جهان در حرکت (قسمت دوم)

نویسنده: KENNETH R. LANG, CHARLES A. WHITNEY
برگردان: زلیخا باقری

دانستنیهایی دربارهٔ حرکت سیارات

الف) مسیر حرکت سیارات در آسمان

در میان آسمان کروی که ستارگان در آن به صورت استواری قرار گرفته‌اند، دانشمندان متوجه هفت شیء سرگردانی شدند که در جهت شرق در آسمان در حرکت بودند. آنها عبارتنداز: خورشید، ماه، عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل. هر کدام از این اجسام سرگردان با یک روز در هفته مربوط گردیده‌اند به طوری که در انگلیسی مدرن، ارتباط بین این لیست و اسامی هفته به صورت Sunday, Monday, Saturday آشکار می‌باشد، اما در دیگر زبانها برای نام گذاری روزهای هفته از معیارهای دیگر استفاده گردیده است.

حتی رصدکنندگان باستان نیز متوجه این نکته شدند که تمام این اشیاء سرگردان به یک راه باریکی در آسمان محدود می‌باشند. این راه که به صورت یک کمربند می‌باشند به منطقةالبروج (Zodiac) معروف است و نام لاتین آن نیز از دوران یونان باستان به جای مانده است. مرکز این کمربند، مسیر سالیانه خورشید بوده و باریکی آن نیز (حدود ۹ درجه در هر گوشه از دایرةالبروج) نشان دهنده این است که سیارات تقریباً شبیه یک سنگ مرمر برروی میز حرکت می‌کنند، زیرا سیارات در مدارشان تقریباً هم‌ردیف با یکدیگر قرار دارند.

وقتی که سیارات بیرونی (مریخ، مشتری، زحل، اورانوس، نپتون و پلوتون) در مقابل خورشید و درنزدیکترین حالت به زمین هستند، در آسمان شب درخشانتر به نظر آمده و حرکت آنها به طرف شرق نیز منقطع می‌باشد.

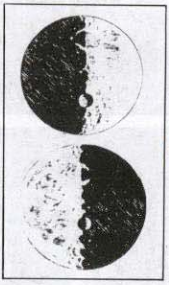
این گونه سیارات در هر چند دقیقه به عقب به سمت غرب برمی‌گردند قبل از این که حرکت به سمت شرق خود را دنبال کنند. این جنبش حلقوی به عقب را حرکت معکوس می‌گویند. لازم به ذکر است این نوع حرکت در مریخ به صورت برجسته می‌باشد زیرا مریخ نزدیکترین سیاره بیرونی است. (نگاره ۱۸). آزمایشاتی که در طول دورانهای قبل و همچنین عصر حاضر درباره این نوع حرکت انجام شده است از نظر تجسم فضایی آن در منظومه شمسی با یکدیگر متفاوت است.

نگاره ۱۸) حلقه‌های مخالف: این تصویر حرکت سیارات را زمانی که از سطح زمین رصد شده، نشان می‌دهد. روشن‌ترین حالت آن زمانی است که آنها در نزدیکترین بخش به خورشید قرار گرفته‌اند. سیارات بیرونی در مدارشان در حالت ایستاده ظاهر شده و قبل از اینکه برروی یک حرکت پیچیده که حرکت خلاف جهت عقربه‌های ساعت نامیده‌می‌شود، ادامه یابند، تغییر جهت می‌دهند. در اینجا حرکات ظاهری در مریخ، مشتری و زحل در آسمان‌نمای مونیخ ثبت شده است.

عده‌ای از یونانیان باستان بر این عقیده بودند که خورشید در مرکز این منظومه سیارات قرار دارد اما دانشمندان و منجمان تا قرن ۱۷ خلاف این

عقیده یعنی مرکزیت زمین را باور داشتند.

مدلهای زمین مرکزی و خورشید مرکزی به طور یکسان توانایی خود را در پیشگوئی رصد وضعیت سیارات نشان دادند. و اکثر منجمان اینطور احساس نمی‌کنند که روش آنها به عنوان یک شیء در حال حرکت برروی زمین عمل می‌کند. (نگاره ۱۹)



نگاره ۱۹) اولین مرحله: این تصویر که به وسیله فرانتیسک کوپکا کشیده شده است، اختلافاتی را در شناخت حرکت آشکار سیارات و یا شاید پیشرفت تدریجی‌ای در شکل آنها را نشان می‌دهد.

بسیاری از تئوریهای عهد باستان دربارهٔ نجوم از این تصور ناشی می‌شد که آسمان کامل بوده و حرکت سیارات مطابق با روشهای فرضی در یک مدار دایره‌ای صورت می‌گیرد. بطلمیوس (در حدود ۱۴۰ قبل از میلادمسیح) موفق به دیدن این نکته شده که حرکت مخالف و موافق سیارات می‌تواند به آرامی به وسیله ترکیب کامل آنها از دایره‌هایی برروی دایره‌های دیگر و یا برروی دایره‌ای که مرکزش روی محیط دایره بزرگتری است و در مدار دایره بزرگتر حرکت می‌کند، پیروی نماید.

در قرن ۱۶، دانشمند دیگری به نام نیکولاس کوپرنیک (۱۵۴۳-۱۴۷۳) به این نتیجه رسید که خورشید در مرکز سیستم سیاره‌ای بوده و به این ترتیب شالوده «حرکت کوپرنیکی» را بنیان نهاد. (در حرکت کره‌های سماوی، ۱۵۴۳). اما کوپرنیک بسیاری از مطالب ارائه شده درباره مکان سیارات را نپذیرفت.

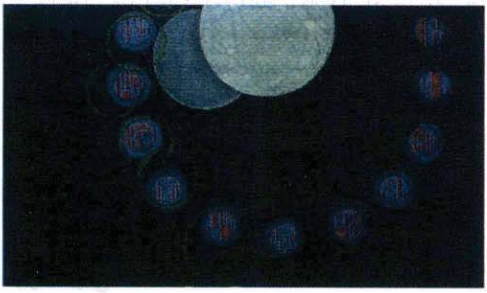
کوپرنیک همچنین قوانین جدیدی دربارهٔ حرکت را پیشنهاد نکرد و اولین تحقیقات در این زمان وسیله یوهان کپلر (۱۶۳۰-۱۵۷۱)، کسی که برای تفسیر رصدهای انجام گرفته توسط تیکو زحمت بسیاری کشید، صورت پذیرفت. کوپرنیک بسیاری از اطلاعات رصد شده را که ممکن بود مدل خورشید مرکزی را ثابت کند، تأئید نمود. و این یک موفقیت برای گالیله محسوب می‌شد. اما کتاب کوپرنیک به عنوان سمبلی از افلاک جدید را مطرح کرد، منظره‌ای که سرانجام زمین و سیارت را در قلمرو زمین خاکی متصل می‌کرد.

اهمیت کتاب کوپرنیک در این است که به ساخت این مدلها اشاره دارد بود، نه آنکه به شرح مدلش آن برای محاسبه چرخش سیارات بپردازد. او راه جدیدی به سوی مدلهای سیاره‌ای به عنوان تئوریها توضیحی بدون کمک از روشهای محاسباتی انحصاری باز کرد. تا وقتی که آنها این رصدها را تطبیق دادند، این مدلها به طول انحصاری و مرحله به مرحله تهیه نگردیدند. به این ترتیب آنها قوانین متحدی را که حرکتهای مکانیکی سیارات را تعیین میکند، پایه گذاری نمودند.

ب) گالیله و فرستنده نجومی‌اش

یکی از پرجاذبه‌ترین کتابها درباره نجوم کتاب فرستنده نجومی است که به وسیله گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴) نوشته شده و در سال ۱۶۱۰ منتشر گردید. در این کتاب گالیله دربارهٔ کشفیاتی که بوسیله چرخش تلسکوپ در آسمان شب برای اولین بار به آنها دست یافته بود، توضیحاتی می‌دهد. در این اثر او سعی می‌کند آسمان را به صورت ملموس برای زمینیان شرح دهد و به این ترتیب فصل جدیدی دربارهٔ نجوم را می‌گشاید. در این کتاب دربارهٔ رصد اجسام در آسمان و این که حرکت آنها فقط در میان ستارگان نمی‌باشد، شرح داده شده است. همچنین خورشید، ماه و سیارات همراه با اقمارشان تبدیل به اجسام فیزیکی شده‌اند. آنها گوهرهای شیشه‌ای نه چندان طویلی بودند که به وسیله پیشینیان تصور شده‌اند. گالیله از کشفیاتی که بدست آورده بود بسیار خوشحال و مشعوف بود زیرا به نظر می‌آمد که دوباره عقاید باستانی مربوط به ارسطو و مدلهای بطلمیوس به او داده شده است.

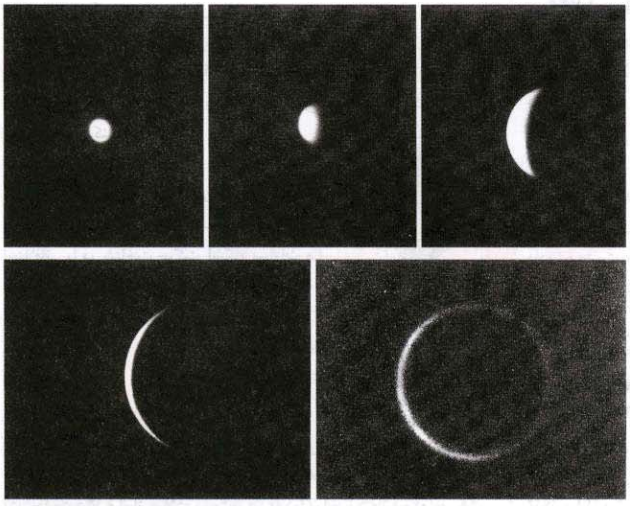
نگاره (۲۰) تعدادی از نقاشی‌های گالیله که براساس رصدهای تلسکوپی‌اش از ماه کشیده شده است را نشان می‌دهد. گالیله بوسیله این تلسکوپ ناقص‌اش (۴a سانتیمتر انکسار)، توانست مراحلی از زهره (نگاره ۲۱) و ۴ قمر بزرگ مدار مشتری را که شبیه یک مدلی از منظومه شمسی است، را کشف نماید. این رصدها، گرایش جدیدی را نسبت به آسمان ایجاد کرده و در آخر نیز حرکت سیارات را به خوبی ستارگان و کهکشان راه شیری توصیف می‌نمایند.



نگاره ۲۰) رصد گالیله‌ای از ماه: طرحهای گالیله طبق رصدهای تلسکوپی‌اش از ماه در سال ۱۶۱۰ انجام شده است. گالیله یک نقشه‌کش و طراح عالی بود. او قادر به نشان دادن سایه دهانه برای اولین بار گردید. توماس هریوت نیز با همان تلسکوپ رصدهایی شبیه به آن را انجام داد اما وجود دهانه‌های آتشفشانی را تائید نکرد.

ج - ایجاد مدارهایی در سیارات

اگر ما بتوانیم منظومه شمسی را از مسیر صورت فلکی شمالی اژدها در خارج از منطقه‌البروج ببینیم، قادر خواهیم بود مدارهایی را که در نزدیکی دایره و سیارات در جهت حرکت عقربه‌های ساعت حول خورشید می‌چرخند را ببینیم. با استفاده از مراحل شناخته شده در سیارات به خوبی



نگاره ۲۱) اشکال زهره: وقتی که قرص کامل زهره کامل است، کوچکتر و دورتر به نظر می‌آید. اندازه آشکار آن حدود ۷ مرتبه بزرگتر از وقتی است که هلال آن در باریکترین حالت خود است که در این زمان زهره در نزدیکترین حالت خود به زمین می‌باشد. پس از آنکه اشکال مشابه به وسیله دوربین کوچکی در سال ۱۶۱۰ رصد گردید گالیله Cynthiae figuras aemulatur mater amorum یا مادر عشق (زهره) را با Cynthia که همان ماه است، مقایسه می‌کند. این اشکال و اختلاف در اندازه‌های نشان داده شده زهره نیز نقش مهمی در اعتقاد گالیله مبنی بر گردش سیارات حول خورشید، ایفا می‌کند.

بعضی از رصدهای ساده از زمین، می‌توانیم اندازه و ترکیبات مدارهایشان را نسبت به اندازه مدار زمین بسنجیم.

چنانچه این عمل انجام شود ما مدلهای یوهان کپلر را در مسیرمان برای کشف قانون حرکت در پیش روی خواهیم داشت.

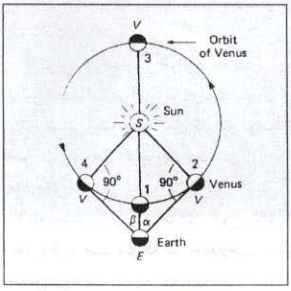
دو راه حل مختلف برای ساخت مدار سیارات موردنیاز است: اولی برای سیارات درونی همانند عطارد و زهره است و دیگری نیز برای سیارات بیرونی است.

در روشهای کپلر هیچ فرضی دربارهٔ مدارها صورت نمی‌پذیرد، اما ما باید پیچیدگی های بی‌اهمیت را به وسیله این فرض که مدار زمین تقریبا مدور بوده و این که مدار سیارات هرکدام در صفحه‌ای مجزا هستند، از بین ببریم.

سیارات میانی

زهره نمونه‌ای ساده از این گونه سیارات می‌باشد. نگاره (۲۲) نمایی از مدار زهره را از قطب شمال از منطقه دایرةالبروج نشان می‌دهد و ما می‌توانیم آن را در تفسیر رصدهایمان درباره زهره مورد استفاده قرار دهیم.

در این جا سه موقعیت نشان داده شده است : ۱) عطف پست ۲) بزرگترین کشیدگی به طرف غرب ۳) عطف بالایی (مسافت زاویه‌ای زهره از خورشید به عنوان نمایی از زمین در بعضی از لحظات به کشیدگی آن نامیده می‌شود). زوایای α, β، مسافت زاویه‌ای زهره از خورشید در بزرگترین کشیدگی هستند. رصدهای انجام شده طی چندین سال نشان دادکه α, βاغلب شبیه به هم هستند. و آن زمانی است که زهره اغلب همان مسافت از خورشید که بزرگترین کشیدگی خود (elongation)است را دارد. این به آن معنی است که این مدار دایره‌ای بوده و بزرگترین کشیدگی‌ها زمانی صورت می‌گیرد که خط خورشید - زهره‌قائم بر خط زمین - زهره است. این پیکربندی (شکل) در بزرگترین کشیدگی را می‌توان به وسیله یک مثلث سه گوشی که یکی از رئوس آن α است ، نشان داد. این زاویه در نگارهٔ (۲۲) بصورت سایه دار می‌باشد. این مثلث قائم‌الزاویه ، خط زمین - خورشید است و جهت مخالف زاویه α نیز خط خورشید - زهره می‌باشد. طول این گوشه یک شعاع نسبی از مدار زهره را ارائه می‌دهد.



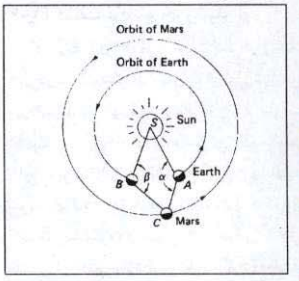
نگاره ۲۲) تعیین اندازه مدار مدور زهره: سیاره زهره‌دارای مدار مدور نزدیکی‌بایک شعاع SV (برون مرکزی تنها ۰/۰۰۶) رصد شده در عطف (۱) و حداکثر کشیدگی (۲ یا ۴) زوایای α, β راکه ممکن است به ساخت مثلث گوشه‌دار سمت راستِ EVS و طول خطوط SV و SE را تعیین نماید. نسبت SV/SE مسافت زهره براساس واحدهای نجومی (A.U.) است. میانگین مسافت بین زمین و خورشید در تعریف برابر ۱ A.U. می‌باشد.

سیاره عطارد در این میان برخلاف بقیه عمل می‌کند زیرا مدار آن دایره‌ای شکل نمی‌باشد و زمانی ما متوجه این حقیقت می‌شویم که این سیاره در نزدیکترین و یادورترین حالت خود نسبت به خورشید در زمانهای

متفاوت از بزرگترین کشیدگی برخوردار است. ما می‌توانیم از این حرکت بیرون از مرکز چشم‌پوشی کرده و جوابی را به وسیله کاربرد روشهای مورد استفاده زهره به دست آوریم. اما اگر ما آرزوی دیدن رأس مدار را داشته باشیم، می‌بایست هر لحظه در بزرگترین کشیدگی به طور جداگانه برروی نمودار نشان داده شود.

سیارات بیرونی

حال می‌خواهیم مدار سیارات بیرونی را تعیین می‌کنیم. البته استفاده از یک روش برای همه کفایت خواهد کرد، و ما در این میان سیاره مریخ را به عنوان مدل درنظر خواهیم گرفت. این مطلب که مریخ به همان مکان خود در فضا بعد طی از یک سال نجومی‌اش مراجعت می‌کند، همانطور که در نگاره(۲۳) نشان داده شده است، مورد استفاده می‌باشد. وقتی زمین در نقطه A قرار دارد ما می‌توانیم زاویهٔ αرا در خورشید - زمین - مریخ رصد کرده و بنابراین منتظر می‌مانیم تا یک سال نجومی مریخی بگذرد.



نگاره ۲۳) یافتن مدار مریخ: در حقیقت این روش زمانی به کار می‌رود که مریخ از همان نقطه در مدارش قبل از یک دوره نجومی ۶۸۷ روزه مراجعت می‌کند. این رصدها از زمین در دو روز به وسیله فاصله زاویه α, β تعیین می‌شود. آنها زاویه بین خورشید و مریخ زمانی که از زمین دیده می‌شوند، هستند. این دو زاویه را می‌توان در ساختن خط AC زمین - مریخ و BC به کار برد. تقاطع‌های آن یک نقطه C در مدار مریخ می‌باشد. تکرار در دیگر جفتها در روزها تفکیک می‌شود که به وسیله همان فاصله مدار میانی مجاز خواهد شد.

حال اگر فرض کنیم در آن زمان زمین در نقطه B قرار دارد، مریخی به محلی که بود برمی‌گردد. بطوری که که اگر ما زاویه جدید B را که شامل خورشید، زمین و مریخ است را اندازه گیری کرده و آن را در مقابل زاویه زمین در دو روز قرار دهیم، خطی را رسم خواهیم کرد که مریخ را به دو قسمت تقسیم میکند، بنابراین ما دو جفت نقطه دیگری را به نام A' و B' انتخاب میکنیم که به وسیله یک سال نجومی مریخی جدا شده و این مرحله همچنان تکرار می‌گردد. (البته نقاط A و A' نیازی به جدا شدن به وسیله یک مدت طولانی نخواهند داشت. تنهافاصلهٔA-Bو A'-B'بحرانی‌است).

اینها شبیه به روشهایی است که کپلر برای نشان دادن ذرات خارجی در سیارات به کار می‌برد. حال ما به قوانینی که او برای شرح نتایج آن ارائه کرده بود، می‌پردازیم.

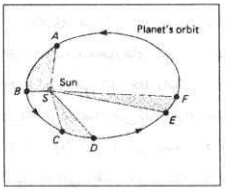
۵-۱) هماهنگی در جهان

منجم دانمارکی تیکو براهه (۱۶۰۱-۱۵۴۶) به امید توسعه و ایجاد بیشترین توصیف در منظومه شمسی، رصدهای زیادی از سیارات انجام داد. البته در زمان او هنوز تلسکوپ مورد استفاده نبود و او از وسایل اندازه گیری ابتکاری خود که شباهت زیادی به تفنگ‌های نشانه گیر با دوایر مدرج داشت، استفاده می‌کرد. وی در تطبیق این رصدها با تئوری سیارات هیچ گاه موفقیتی کسب نکرد اما یوهان کپلر ریاضی‌دان عقیدهٔ دایره‌هایی که مرکزشان روی محیط دایره‌های بزرگتر است و در مدار دایره‌های بزرگتر حرکت می‌کنند را رد کرد. او به تحقیق دربارهٔ تشریح دوره‌هایی از رأس دایره و منشاء فیزیکی در این منحنی، پرداخت و این دومین عامل مهم برای او از آغاز بشمار می‌رفت.

کپلر رأس بیضی شکل یک تخم‌مرغ را مورد آزمایش قرار داد اما آن را نپذیرفت. سپس او به این مطلب دست یافت که می‌توان مدارها را به وسیله بیضی‌هایی با خورشید در یک نظر شرح داد. در نهایت اولین قانون کپلر دربارهٔحرکت سیارات شناخت شد اما معاصران او به وسیله این کشف و بسیاری مسائل دیگر، دچار سردرگمی شده بودند، حتی گالیله نیز این عقیده را بی‌اساس خواند. این بیضی‌ها با سیارات چه ارتباطی دارند؟ و حتی اگر این مسئله که سیارات در یک مسیر بیضی‌شکل حرکت می‌کنند، مورد قبول واقع می‌شد، چقدر این علم می‌توانست دربارهٔ منشاء سیارات، پیشگویی کند.

اولین سؤالی که کپلر نتوانست به آن پاسخ دهد این بود که این بیضی‌ها به تنهایی یک ابزار هندسی محسوب می‌شدند.

او به این مطلب دست یافت که هر کدام از سیارات حول محورشان در حرکت هستند و حرکت آنها در زمانی که به خورشید نزدیک می‌شود، سریعتر است.



نگاره ۲۴) اولین و دومین قانون کپلر: اولین قانون کپلر به این مطلب اشاره دارد که مدار سیارات حول خورشید بیضی شکل است. طبق دومین قانون کپلر، یک خط سیاره را به خورشید در زمان و مکانهای یکسان، متصل می‌کند. این قانون به عنوان قانون محورهای یکسان شناخته شده است. این مسئله به وسیله سه منطقهٔ هاشورزدهٔ ABC و CDS و EFS نشان داده شده است. آن مسافتی را از Aبه B، از C به D و از E به F طی می‌کند. یک سیاره زمانی که در نزدیکترین حالت خود نسبت خورشید قرار دارد، با بیشترین سرعت حرکت می‌کند.

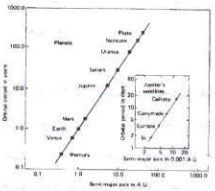
با این حال او توانست این ارتباط را در زمانی که سیارات در یک مسیر بیضوی حرکت می‌کنند، به صورت یک فرم ریاضی (نگارهٔ ۲۴) مشخص نماید. این خط (که در طول خود دارای افزایش و کاهش خواهد بود) در خارج سطح حرکت می‌کند. دومین قانون کپلر بیان کننده این مطلب است که هر سیاره‌ای در خارج از محیط مدارش با سرعت ثابت حرکت می‌کند و این قانون به عنوان قانون محیطهای برابر شناخته شده است.

در طول سه فاصله زمانی مساوی که در نگارهٔ (۲۴) دیده می‌شود، سیاره

از میان قوس‌های متفاوتی عبور می‌کند زیرا مدار آن به سرعت در حال تغییر می‌باشد، اما محیطهای جمع‌آوری شدهٔ بیرونی به طور یکسان هستند.

وقتی سیاره در نزدیکترین حالت خود نسبت به خورشید قرار دارد، می‌بایست سریعتر حرکت نماید. این نقطه حضیض خورشیدی نامیده می‌شود و دورترین فاصله آن، جایی که سیاره در آرامترین حالت خود در حال حرکت است به افلیون معروف است. مسافت بین حضیض خورشیدین و افلیون، قطر اطول در مدار بیضی شکل است. نیمی از این مسافت را نیمه قطر اول می‌نامند و به وسیله a تعیین گردیده است. این نیمه قطر اول بسیار نزدیک به متوسط فاصلهٔ سیاره از خورشید است. در ابتدا این دو قانون صرفاً هندسی بوده و رأس مدار را شرح می‌دادند.

سومین قانون کپلر مربوط به یک سری از سیاراتی است که حول مدارشان پراکنده و با سرعت در حال حرکت هستند. همان طور که در قانون هماهنگی توضیح داده شد، مجذور دوره‌های سیاره‌ای برابر است با مکعب متوسط فاصله آنهااز خورشید. سرعت مدار همراه با افزاش مسافت، کاهش یافته به طوری که نزدیکترین سیارات دارای دوره‌های بلندتر بوده و آرامترین نوع حرکت را دارا می‌باشند. نگارهٔ (۲۵) ارتباط بین این دوره و میزان مدار در سیارات بزرگ و در اقمار روشن مشتری را نشان می‌دهد. مطلبی که در این دوره‌ها استنباط می‌شود این است که، یک خط همراه با شیب مساوی است که مستلزم قانون سوم کپلر است، یک دوره و متوسط فاصله مشخص می‌شود، موقعیت مدار سیاره ممکن است در بعضی از روزها محاسبه شود، موقعیت آن در بقیه روزها نشان می‌دهد.



نگاره ۲۵) سومین قانون کپلر: دوره‌های مداری در سیارات، در حدود نصف محورهای بزرگ آنها را طرح‌ریزی می‌کند. خط راستی که این نقاط را متصل می‌کند دارای شیب ۳/۲ می‌باشد. بنابراین سومین قانون کپلر به این مطلب می‌پردازد که مجذور افزایش دوره‌های مداری با مکعب فاصله سیارات ارتباط دارد. این نوع از چرخش در بسیاری از مدارهای بیضوی به خصوص چهار قمر بزرگ مشتری به کار می‌رود.

هستیِ در جستجوی نظم، کپلر را با عقیده سرچشمهٔ زندگی، در کار بین خورشید و سیارات، هدایت می‌کند. آن یک نیرویی است که ممکن است عامل سرعت بخشیدن به سیارات باشد. حرکت در اجسام پرتاب شده در روی زمین و اعتقاد به شتاب، در قرن ۱۴ مورد بررسی قرار گرفته بود اما کپلر در پایان قرن ۱۶ به طور آشکارا ابتدا این عقاید را در نیرو و شتاب بخشیدن به نیرو و حرکت سیارات مورد استفاده قرار داد. او سیارات را با سنگهای بزرگ مورد مقایسه قرار داد و این طور استنباط کرد که حرکت سیارات و اجسام در زمین به وسیله یک نوع واحد از نیروی منتج شده از خورشید، ترکیب و به هم پیوسته است. او این طور فرض نمود که (به طور نادرست وقتی که آن در جهت خارج بچرخد) نیروی خورشید به طور معکوس با فاصله از خورشید تغییر می‌یابد.اما شکل درست این قانون که کشش جاذبه‌ای به طور معکوس با مجذور فاصله تغییر می‌یابد، به وسیله ایزاک نیوتن در قرن بعد از آن پیشنهاد گردید.

سومین قانون کپلر در حرکت سیارات، به طور ثابت رصدها را مبنا قرار داده بود و به عنوان یک اثر تاریخی از تحقیقات او در قوانین توصیفی مطرح گردید. تحقیقات او یک دورهٔ انتقالی در نجوم را به نمایش گذاشته بود. در دوران او، عقیده به اتخاذ قوانین فیزیکی متداول بود. اما قاعده‌سازی (دستورسازی) در این چنین قوانینی در شروع حرکت و نیرو به طور کافی پایه نگرفته بود. آن برای گالیله و دیگر دانشمندان قرن ۱۶ برای انجام دادن آزمایشات در زمینه شتاب حرکت و پیداکردن کلید آن، باقی ماند.

کپلر و گالیله دو دانشمندی که در حقیقت علم حرکت و چرخش را شروع کردند و این یک حرکت انقلابی بود که در پایان قرن ۱۷ به وسیله تحقیقات نیوتون به اوج خود رسید.

۶-۱) کشف فاصله خورشید

در نیمه قرن ۱۷، توضیحات کپلر در زمینه حرکت سیاره‌ای به عنوان یک مدل در نسبت مسافت سیارات از خورشید مورد قبول واقع گردید. منجمان می‌دانستند که خورشید بسیار دورتر از ماه است . اما آنها هنوز میزان قابل اطمینانی از این فاصله و به عبارتی یک مقیاس واقعی از مدل را به دست نیاورده بودند. آنها دریافتندکه اگر این مسافتها در واحد کیلومتر اندازه گیری شود، آنها قادر خواهند بود میزان فاصله زمین تا خورشید را در واحد کیلومتر بیان کرده و مشکل این مقیاس را حل نمایند. بعد از آن زمان، این مقیاس در تمام مواردمورد اندازه گیری قرار گرفت و این روشها به دو دسته تقسیم گردید.

۱- تعیین محیط مدار زمین برحسب کیلومتر و تقسیم بر 2π

این محیط را می‌توان به وسیله اندازه گیری سرعت مدار زمین در کیلومتر در هر ثانیه و لایه‌های متعدد را به وسیله شمار ثانیه‌ها در یک سال مشخص نمود.

این سرعت حدود ۲۹/۸ کیلومتر در هر ثانیه اندازه گیری گردیدکه در هر گردش به دور زمین مستلزم ۲۲ دقیقه می‌باشد. سرعت لایه‌های متعدد به وسیله شمار ثانیه‌ها در یک سال و تقسیم آن بر 2π می‌باشد که ما آن را به صورت زیر پیدا کرده‌ایم.

میلیون کیلومتر ۱۵۰ = متوسط فاصله زمین تا خورشید

واحد نجومی ۱ =

فاصله از زمین تا خورشید تقریباً ۴۰۰۰ برابر مسافت دور زمین و یا ۴۰۰ برابر مسافت تا ماه است.

۲- تعیین مسافت تا یک سیاره و یا سیارک وهمچنین بیان شعاع مدار خورشید به عنوان یکی از آن مسافتها

دومین روش شبیه به اندازه گیری برحسب مایل، بین دو شهر در یک نقشه و تقسیم آن به وسیله اینچ برروی نقشه برای پیداکردن مقیاس براساس مایل در هر اینچ‌است . در ابتدا به وسیله سه‌گوش سازی در سیارات مجاور و

تعدادی سیارکها از مکانهای نزدیک به خورشید، انجام گردید. اخیراًبوسیلهٔ علائم‌راداری‌فرستاده‌شده‌ازسیارات‌نزدیک‌ولایه‌های‌متعددنیمی‌ازگردشهای مدور زمانی به وسیله سرعت نور، این فاصله موردمحاسبه قرار می‌گیرد.

بهترین میزان رایج در واحد نجومی، ۱۴۹۵۹۷۸۷۰ کیلومتر می‌باشد. به وسیله این میزان، مسافتهای ثابت و میانگین سرعت مداری در سیارات ممکن است محاسبه شود.

فیزیکدان هلندی، کریستین هوین، در «کشفیات آسمانی‌اش» (لندن، ۱۶۹۸) مقیاس سیستم سیارات را براساس پرتاب یک گلوله شرح داده است. او این طور فرض کرد که یک گلوله حدود ۶۰۰ فوت زمانی برابر با ضربان یک سرخرگ طی می‌کند. یک گلوله حدود ۲۵ سال در سفر خواهد بود که از زمین به خورشید برسد در حالی که طی این سفر از مشتری به خورشید مستلزم ۱۲۵ سال می‌باشد و اگر آن را از زحل پرتاب کنیم حدود ۲۵۰ سال طول می‌کشد که به خورشید برسد، اگر ما فرض کنیم که یک ضربان قلب در واحد زمان برابر است با یک ثانیه، میزانهای جدید بدست آمده برابر است با ۲۶، ۱۳۵، ۲۸۷ سال که این میزان مورد قبول است.

۷-۱- سیب نیوتن و قانون جاذبه عمومی

طبق یک عقیده، ایساک نیوتن (۱۷۲۷ - ۱۶۴۳) زیر یک درخت سیب نشسته بود که سیبی از درخت برروی زمین افتاد. در آن موقع این سؤال برای او پیش آمد که قدرت جاذبه به نظر می‌رسد حتی در رأس بلندترین قله نیز تقلیل نمی‌یابد و او تعجب کرد که آیا آن ممکن نیست به ماه برسد. احتمالاً حرکت ماه در یک مدار دایره‌ای را می‌توان به عنوان یک پرتاب به سوی زمین پنداشت.محاسبه نیروی جاذبه زمین از ماه، نیوتن شتاب ماه را نسبت به یک سیب مقایسه کرد. او این طور فرض کرد که ماه در یک مسیر دایره‌ای در حال حرکت است و نشان داد که شتاب سیب حدود ۴۰۰۰ بیشتر از شتاب افتادن به وسیله ماه است. نیوتن به این مطلب توجه کرد که این نسبت برابر است با مجذور نسبت فاصله ماه از مرکز زمین تقسیم بر فاصلهٔ سیب.

$(۴۰۰۰۰۰/۶۳۷۸)^۲ = ۳۹۳۳$

این تساوی او را به این نتیجه که شتاب افتادن با مجذور فاصله ارتباط دارد، رهنمون ساخت.

نتیجه تحقیقات نیوتن را می‌توان به صورت زیر تفسیر نمود. اگر ما میزان شتاب را به عنوان نسبت نیرو بر میزان جرم شتاب در نظر بگیریم، فرمول زیر را برای نیروی جاذبهٔ تحمیل شده به وسیله زمین بر سیب و یا ماه، به دست می‌آوریم.

$$F_{\text{جاذبه}} = GM_m/R^2$$

در این فرمول G جاذبه پایدار عمومی، M جرم زمین، m جرم سیب یا ماه، و R فاصله از مرکز زمین می‌باشد. این فرمول را نیز می‌توان برای قانون هماهنگی کپلر نیز به کار برد. نیوتن این طور فرض کرد که این نیرو بین تمام اجسام در جهان فعال بوده و به این ترتیب او پرش بزرگی به سوی قانونی که ما آن را به عنوان «جاذبه جهانی» می‌شناسیم، انجام داد.

هر کدام از اجسام در جهان، اجسام دیگر را به وسیله نیرویی که در طول یک خط متصل این دو جسم را هدایت می‌کند. این نیرو متناسب با جرم آنها و به بطور معکوس متناسب با مجذور هر کدام از آنها می‌باشد.

در تمام نیروهای شناخته شده در جهان، جاذبه تأثیرش را بر بزرگترین مسافات نشان می‌دهد. این نیرو در فاصله‌های کوتاه بین اتمها در یک بلور چندان مهم نیست اما تأثیر جاذبه بر ستاره‌ها و کهکشان راه شیری را می‌توان در بیان جهان احساس کرد. این حرکت (وضعیت) را می‌توان به دو دلیل ثبت کرد. در اولین دلیل، نیروی جاذبه به نسبت به آرامی کاهش با معکوس جذر فاصله می‌یابد و این قانون، نیروی جاذبه را بزرگتر از نیرویی که هسته‌های یک اتم را با هم نگاه می‌دارد، قرار می‌دهد. اندازه این نیرو به حدی است که از افتادن الکترونهای یک اتم به داخل هسته جلوگیری می‌کند. در دومین مرتبه، جاذبه هیچ گونه تمایل قطبی مثبت و منفی ندارد. در مقایسه با الکتریسیته، در نیروهای دافعه و جاذبه آن در زمرهٔ وزن‌های همسان و غیرهمسان می‌توانند دیگری را کنسل نماید. تأثیر در این حذف برای محافظت نزدیک اتمها از هر نیروی الکتریکی دیگری مؤثر است. (در مکانهای دور شناخته شده) هیچ گونه دفع جاذبه‌ای بین اجسام شبیه به هم وجود ندارد به طوری که هیچ حفاظت جاذبه‌ای نیز نمی‌باشد و تمام اتمها در جهان نسبت به دیگر اتمهای تمایل به جذب دارد. اینها همه دلایلی است که چرا نیروی جاذبه نقشه اصلی را در تعیین مدار سیارات، کنترل دوراخترها (کوازارها)، ایجاد گودالهای سیاه و رویهمرفته تعیین ساختار جهان را ایفا می‌کند.

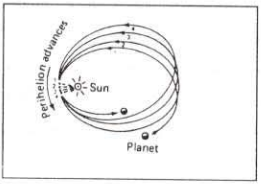
۸-۱- یک تئوری جدید دربارهٔ جاذبه

الف) اغتشاش در عطارد

نزدیک به دو و نیم قرن، منظومه شمسی براساس قانون نیوتن ظاهر شد. مسیر سیارات، سیارکها و حتی ستاره‌های دنباله‌دار با صراحت ظاهر شدند و منجمان زیادی زندگیشان برای حل حرکتهای پیچیده در منظومه شمسی اختصاص دادند.

اما در حرکت عطارد مشکلاتی نیز وجود داشت. قوانین نیوتن در ایجاد رابطه موردانتظار بین اندازه‌های قدیمی وجدید در موقعیت سیاره شکست خوردند. جزئیات آنالیز نشان می‌دهد که جهت گرایش در مدار بیضوی عطارد حدود ۴۳ ثانیه قوس در هر قرن، بیشتر از میزان پیشگویی است (نگاره ۲۶). در هر صورت نقطه نزدیک به خورشید، حضیض خورشیدی، به سرعت پیشرفت می‌کند. ریاضیدان فرانسوی، اوربابن جین جوزف لویر (۱۸۷۷ - ۱۸۱۱) پیشرفت غیرقابل شرحی را در حضیض خورشیدی عطارد کشف کرد. البته او آن را به سیاره ناشناخته‌ای در مدار خورشید، نزدیک به مدار عطارد نسبت داد. این چنین سیاره‌ای می‌بایست برای گرفتن درخشندگی زیاد خورشید با مشکل مواجه شود اما آن ممکن است به صورت یک نقطه تاریک در سطح خورشید به نظر آید. البته منجمان به زودی گزارش دیدن سیاره‌ای در میان خورشید را ارائه دادند، به طوری که لویر متوجه یک سیارهٔ جدید شد و آن را ولکان نامید. اما این خبر نابهنگام بود. این اجسام لکه‌های خورشیدی بودند، که در طول سطح خورشید با

دوره‌های در حدود ۲۷ روز می‌چرخیدند.



نگاره ۲۶) پیشروی در حضیض عطارد: همانطور که در این تصویر نشان داده شده است حضیض خورشیدی در عطارد طبق قانون جاذبه نیوتن، مبتنی بر چرخش آرام یک نقطه است. (حضیض خورشیدی در یک سیاره، نزدیکترین نقطه به خورشید در مدار سیاره می‌باشد). در ابتدا آن را نیروی جاذبه‌ای در یک سیاره ناشناخته به نام ولکان می‌دانستند اما ما می‌دانیم که ولکان وجود خارجی ندارد. حرکت غیرعادی عطارد سرانجام به وسیله تئوری جدید انیشتین دربارهٔ جاذبه که طبق آن خمیدگی خورشید در فضا، حرکت آرام سیاره را در یک مدار بیضی امکان‌پذیر می‌سازد، توضیح داده شده است.

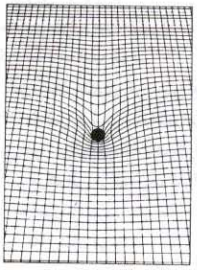
ب) منحنی واحدهای هندسی فضایی، زمان وماده:

با نزدیک شدن مشکل جاذبه و حرکت سیاره‌ای، آلبرت انیشتین (۱۹۵۵ – ۱۸۷۹) آغاز به کاری کرد که آن را سرچشمه هم ارزی می‌نامید: تأثیر جاذبه و شتاب بازگشتی فرمول در تمام نسبتها، معادل وهم ارز هستند.

اصل هم ارزی این مطلب را توضیح می‌دهد که چرا فضانوردان بی‌وزنی را در مدار تجربه می‌کنند. (نگاره ۲۷) وقتی یک فضاپیما به آزادی در فضا پرتاب می‌شود، هر چیزی در داخل فعال می‌شود. در حالی که جاذبه از بین رفته است. انیشتین همچنین قانون کوواریانس (همگردی) را پذیرفت.

نگاره ۲۷) بی‌وزنی در مدار: اولین گردش فضایی در ۷ فوریه ۱۹۸۴ توسط یک متخصص اعزامی به بروس مک کاندلس با یک دوربین ۳۶ میلیمتری و گاز نیتروژنی با فشاری در حدود ۲۴ انجام گرفت.

این اصل حالتی را بیان می‌کند که قوانین نور و ماده به طور عادی به خوبی در فرمول شتاب در بازگشت حفظ خواهد شد. این مسئله نه فقط برای تجدیدنظر در قانون جاذبه نیوتن، بلکه برای یک نسبت بنیادی (وابستگی) جدید بین ماده و فضا او را راهنمایی کرد و نتیجهٔ آن تئوری جهانی نسبیت اوست که یکی از بزرگترین کارها (تئوری‌ها) در علم جدید به شمار می‌رود. به علاوه در تئوری عمومی نسبیت، فضا در مجاورت اجسام غیرعادی جلوه کرده و این خود دلیلی بر جاذبه است. در غیاب این اجسام، فضا غیرعادی بوده و به وسیلهٔ توسعه هندسی توسط ریاضیدان باستان، اقلیدس، شرح داده شده است. در حضور اجسام، فضا نیز پوشش داده شده است و آن به وسیله هندسه اقلیدسی شرح داده شده است. (نگاره ۲۸)



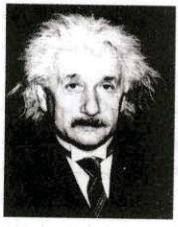
نگاره ۲۸: خمیدگی فضا: یک جسم وزین، خمیدگی کنگره‌داری را برروی فضای اقلیدسی مسطح ایجاد می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که خمیدگی فضا در مناطقی نزدیک به جسم در بیشترین حالت خود می‌باشد زیرا تأثیر اضافی کمتر است.

این نتیجه یک محدوده جاذبه‌ای است که به طور ناچیز از معکوس جذر کامل قانون نیوتن منحرف می‌شود. این انحراف تصویر این که مدار سیارات به طور کامل بیضی شکل نمی‌باشد، را ایجاد می‌کند. و طبق نظریه نسبیت عمومی انیشتین در مورد عطارد، جرم خورشید، دورانی بیشتر در حدود ۴۳ قوس ثانیه در قرن را برای این سیاره مورد می‌گردد. چون تقریباً در فضا خمیدگی به وسیله خورشید که با افزایش مسافت کوچکتر می‌شود، ایجاد می‌گردد و سمت الشمس پیشرفته در دیگر سیارات بسیار کوچکتر از عطارد است. بعضی از اختلافات بین تئوریهای نیوتن و انیشتن در مورد جاذبه در جدول (۲–۱) خلاصه کرده‌ایم.

جدول ۲–۱

۱– جرم، نیرویی به نام جاذبه تولید می‌کند	۲– جرم فضا – زمان غیرعادی جلوه داده و این حرکت منتج شده از یک نیروی فعال پیروی می‌کند
۲– جاذبه در تمام فواصل فعال است	۲– اثرات جاذبه‌ای، سرعت نور را گسترش می‌دهد.

علاوه بر تئوری انیشتین، جاذبه در بعضی از اجسام وزین می‌بایستی در مسیرهای نوری خمیده شود. این یکی از پیشگوییهای معروفی است که در آینده رصد خواهد شد (نگاره ۲۹). همچنین تئوری انیشتین در جاذبه نیاز به توضیح دربارهٔ جزییات در فعل و انفعالات جاذبه‌ای شامل حرکت فضاپیماها، دارد.



نگاره ۲۹) آلبرت انیشتین: پیشگویی او مبنی بر اینکه خورشید نور را خمیده خواهد کرد به وسیله دوبرابر پیش بینی به کاررفته تئوری نیوتن در طول هیئت اعزامی در سال ۱۹۱۹ تائید شده است.