frac{-GMm}{r^2} e_r$$

$$N = \vec{r} \times \frac{GMm}{r^2} e_r = 0 \Longrightarrow N = 0 \Longrightarrow N = \frac{dl}{dt} \Longrightarrow L = \text{ثابت}$$



مقدار L ثابت است لاجرم سیاره روی یک سطح دو بعدی و در یک صفحه حرکت می‌کند چون جهت تکانه زاویه‌ای عمود بر سطح دوران سیاره است.

قانون دوم کپلر

$L = mr^2\theta^\circ =$ ثابت

$$L = \frac{2mr\ r\theta^\circ}{2} \Longrightarrow \frac{2mr(r\theta^\circ)}{2}$$

r شعاع $r\theta^\circ$ مسافت طی شده در ثانیه پس

$\frac{r(r\theta^\circ)}{2} =$ مساحت مثلث طی شده در واحد زمان

که مقداری ثابت است.

قانون سوم کپلر:

$$f = ma \Longrightarrow \frac{GM_\odot m}{a^2} = maw^2 \Longrightarrow a^3w^2 = GM_\odot$$

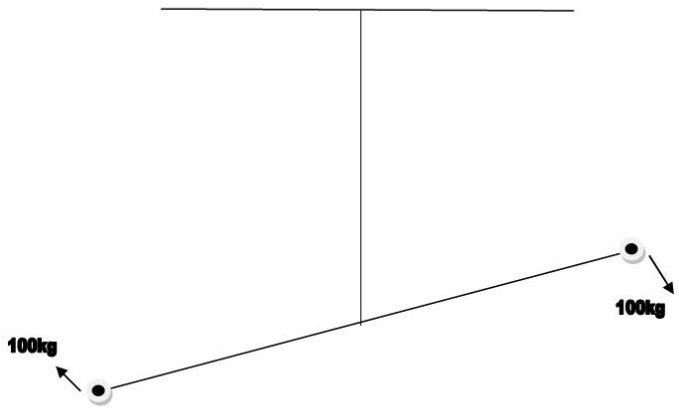
$$a^3 \times \frac{4\pi^2}{T^2} = GM \Longrightarrow \frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_\odot}$$

که همان‌طور که در بالا دیده می‌شود از قانون دوم نیوتون استفاده شده و در جمله دوم به جای نیرو، نیروی کلی گرانش و به جای شتاب، شتاب جسم در یک

جسم دوار قرار داده شده و با جای‌گزین کردن سرعت زاویه‌ای با معادل آن در عبارت وابسته به بسامد قانون سوم کپلر استنتاج شده است آنچه قابل ذکر است این واقعیت است که در قسمت ثابت با داشتن مقدار بسامد سیارات و فاصله متوسط آنها تا خورشید می‌توان جرم خورشید را محاسبه کرد.

بدست آوردن G

دغدغه اصلی در رابطه سوم کپلر بدست آوردن خود G است اگر جرم سیارات یا خورشید را داشته باشیم می‌توان آن را تعیین کرد ولی نداریم! یا نداشتیم! در زمان خود نیوتون ابزار کار مناسبی برای این مهم در دست نبود تا اینکه بعد از نیوتون فردی به نام کاوندیش ابزار را طراحی کرد تا G را اندازه‌گیری کند ابزار کاوندیش متشکل از یک ترازوی پیچشی و چهار گوی ۲ یک کیلوگرمی و ۲، ۱۰۰ کیلوگرمی بود.



که به گونه‌ای طراحی شده بود که در اثر قرار گرفتن گویهای ۱۰۰kg در کنار ترازو و پیچشی در آن حاصل می‌شد و با اندازه‌گیری آن پیچش مقادیر G حاصل

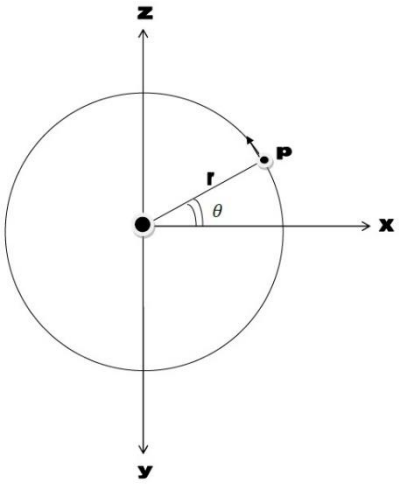
می‌شد، در این ابتکار مقدار G، $10^{-10}\frac{N.m^2}{\mathrm{kg}^2}$ بدست آمد که با استمرار آزمایشات به مقدار: $G = 6/67 \times 10^{-11}\frac{N.m^2}{kg^2}$ سوق پیدا کرد. با محاسبه G، جرم سیارات و خورشید محاسبه شده به روی هم جرم سیارات اندکی بیش از $\frac{1}{1000}$ جرم منظومه شمسی است و قسمت اعظم جرم در خورشید نهفته است لاجرم خورشید بر حرکت سیارات حاکم است و تقریباً مانند یک جسم بسیار پرجرم و پابرجا عمل می‌کند. در پرتو قانون سوم نیوتون باید اندکی این تصویر را اصلاح کنیم. به ازای هر کشش که خورشید بر یک سیاره وارد می‌دارد. خود نیز تحت اثر کشش با همان شدت در جهت مخالف قرار می‌گیرد. مسلماً همان جرم بسیار بزرگتر خورشید سبب می‌شود که شتاب آن به مراتب کمتر باشد اما درواقع شتاب کوچکی وجود دارد. پس با پذیرش دینامیک نیوتونی خورشید نمی‌تواند در فضا، حتی در منظومه شمسی واقعاً ثابت باشد بلکه اندگی بر گرد مرکز جرم مشترک خورشید و سایر سیارات حرکت می‌کند. و چون سیارات در جاهای مختالف وجود دارند حرکت خورشید در حقیقت ترکیب ۹ بیضی کوچک است. این‌گونه حرکت در یک منظومه شمسی که سیارات نسبتاً بزرگ دارد قابل توجه است هر چند برای منظومه شمسی این طور به نظر نمی‌رسد. معادلات حرکت در حالتی که حرکت سیاره p به جرم m نسبت به خورشید به جرم m باشد. اگر مبداء مختصات o را منطبق بر خورشید و محورهای مختصات را موازی با محورهای مطلق اختیار کنیم خواهیم داشت:

$$\vec{f} = m\vec{a} = m\frac{d^2\overrightarrow{op}}{dt^2} = \frac{km(M+m)\overrightarrow{op}}{(op^3)}$$

چون نیرو مرکزی است پس مسیر مسطح است و ماه مختصات قطبی را در صفحه مسیر به کار می‌بریم: o را قطب و زاویه $\overrightarrow{op}$ را با محور قطبی θ می‌نامیم اگر طول $\overrightarrow{op}$ را به x و اندازه جبری نیرو را روی محور $\overrightarrow{op}$ به f نمایش دهیم

خواهیم داشت:

$$f = -\frac{km(M+m)}{r^2}$$



و یا :

$$f = -\mu\frac{m}{r^2}$$

$$\mu = km\left(1+\frac{m}{M}\right)$$

برای تعیین حرکت می‌توان معادلات حاصل از قانون مساحتها و قضیه انرژی سینتیک را بکار برد:

انرژی سینتیک $\frac{1}{2}mv^2 = \int \vec{f}.d\vec{s} + c \Longrightarrow v^2 = \frac{2}{m}\int f dr + h$

مجموع کارهای نیروهای داخلی و خارجی وارد به هر یک از نقاط دستگاه در یک فاصله زمانی

قضیه مساحتها $r^2\frac{d\theta}{dt} = c$

$$r^2\frac{d\theta}{dt}=c$$
$$V^2=\frac{2}{m}\int -\mu\frac{m}{r^2}dr+h=\frac{2\mu}{r}+h$$

و از طرفی دیگر داریم:

$$V^2=(\frac{dr}{dt})^2+r^2(\frac{d\theta}{dt})^2$$

پس می‌توان نوشت:

$$r^2\frac{d\theta}{dt}=c$$
$$(\frac{dr}{dt})^2+r^2(\frac{d\theta}{dt})^2=\frac{2\mu}{r}+h$$

دستگاه معادلات دیفرانسیل مرتبه اول معادلات حرکت را تشکیل می‌دهد و اما شکل مسیر:

برای تعیین مسیر زمان را حذف می‌کنیم:

$$dt=\frac{r^2d\theta}{c}$$

و با:

$$\frac{c^2}{r^4}(\frac{dr}{d\theta})^2+\frac{c^2}{r^2}=\frac{2\mu}{r}+h$$
$$(d\frac{\frac{1}{r}}{d\theta})^2=-(\frac{1}{r}-\frac{\mu}{c^2})^2\frac{\mu^2}{c^4}+\frac{h}{c^2}$$

و هرگاه مقدار $\frac{\mu^2}{c^4}+\frac{h}{c^2}$ را که مثبت است H^2 بنامیم با تغییر متغیر:

$$\frac{1}{r}-\frac{\mu}{c^2}=u$$

خواهیم داشت:

$$(\frac{du}{d\theta})^2=H^2-u^2$$

و یا :

$$\pm d\theta = \frac{du}{\sqrt{H^2 - U^2}}$$

و از آنجا :

$$\mp(\theta - \theta_\circ) = Ar_C cos\frac{\mu}{H}$$

و با :

$$U = H\,cos(\theta - \theta_\circ)$$

و اگر به جای U و H مقادیر آنها را قرار دهیم نتیجه می‌شود:

$$\frac{1}{r} = \frac{\mu}{c^2}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{c^2 h}{\mu^2}}\; cos(\theta - \theta_\circ)\right]$$

و بالاخره

$$\frac{1}{r} = \frac{1 + e\,cos\,v}{p}$$

به فرض :

$$\left\{\begin{array}{c} p = \frac{c^2}{\mu} \\ e = \sqrt{1 + {c^2 h}/{\mu^2}} = \sqrt{1 + \frac{hp}{\mu}} \\ v = \theta - \theta_\circ \end{array}\right\}$$

معادله $\frac{1}{x} = \frac{1+e\cos v}{p}$ نشان می‌دهد که مسیر یک مقطع مخروطی به کانون o می‌باشد که خروج از مرکز آن e و پارامتر آن p و زاویه شعاع حامل با محور اصلی v می‌باشد نوع این مخروطی بستگی به خروج از مرکز e دارد و طبق رابطه

$$e = \sqrt{1 + \frac{hp}{\mu}}$$

برحسب اینکه h منفی و یا صفر باشد e کوچکتر یا بزرگتر از واحد و یا مساوی واحد خواهد بود یعنی منحنی بستگی به علامت h دارد و داریم:

$$h = v_0^2 - \frac{2\mu}{r_\circ}$$

$x_\circ$ و $v_\circ$ مقادیر x و v در یک لحظه $t_\circ$ می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت:

۱. اگر $v_\circ < \sqrt{\frac{2\mu}{r_\circ}}$ باشد $e < 1, h < 0$ مسیر بیضی است.

۲. اگر $v_\circ = \sqrt{\frac{2\mu}{r_\circ}}$ باشد $e = 1, h = 0$ مسیر سهمی است.

۳. اگر $v_\circ > \sqrt{\frac{2\mu}{r_\circ}}$ باشد $e > 1, h > 0$ مسیر هذلولی است.

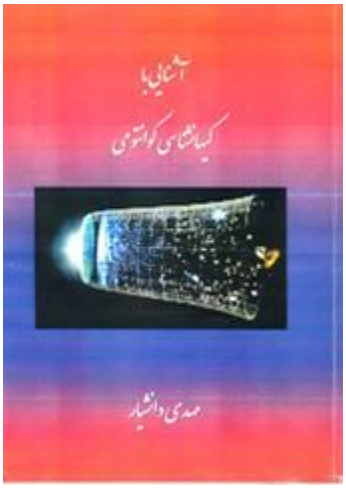
سرعت $v = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$ سرعت یارابلی نامیده می‌شود. و آن برابر سرعت نقطه مادی آزادی است که از فاصله بی‌نهایت دور بدون سرعت اولیه در تحت اثر نیروی جاذبه نیوتونی به سمت خورشید حرکت می‌کند وقتی که به فاصله r از خورشید برسد.

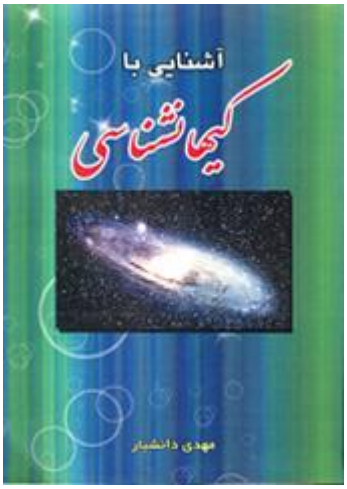
مسیر سیاره را حول خورشید مدار می‌نامند. مدار سیارات و اغلب دنباله‌دارها بیضی است بعضی از دنباله‌دارها دارای مسیر سهمی شکل هستند و در مورد بعضی از دنباله‌دارها دیده شده که خروج از مرکز آنها اندکی از واحد بیشتر است در این حالت مدار شامل شاخه‌ای از هذلولی خواهد بود که تقعر آن به طرف خورشید است.

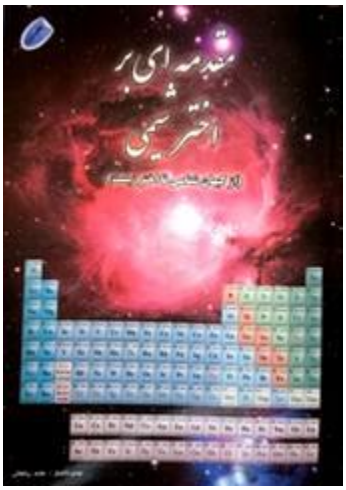
منابع

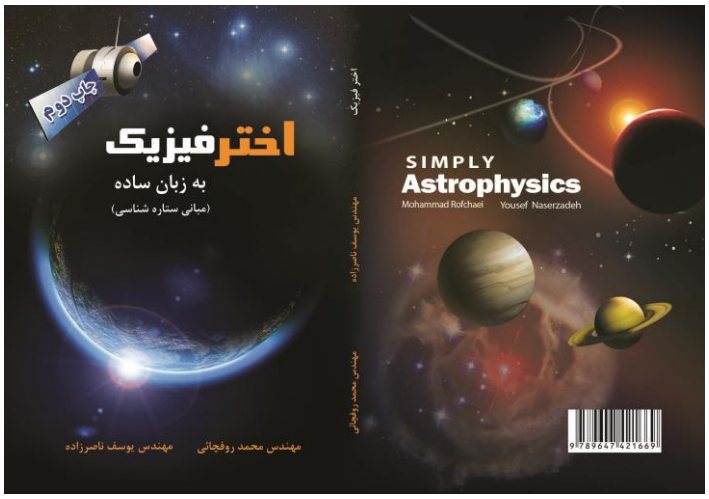
۱. مکانیک سماوی/ دکتر محمدعلی جوانشیر خوئی/ انتشارات دانشگاه تهران.
۲. اختر فیزیک/ دکتر جمشید قنبری/ دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. طرح فیزیک هاروارد/ هولتون/ رادرفورد/ وانسون/ احمد خواجه نصیر طوسی/ انتشارات فاطمی.
۴. شرح مجسطی بطلمیوس/ ابن‌سینا/ مؤسسه انتشاراتی آیت الله مرعشی نجفی.
۵. نجوم دینامیکی/ رابرت دیکسون/ احمد خواجه نصیرالدین طوسی/ نشر دانشگاهی.
۶. مبانی نجوم/شرکت زروان.
۷. مکانیک استدلالی/ پرفسور تقی فاطمی.
8. A.Dan Jon-A stxonomie Genexde et elements de mecanique ce’Lecte.

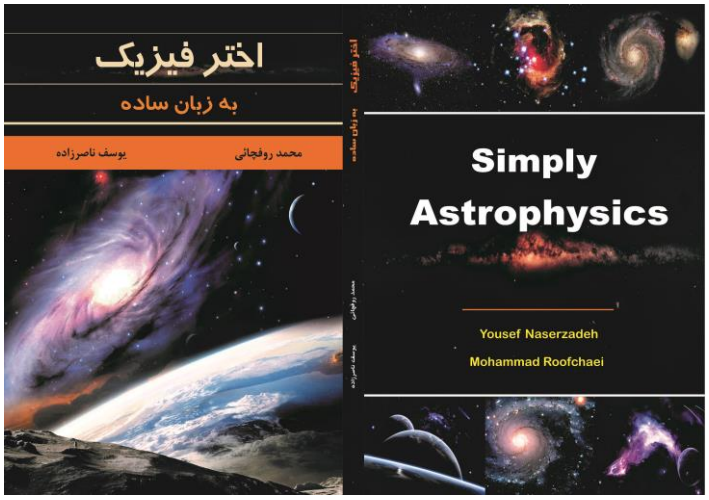
مجموعه کتابهای تالیف شده نویسندگان








چاپ دوم
اخترفیزیک
به زبان ساده
(مبانی ستاره شناسی)
مهندس محمد روفچائی
مهندس یوسف ناصرزاده
اختر فیزیک
مهندس یوسف ناصرزاده
مهندس محمد روفچائی
SIMPLY
Astrophysics
Mohammad Rofchaei
Yousef Naserzadeh
9789647421669


اختر فیزیک
به زبان ساده
محمد روفچائی
یوسف ناصرزاده
اختر فیزیک
به زبان ساده
محمد روفچائی
یوسف ناصرزاده
Simply
Astrophysics
Yousef Naserzadeh
Mohammad Roofchaei

«نمی‌دانم جهان مرا چگونه می‌بیند، اما در نظر خودم، پسر بچه‌ای را می‌مانم که در ساحل دریا بازی می‌کند و گاه با یافتن سنگریزه‌ای صافتر، یا صدفی زیباتر از بقیه‌ی صدفها سرگرم می‌شود، حال آنکه اقیانوس عظیم حقایق نامکشوف پیش روی او گسترده است»

«آیزاک نیوتون»