فصل هشتم: نگاهی به فضا

تحولاتی که علوم طبیعی و ریاضی در قرن‌های شانزدهم و هفدهم میلادی به خود دید، تغییراتی شگرف در دید انسان نسبت به کیهان و جایگاه او در عالم پدید آورد. علم نجوم در کانون این تحولات قرار داشت. اما با این همه، این تحولات، مثل هر انقلاب دیگری، در یک شب روی نداد، بلکه مقدمات آن از قرن‌ها پیش آماده شده بود. یعنی از یونانیان بگیرید تا، به‌ویژه، مسلمانان که داده‌های بسیاری از آسمان ثبت کرده، به تفسیر و نظریه‌پردازی پرداخته‌بودند،همه در آغاز آن انقلاب علمی سهمی انکار ناپذیر داشته‌اند.

علم نجوم در گذر تاریخ

شاید برخی نیکولاس کپرنیکوس[1] را آغاز کنندهٔ این تحولات انقلابی در نجومِ جدید آن عصر می‌دانند. چون برخلاف پیشینیان که زمین را مرکز عالم می‌دانستند، او دریافت که خورشید می‌تواند در مرکز عالم باشد. اما وی هم‌چنان در بسیاری از مبانیِ علمی، متکی به نجوم بطلمیوسی و دورهٔ اسلامی بود. مثلا وی کُرویت زمین و روش محاسبات علمی و رصد سیارات را از بطلمیوس[2] و منجمان تمدن اسلامی، آموخته بود.

۱- Nicolaus Copernicus او در سال ۱۴۷۳ میلادی متولد شد و در سال ۱۵۴۳ درگذشت.

۲- کلاودیوس بَطلَمیوس (۹۰ – ۱۶۸ میلادی): یکی از فیلسوفان و اخترشناسان یونان باستان بود که به احتمال زیاد دراسکندریه واقع در مصر می‌زیست. وی الگویی را برای کیهان شناخته شده روزگار خود، که همان منظومهٔ خورشیدی ماست، ارائه کرد که در آن زمین در مرکز گیتی قرار داشت و خورشید و ماه و بقیهٔ سیارات به دورش می‌چرخید.

حال می‌خواهیم در بخشی کوچک از این تاریخ پرفراز و نشیب با دلایل منجمان قدیم دربارهٔ کروی بودن زمین آشنا شویم.

زمینِ کُرَوی

زمین آرام و مهربان ما که همچون فرشی زیر پایمان گسترده شده است، پیش از آن که به موضوع پژوهش‌های خشک علمی مبدل شود، در اسطوره‌های فرهنگ‌های مختلف نقشی درخور توجه داشت و در بعضی اسطوره‌ها نقش خدایِ مادر را بازی می‌کرد.

... و آن زمینِ مسطح و ساکن، هر چند با فراز و نشیب‌هایی در چیستی‌اش همراه بود، اما تا پیش از ظهور انقلابِ علمی به زندگی اسطوره‌ای خود ادامه داد.

کرویت زمین در بسیاری از متون علمی و حتی فلسفی یونان باستان خود را نشان می‌دهد. گویا اولین بار فیثاغورسیان بوده‌اند که کرویت زمین را با مشاهدهٔ سایهٔ دایره‌ای شکل بر روی ماه در زمان خسوف، فهمیده بودند.

فعالیت‌های عملی

? آیا سایه هر شکل مانند خودش است؟

? آیا می‌توانید با کمک یک منبع نور از یک جسم تخت و مسطح سایه‌ای دایره‌وار روی پرده ایجاد کنید؟

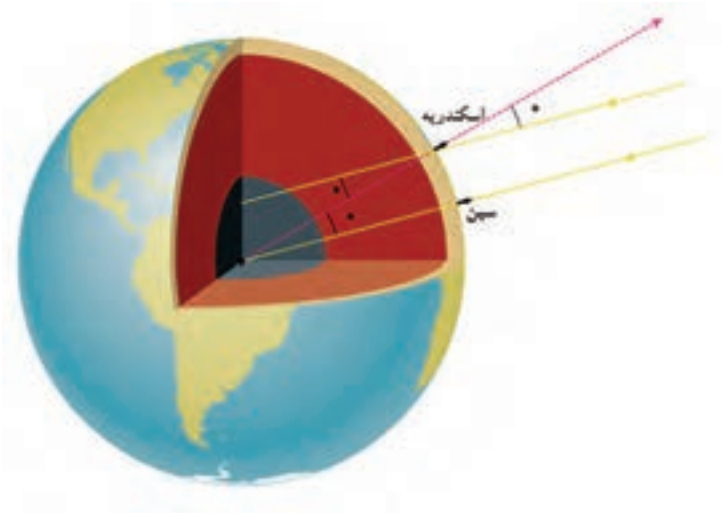
- با کمک یک منبع نور شکل سایهٔ اجسام مختلف را بر روی یک پرده بررسی کنید.

ارسطو نیز در کتاب «*در آسمان*» بر اساس فلسفهٔ طبیعی، کرویت زمین را «اثبات» کرد. البته این نوع اثبات بیشتر از آن که بر مشاهدهٔ استوار باشد، بر اساس قوانین فیزیکی موجود در فلسفهٔ طبیعی ارسطو بود.

بعدها در دوران هلنی[۳] مآبی دانشمندان حتی شعاع زمین را با دقت خیلی خوبی اندازه گرفتند. ریاضی‌دانی به نام اِراتستن (۲۷۶–۱۹۵ ق.م) نه تنها کرویت زمین، بلکه شعاع آن را نیز اندازه گرفت. وی متوجه شد که در یک روز خاص از تابستان، که خورشید بیشترین ارتفاع را در شهر اسکندریه پیدا می‌کند، اما همچنان مایل می‌تابد، در شهری دیگر به نام سین که در جنوب اسکندریه قرار دارد، خورشید چنان عمود می‌تابد که تَهِ چاه‌ها را می‌توان دید. اراتستن نتیجه گرفت که سطح زمین انحنا دارد، و می‌توان از روی تفاوت زاویهٔ خورشید با افق این دو شهر، شعاع این انحنا را بدست آورد.

---

۳ – دوران هلنی از لشکرکشی‌های اسکندر به شرق آغاز می‌شود و از او تا استقرار سلطهٔ روم تا آسیای صغیر و مصر به طول می‌انجامد (از قرن سوم قبل از میلاد تا اول میلادی). با درآمیختگی تمدن شرق و غرب (یونان و خاورمیانه) این دوران هر روز شکوفاتر می‌گردد. برای نخستین بار یک تاریخ‌دان آلمانی در سال ۱۸۳۶ میلادی واژهٔ «هلنیسم» را بکار برد و پس از آن این نام به دوره‌ای از تاریخ سیاسی و فرهنگی و هنری یونان که مشخصهٔ آن پدید آمدن دولت‌ها در مناطق امپراتوری یونان پس از مرگ اسکندر بود، اطلاق گردید. این دوره از سال ۳۳۰ پیش از میلاد تا سال ۲۷ پیش از میلاد حضرت مسیح تداوم یافت.



همان‌طـور کـه در شـکل می‌بینیـد شـعاع‌های نـوری از خورشـید بـه صـورت مـوازی بـه دو شـهر اسـکندریه و سـین می‌رسـند، ولـی در سـین عمـود بـر سـطح زمیـن و در اسـکندریه بـا ۷ درجـه انحـراف. بنابرایـن زمیـن کـروی اسـت و می‌تـوان شـعاع آن را بـا دانسـتن فاصلـهٔ بیـن دو شـهر و روابـط هندسـی محاسـبه کـرد. مقـداری کـه وی بـرای محیـط زمیـن به‌دسـت آورد نزدیـک بـه ۴۰,۲۳۳ کیلومتـر بـود. اکنـون می‌دانیـم محیـط نصـف النهـاری زمیـن نزدیـک بـه ۴۰،۰۰۸ کیلومتـر اسـت.

همان‌گونـه کـه می‌بینیـد ایـن روش نـه تنهـا دقـت بالایـی دارد، بلکـه کامـلاً بـر اسـاس مشـاهدات کمّـی (مشـاهدات قابـل ثبـت، تکرارپذیـر و اندازه‌گیـری کـه اسـاس علـم تجربی‌سـت) و اصـول همـه فهـم هندسـی بنـا شـده اسـت. ایـن سـطح از نبـوغ فکـری بـا ترجمـهٔ متـون یونانـی بـه عربـی[۴]، شـدیداً مـورد اسـتقبال علاقمنـدان بـه علـم در دورهٔ اسـلامی قـرار گرفـت. احتمـالاً همیـن موضـوع کمـک کـرد تـا عقلانیـت مبتنـی بـر تجربـه و ریاضیـات بـه طـور گسـترده مـورد پذیـرش مسـلمانان کـه بـه کسـب علـم توصیـه شـده بودنـد، قـرار گیـرد. ایـن علاقـه و شـیفتگی بـه علـوم تـا حـدی بـود کـه برخـی از فرقه‌هـای اسـلامی ماننـد متکلمـان اشـعری نیـز نمی‌توانسـتند بـه حقانیـت بخش‌هـای ریاضـی و مشـاهداتی نجـوم اعتراضـی داشـته باشـند. بـه عنـوان نمونـه غزالـی بـا تمـام حمله‌هایـی کـه بـه وجـود افـلاک و ماهیـت آنهـا می‌کنـد و اسـتدلال‌های مربـوط بـه آنهـا را سسـت می‌دانـد، ولـی می‌پذیـرد کـه پدیده‌هایـی چـون کسـوف و خسـوف، کرویـت زمیـن و ... کـه توسـط ریاضیـات و هندسـه اثبـات شـده، واقعیـت دارنـد و بـا ظاهـر شـرع نیـز تعارضـی ندارنـد. بنابرایـن کرویـت زمیـن مفهومـی بـود کـه بـه طـور گسـترده در میـان اقشـار مختلـف علمـی و فلسـفی و

۴- در سال ۱۴۱ هجری قمری، در زمان منصور خلیفهٔ دوم عباسی و به راهنمایی خالدبن برمک ایرانی، نقشهٔ بغداد را مهندسان ایرانی طراحی کردند و آن را نزدیک یکی از آبادی‌های قدیم ایران به نام بغداد، به معنای شهر خدا، ساختند. برمکیان آیین کشورداری را همراه خود به بغداد بردند و پایه‌های تمدن اسلامی را بنیان نهادند. بغداد در زمان هارون الرشید به اوج شکوفایی خود رسید. هارون علاوه بر دعوت از دانشمندان، به گردآوری و ترجمهٔ کتاب‌های خطی از زبان یونانی، سریانی و پهلوی به عربی فرمان داد.

پس از هارون، پسرش مامون، بیت‌الحکمه (خانهٔ دانش) بغداد را بنیان نهاد و به ساختن رصدخانه فرمان داد. این کارها باعث جذب دانشمندان از جای‌جای جهان به سوی بغداد و رونق گرفتن آموزش و پژوهش شد. نتیجهٔ این فعالیت‌ها شکوفایی فعالیت‌های علمی و آموزشی در قرن سوم و چهارم هجری شد که از آن با عنوان «عصر طلایی اسلام» یاد می‌شود.

کلامی مورد قبول واقع شد. تا حدی که مفسرین در تفسیر آیات ارض و سماء و فقها در استخراج احکامِ رؤیت هلال ماه این اصل را مسلم می‌پنداشتند. در حالی که در آیات و روایات اسلامی به کروی یا مسطح بودن زمین اشاره‌ای آشکار نشده است.

در این میان منجمانِ مسلمان مباحث مرتبط با کروی بودن زمین را مورد بررسی و کنکاش بیشتری قرار دادند. در قرن سوم هجری برای اولین بار در دورهٔ اسلامی، منجمان به اندازه‌گیری محیط زمین پرداختند. گروهی از منجمان به فرمان مأمون، خلیفهٔ عباسی، با پیاده روی در بیابان و رصد تغییرات ارتفاع ستارگان، محیط زمین را ۴۰۲۴۹ کیلومتر بدست آوردند.

ابوریحان بیرونی[۵] منجم قرن پنجم هجری روشی ساده‌تر برای اندازه‌گیری شعاع کرهٔ زمین پیشنهاد داد. دادهٔ اولیه برای این محاسبه، به جای فاصلهٔ بین دو شهر، ارتفاع یک کوه بود. روش وی در این کار بسیار قابل تحسین است:

زمانی که خورشید در حال غروب است و آخرین شعاع‌های نور خورشید به چشم شما می‌رسد و سپس کاملاً در زیر افق محو می‌شود، می‌توانید دوباره غروب خورشید را ببینید. برای این کار کافی است، بعد از اینکه آخرین نقطه از قرص خورشید غروب کرد، سریعا از جای خود برخیزید! در این صورت دوباره لبهٔ خورشید را خواهید دید که هنوز در زیر افق پنهان نشده است. این پدیده بدین علت روی می‌دهد که بعد از پنهان شدن خورشید در پشت افق، به دلیل کرویت زمین، هنوز خطی که از خورشید می‌آید و بر زمین مماس می‌شود، اگر شما ایستاده باشید، ممکن است به چشم شما برسد و شما دوباره شاهد غروب قسمت‌های بالایی قرص خورشید باشد.

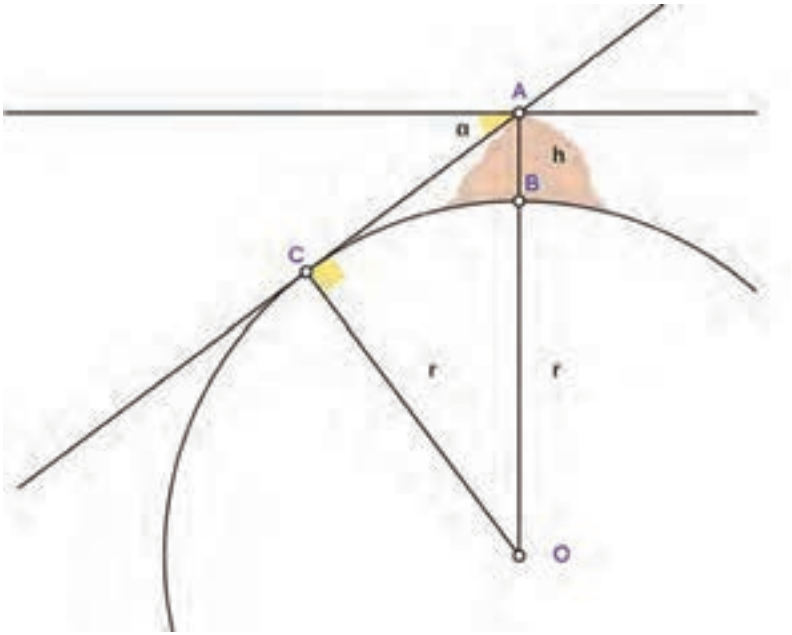
ابوریحان بیرونی از همین پدیده استفاده کرد. ولی به جای اینکه از ارتفاع قد خودش استفاده کند، ارتفاع یک کوه را به‌کار گرفت. اگر زمین مسطح بود، غروب خورشید در تمام نقاط زمین و با هر ارتفاعی در یک لحظه روی می‌داد. اما به دلیل کرویت زمین، اگر غروب خورشید در سطح زمین روی دهد، برای ساکنین نوک کوه‌ها چند دقیقه دیرتر رخ خواهد داد. در واقع همیشه بعد از غروب خورشید می‌توان دید که نوک قله‌های مجاور هنوز روشن است. بیرونی با دانستن ارتفاع یک کوه در محل اقامتش، و رصد این پدیده شعاع کرهٔ زمین را با دقت خوبی به‌دست آورد.

فعالیت‌های عملی

- زمان طلوع و غروب خورشید را در شهرهای مختلف بدست آورید.
- با مقایسه زمان طلوع و یا غروب خورشید در شهرهای هم عرض جغرافیایی چه نتیجه‌ای می گیرید؟
- در شهرهای ساحلی علت اختلاف زمان طلوع یا غروب خورشید چیست؟

۵- ابوریحان محمد بن احمد بیرونی در سال ۳۵۲ خورشیدی در خوارزم به دنیا آمد و در سال ۴۲۷ در غزنین درگذشت. وی دانشمندی ریاضی‌دان،ستاره‌شناس، تقویم‌شناس، انسان‌شناس، هندشناس و تاریخ‌نگارِ بزرگِ ایرانیِ قرون چهارم و پنجم هجری است. بیرونی را بزرگ‌ترین دانشمندِ مسلمان و یکی از بزرگ‌ترین دانشمندانِ ایرانی در همهٔ اعصار می‌دانند. هم‌چنین او را پدرِ انسان‌شناسی و هندشناسی می‌دانند. وی به زبان خوارزمی، زبان فارسی، زبان عربی و زبان سانسکریت مسلط بود و با زبان یونانی باستان، عبری توراتی و زبان سریانی آشنایی داشت. کتاب‌ها و مقاله‌های او را بیش از ۱۴۶ گزارش کرده‌اند. مهم‌ترین آثار او التنجیم در ریاضیات و نجوم، آثار الباقیه در تاریخ و جغرافیا، قانون مسعودی که نوعی دانشنامه‌است و کتاب تحقیق ماللهنددربارهٔ اوضاع این سرزمین از تاریخ و جغرافیا تا عادات و رسوم و طبقات اجتماعی آن.

چنان‌چه در تصویر زیر دیده می‌شود اگر ناظر در نقطهٔ A در قلهٔ کوه قرار داشته باشد، با اندازه‌گیری زاویهٔ α به وسیلهٔ اسطرلاب و ارتفاع کوه h، می‌توان شعاع زمین r را بدست آورد. این روش این مزیت را دارد که به جای اندازه‌گیری نادقیق فواصل بین شهرها، می‌توان ارتفاع کوه را با دقت بیشتری از طریق هندسه و زاویه سنجی به‌دست آورد. بیرونی در کتاب قانون مسعودی، می‌گوید: «من در کوهستان‌های هند مقدار انحطاط افق را رصد کردم و طول هر درجه را تقریبا ۵۷ میل به دست آوردم و اعتمادم به رصد موصل (به فرمان مأمون) بیشتر شد.»



فعالیت‌های عملی

- اگر مقداری که بیرونی برای محیط زمین بدست آورد برابر با ۴۰۴۸۵ کیلومتر باشد. شعاع زمین را چقدر به دست آورده است؟
- این اندازه با مقدار واقعی شعاع زمین در محل اندازه‌گیری او چقدر اختلاف دارد؟
- این مقدار خطا با مقدار واقعی چند درصد اختلاف دارد؟
- چرا اندازه‌گیری فاصله دو شهر با اندازه‌گیری ارتفاع یک کوه خطاهای متفاوتی را به دنبال دارد؟
- طول کلاس خود را چند بار با خط‌کش ۳۰ سانتی‌متری و یک بار به کمک متر بنایی اندازه‌گیری کنید.
- حاصل این دو تفاوتی دارد؟ چرا؟ برای کاهش این تفاوت چه راه حلی دارید؟

تـا این‌جـا تنهـا دربـارهٔ کیهان‌شناسـی علمـی سـخن گفتیـم. بـد نیسـت کمـی هـم بـه کیهان‌شناسـی فلسـفی اشـاره کنیـم. چـرا کـه فلاسـفه از دیـدی کامـلاً متفـاوت بـه کیهان‌شناسـی یـا چگونگـی شـکل عالـم نظـر می‌کردنـد.

فلاسـفهٔ یونانـی از جملـه فیلسـوف مشـهور آن دوره، ارسـطو، در آثـار فلسـفی خـود از جملـه «*درآسـمان*» بـه بحـث کرویـت زمیـن پرداخـت. فلاسـفه از طریقـی کامـلاً متفـاوت بـا ریاضی‌دانـان کرویـی بـودن زمیـن را اثبـات می‌کردنـد. آنهـا بـه جـای اسـتفاده از مشـاهدات و اسـتدلال‌های هندسـی، کـروی بـودن زمیـن را بـر اسـاس علت‌هـای طبیعـی بیـان می‌کردنـد. مثـلا ارسـطو بحـث می‌کنـد کـه زمیـن بایـد کـروی باشـد، چـون زمیـن در مرکـز عالـم قـرار دارد و تمایـل اجسـام بـرای حرکـت بـه سـمت مرکـز عالـم بـا هـم برابـر اسـت. در نتیجـه تمامـی اجـزای زمیـن بـه یـک نسـبت بـه سـمت مرکـز زمیـن (= مرکـز عالـم) متمایل‌انـد و بـه حالـت تعـادل می‌رسـند. بنابرایـن زمیـن بایـد کـروی باشـد. ارسـطو معتقـد بـود کـه معرفـت حقیقـی بـه عالـم از طریـق معرفـت بـه علـل روی می‌دهـد.

خوب است بدانید!

چارپاره- عناصر چهارگانه

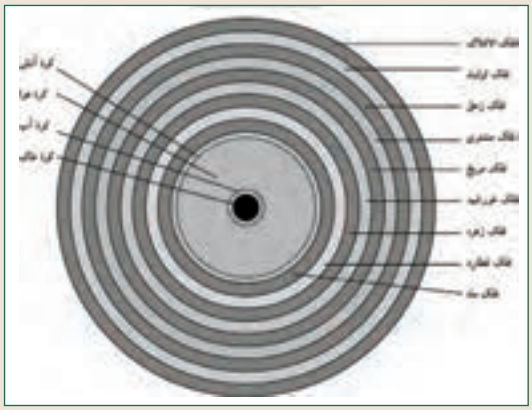
اولیـن مدل‌هایـی کـه بـرای درک حرکـت اجسـام در فیزیـک بنـا نهـاده شـد را ارسـطو[1] (۳۸۴ ق.م. -۳۲۲ ق.م) بیـان کـرد.

در آن زمـان معتقـد بودنـد عالـم (تـا زیـر مـاه) از عناصـر چهارگانـهٔ خـاک (زمیـن)، آب (دریاهـا و اقیانوس‌هـا)، هـوا (جـو) و آتـش سـاخته شـده اسـت. ایـن عناصـر بـه صـورت کراتـی در پیرامـون مرکـز عالـم هسـتند. معمـولاً در تمـام آثـار هیئـت تمـدن اسـلامی شـکل کلـی عالـم بـه صـورت دوایـر تـو در تـو کـه در شـکل بعـد دیـده می‌شـود، نمایـش داده می‌شـد.

ارسـطو موجـودات عالـم را بـر اسـاس سـبکی و سـنگینی تقسـیم کـرد. طبـق طبیعیـات ارسـطویی اجسـام سـنگین اجسـامی هسـتند کـه از آب یـا خـاک سـاخته شـده‌اند و حرکـت طبیعـی آنهـا در مسـیر مسـتقیم بـه سـمت مرکـز عالـم اسـت. اجسـام سـبک اجسـامی هسـتند کـه از هـوا یـا آتـش سـاخته شـده‌اند و حرکـت طبیعـی آنهـا بـه سـمت محیـط عالـم اسـت. آتـش بـه طـور طبیعـی بـه سـمت بـالا حرکـت می‌کنـد و سـنگ بـه طـور طبیعـی بـه سـمت مرکـز عالـم کـه منطبـق بـر مرکـز زمیـن اسـت، سـقوط می‌کنـد. اجسـام زمینـی، حتـی حیوانـات و

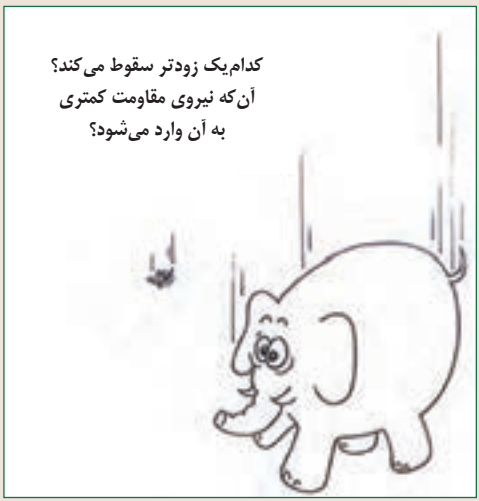
۱- او در سـن هجـده سـالگی بـه آکادمـی افلاطـون راه یافـت و بـه مـدت بیسـت سـال در مکتـب افلاطـون کسـب دانـش کـرد و آموزگاراسـکندر مقدونـی بـود. تالیفـات او در زمینه‌هـا و رشـته‌های گوناگـون من‌جملـه فیزیـک، متافیزیـک، شـعر، زیست‌شناسـی، منطـق، علـم بیـان، سیاسـت، دولـت واخـلاق بوده‌انـد. ارسـطو بـه همـراه سـقراط و افلاطـون از تأثیرگذارتریـن و بزرگتریـن فیلسـوفان یونـان باسـتان بوده‌اسـت.

گیاهـان، از همیـن چهـار عنصـر آب، آتـش، خـاک و هـوا سـاخته شـده‌اند.



بـه طـور خلاصـه او می‌گفـت: «اجسـام از چهـار عنصـر خـاک، آب، بـاد، آتـش تشـکیل شـده اسـت. طبیعـت هـر جسـم را ایـن عناصـر یـا ترکیبـی از آنهـا می‌سـازد. اجسـام بنـا بـه طبیعـت خـود تمایـل دارنـد بـه جایـگاه خـود برسـند. یـک تکـه سـنگ را اگـر رهـا کنیـم بـه زمیـن می‌افتـد، زیـرا سـنگ از خـاک تشـکیل شـده و تمایـل دارد بـه جایـگاه طبیعـی‌اش خـاک – کـه در این‌جـا زمیـن اسـت- برگـردد. ایـن کـه چـرا دود ناشـی از آتـش بـه هـوا مـی‌رود را همین‌گونـه تفسـیر می‌کردنـد. دود را از آتـش می‌دانسـتند بنابرایـن دود تمایـل دارد بـه جایـگاه اصلـی خـود آتـش (بـه بـالا) بـرود.»

ارسـطو دربـارۀ سـقوط اجسـام می‌گفـت کـه هـر چـه جسـم سـنگین‌تر باشـد سـریع‌تر سـقوط می‌کنـد بنابـر ایـن اگـر فیـل و پَـری را بـا هـم رهـا کنیـم، فیـل بـرای رسـیدن بـه زمیـن (طبیعتـش) عجلـۀ بیشـتری دارد چـون سـنگین‌تر اسـت. از طرفـی بخشـی از پـر را هـوا تشـکیل داده بـرای همیـن هـم سـبک اسـت امـا چـون بیشـتر طبیعتـش از خـاک اسـت بالاخـره بـه زمیـن می‌رسـد امـا بـا تنـدی کم‌تـر.



ارسـطو اعتقـاد داشـت حرکـت همـۀ اجسـام بـر روی زمیـن مسـتقیم اسـت یـا رو بـه بـالا یـا رو بـه پاییـن.

امـا نـوع دیگـری حرکت هـم بود که مسـتقیم نبـود، حرکـت اجـرام آسـمانی. آنهـا در مدارهـای دایـره‌ای یـا منحنی‌هایـی حرکـت می‌کردنـد. ویژگـی حرکـت اجـرام آسـمانی تکـرار شـدن آنهـا بـود، گویـی انتهـا و ابتدایـی ندارنـد.

بنابرایـن ارسـطو ادعـا کـرد در آسـمان اتفـاق دیگـری حکم‌فرماسـت کـه ماننـد زمیـن

نیست. او می‌گفت اجرام‌آسمانی از ماده پنجمی به نام اثیر (اِتر) ساخته شده‌اند و هیچ عنصر دیگری در آنها راه ندارد. اجسام زمینی می‌توانند به هم تبدیل شوند، ولی افلاک که از عنصر پنجم ساخته شده‌اند، دارای هیچ ناخالصی‌ای نیستند و تغییر و تحولی در آنها راه ندارد. افلاک و ستارگان هیچ‌گاه متراکم تر یا رقیق تر از آنچه هستند نمی‌شوند. آنها هیچ‌گاه نه بزرگ و کوچک می‌شوند، نه شکافته می‌شوند و نه به هم می‌چسبند. در حقیقت هرگونه تغییری به جز حرکت دورانی برای افلاک ناممکن است.

• آنها اجرام آسمانی را به شکل کره‌های کاملی می‌دانستند که تغییری در آنها رخ نمی‌دهد. آیا می‌توانید بگویید آنها برای تغییراتی که در ماه دیده می‌شود چه توجیهی داشتند؟

ارسطو استدلال می‌کرد که اجسام همگی تمایل دارند ساکن باشند، البته آسمانی‌ها که از عنصر پنجمی ساخته شده‌اند از این قاعده مستثنی بودند. او می‌گفت برای همین هم هست که از توپی را روی زمین رها کنیم بالاخره می‌ایستد.

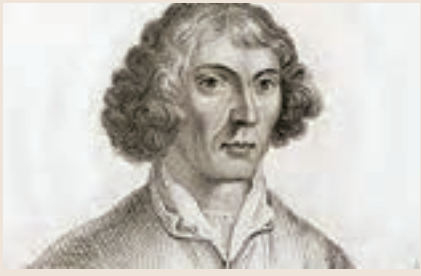
اما او به نوع دیگری از حرکت معتقد بود که به آن حرکت قسری (در برابر واژه طبیعی) می‌گوییم. وقتی شما به توپی لگد می‌زنید یا ماشین‌تان را هل می‌دهید یا در بازی دوست‌تان را به سمت خود می‌کِشید، حرکتی را به جسم دیگری تحمیل می‌کنید که بر خلاف طبیعتش است.

خوب! ممکن است بخواهید از جناب ارسطو پرسشی داشته باشید: چرا وقتی توپم را با دست پرتاب می‌کنم با رها شدن از دستم باز هم می‌رود اما نه مستقیم.

جناب ارسطو هم می‌فرمایند اگر منظورتان این است که عامل حرکت توپ پس از رها شدن از دست شما چیست؟ باید بگویم توپ هوا را می‌شکافد و موجب می‌شود پشت توپ خلاء ایجاد شود هوا به آن سمت هجوم می‌آورد و توپ را به جلو هُل می‌دهد!

شاید این حرف‌ها و این نوع مدل اکنون برای شما کودکانه و باورپذیر نباشد. اما تا ۲۰۰۰ سال چیزی نتوانست آن را نقض کند و یا بهتر از آن پاسخ‌گوی پدیده‌های طبیعت ما باشد.

بنابر این باور زمین به این بزرگی، برای حرکت کردن نیرویی بسیار زیاد لازم دارد، نیرویی که مافوق تصور است، پس جای زمین مناسب است و حرکتی ندارد!



سرانجام در سال ۱۵۴۳ و در روز مرگ نیکولاس کپرنیک کتابی از او چاپ شد به نام «چرخش فلک‌های آسمانی» که در آن او استدلال کرده بود با چرخیدن زمین و دیگر سیاره‌ها و ستاره‌ها

بـه دور خورشـید تحلیـل و توجیـه پدیده‌هـای جـوی آسـان‌تر و سـاده‌تر هسـتند.

او هم از تنبیه کلیسا می‌ترسید و دوست نداشت، آخر عمری گرفتار مجازات و زندان و اعدام و ... شود. هم این‌که خودش هم تهِ دلش تردیدی به کشفش داشت، چرا که هنوز نیوتن و چهارچوب گرانشی‌اش از راه نرسیده بودند و کشف او با مدل‌های روزش جمع‌پذیر نبود...

تا این‌که صد سال بعد، ایزاک نیوتن (۱۶۴۲-۱۷۲۷ میلادی) توانست با مدل گرانشی خود، درستی گفته‌های کپرنیک را هم اثبات کند و هم مدلی جدید به جای عناصر اربعه – خاک، باد، آتش و باد – بنا کند.

فعالیت‌های عملی

- دو تـا سـه پدیـده‌ای را پیـدا کنیـد کـه بـا مـدل ارسـطویی نمی‌تـوان بـه آن پاسـخ قابـل قبولـی داد.

? آیا پدیده‌های درستی را انتخاب کردید؟

? آنها را در کلاس درس به بحث بگذارید.

? مثـلاً اگـر دو گلولـهٔ پارچه‌ایِ یک شـکل را، به نفت یا الکل آغشـته کنیم و یکـی را آتش بزنیم و هـر دو را رهـا کنیم آیا باید با هم سـقوط کنند؟ نظر شـما چیسـت جنـاب افلاطون؟!

ایـن دو نـوع دیـدگاه بیـن فلاسـفه و منجمـان بـا این‌کـه بـه یـک نتیجـهٔ یک‌سـان می‌رسـید نشـان‌دهندهٔ دو روش متفـاوت در مطالعـهٔ طبیعـت بـود. گاهـی فلاسـفه روش‌هـای منجمـان ریاضیـدان را نقـد می‌کردنـد و گاهـی برعکـس.

حتـی گاهـی دانشـمندانی پیـدا می‌شـدند کـه بـا دیدگاهـی باریک‌اندیشـانه بـه نقـد و بررسـی هـر دو روش می‌پرداختنـد. قطب‌الدیـن شـیرازی منجـم قـرن هفتـم هجـری، در آثـار نجومـی خـود روش هندسـیِ ریاضی‌دانـان و روش طبیعـی فلاسـفه را مـورد نقـد قـرار داده اسـت. وی در کتـاب اختیـارات مظفـری، معتقـد اسـت تمـام رصدهایـی کـه تـا بـه حـال بـرای اثبـات کـروی بـودن زمیـن انجـام گرفتـه اسـت، در روی خشـکی‌های شـناخته شـدهٔ زمیـن بـوده، کـه تنهـا یـک ربـع از سـطح زمیـن را فـرا گرفتـه اسـت. تـا بـه حـال هیـچ کسـی بـه سـمت دیگـر زمیـن نرفتـه و از آن‌جـا بـه رصـد نپرداختـه تـا بدانـد آیـا سـطح آن طـرف زمیـن نیـز مسـتدیر و کـروی اسـت یـا نـه. بنابرایـن مـا هیـچ معرفتـی از نظـر هندسـی و رصـدی نسـبت بـه شـکل سـطح زمیـن در نقـاط دیگـر زمیـن نداریـم و نمی‌توانیـم از ایـن نظـر مطمئـن باشـیم کـه زمیـن کامـلاً کـروی اسـت. شـاید طـرف دیگـر زمیـن مربعـی باشـد!

شیرازی انتقادات خود را خطاب به طبیعی‌دان‌ها نیز پی می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد فلاسفهٔ طبیعی، تمایل طبیعی اجزای زمین را به سمت مرکز عالم، علت کرویت زمین می‌دانستند. ولی شیرازی با توجه به دانش کانی‌شناسی و اختلاف چگالی مواد و کانی‌های مختلف و اختلاف آنها در تخلخل این استدلال را نیز مورد نقد قرار می‌دهد. وی می‌گوید درست است که همهٔ اجزای زمین به سمت مرکز تمایل دارند ولی احتمال دارد بخش کوچکی از زمین که چگالی بالایی دارد با بخش بزرگی از زمین که چگالی کمی دارد، در تمایل به سمت مرکز عالم به تعادل برسند. منظور شیرازی این است که امکان دارد زمین کروی نباشد بلکه مثلا سیب‌زمینی شکل باشد، ولی تمایل طبیعی اجزای آن به سمت مرکز، به تعادل رسیده باشد.

این نوع استدلال بسیار قابل توجه و در نوع خود پیشرفته به حساب می‌آمده است. چرا که تا آن زمان به این اندازه بر مشاهده (عنصر و اصل اساسی در علم تجربی) پافشاری نشده بود. در واقع اصل کلام شیرازی این است که باید هر نظریه‌ای بر اساس شواهد و مدارک و مبتنی بر تجربه بیان شود. از سوی دیگر یافته‌های پیشین (به عنوان نمونه علم او از خواص مواد) نیز باید پاسخ‌گوی نظریه زمین کروی باشد، که با استدلال او می‌تواند چنین نباشد، پس باید رفت و دید.

قطب الدین شیرازی:
شاید زمین کروی نباشد ولی ما در قسمتی از آن زندگی می کنیم که شبیه کره است!

پس نباید انتقادات شیرازی را در جهت تخریب علوم نجومی و طبیعی دانست. چرا که این انتقادات از روح دقیق و کنجکاوانهٔ نجوم دورهٔ اسلامی سربرآورده است، و بیش از آنکه مخرب باشند، رشد دهنده‌اند.

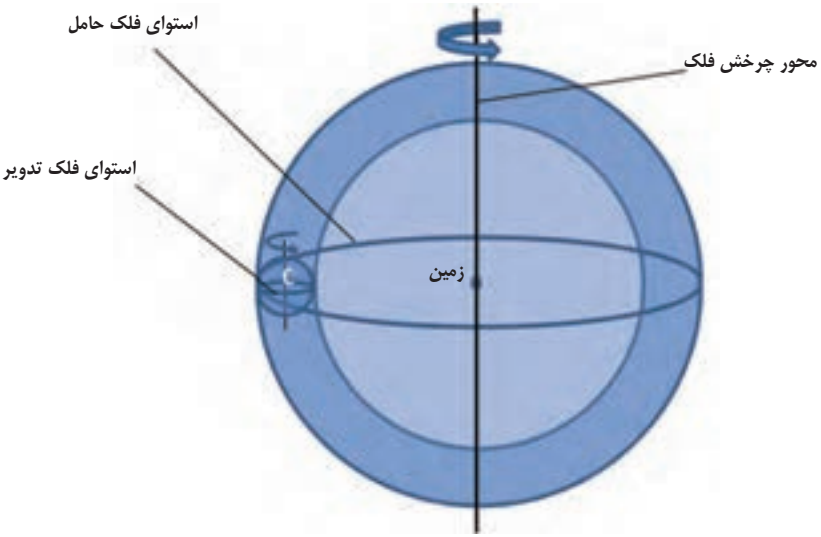
با این‌که در منابع تاریخ علم به طور صریح مشخص شده است که کرویت زمین مفهومی بوده است که قرن‌ها پیش از انقلابِ علمیِ قرن هفدهم میلادی دانسته شده بود، ولی هنوز در تصور عموم دربارهٔ بعضی از سردمداران انقلاب علمی مانند گالیله این تصور وجود دارد که ایشان نخستین کاشف کرویت زمین بودند! در حالی که آنچه این دانشمندان بر آن تأکید داشتند مرکزیت خورشید در عالم و حرکت زمین به دور آن بود، مباحثی که تا پیش از این در نجوم یونانی و اسلامی به دلیل نبود شواهد کافی مردود اعلام شده بود. کپرنیک اولین کسی بود که شواهد بهتری برای مرکزیت خورشید آورد، ولی همان‌طور که گفتیم کپرنیک خیلی چیزها از منجمان قدیم یاد گرفته بود. مثلا وی علاوه بر کرویت زمین، روش محاسبات نجومی و نظریهٔ حرکات سیارات را از بطلمیوس و منجمان اسلامی فراگرفته بود.

بیشتر دانشمندان کیهان‌شناسِ پیش از کپرنیک معتقد بودند که سیارات و ستارگان به وسیلهٔ اجسام کروی جامدی به نام «فلک» که به دور خود می‌گردند و سیارات و ستارگان را با خود می‌گردانند اعتقاد داشت. برای این‌که با بخشی کوچک از نظریه‌های نجومی آن دوره آشنا شویم نیاز است اول بدانیم فلک چه بوده است.

نظریهٔ حرکات سیارات

در دورهٔ اسلامی، منجمان و دانشمندان برای این‌که حرکات پیچیده و به ظاهر نامنظم سیارات و ماه و خورشید را به یک الگوی ریاضی سادهٔ هندسی تبدیل کنند، از مفهوم ساده ولی دقیقِ «فلک»[۶] استفاده می‌کردند. نکتهٔ مهم این‌جا است که ساده‌سازیِ پدیده‌های پیچیده با کمک و تکیه بر اصول سادهٔ ریاضی هدفی است که علم تا به امروز نیز دنبال می‌کند. به عبارت دیگر هرچه یک مدل فیزیکی ساده‌تر باشد از مقبولیت بیشتری برخوردار است در برابر مدلی که آن نیز هم جواب‌گوی چگونگی پدیده مورد نظر است. برای این که این مطلب مهم را بهتر درک کنیم بحث را پیش می‌بریم.

در نجوم باستان و نیز اسلامی افلاک نقش بسیار مهمی به عهده داشتند. «فلک» یک پوستهٔ کروی جامد نامرئی مثل شیشه دانسته می‌شد که با سرعت یکنواخت به دور خود می‌گردد و هر چه را درون ضخامت پوسته‌اش قرار داشته باشد، می‌چرخاند. اگر سیاره را درون پوستهٔ یک فلک فرض کنیم که توسط یک فلک دیگر حرکت داده می‌شود، آنگاه می‌توان حرکت نایکنواخت و بعضاً بازگشتی سیارات را توضیح داد، بدین‌گونه که این افلاک با سرعت‌ها، اندازه‌ها و موقعیت‌های مختلف هم‌دیگر را بچرخانند و حرکات نامنظم سیارات را ایجاد کنند. در شکل زیر یک فلک حامل که یک فلک تدویر را در پوستهٔ خود دارد دیده می‌شود.



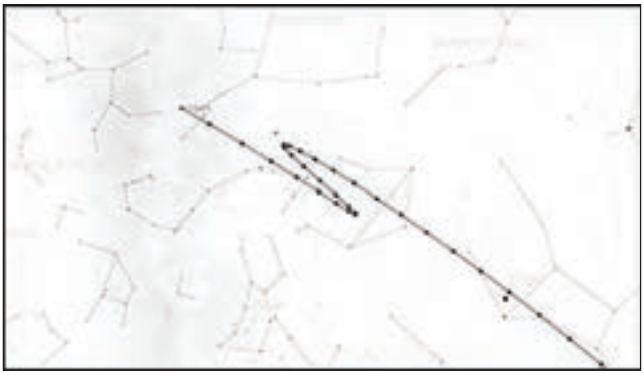
فلک تدویر درون پوستهٔ فلک حامل قرار دارد.

۶- در واقع ما فلک را یک مدل علمی برای توجیه آن‌چه دیده شده است می‌دانیم. مدل‌های علمی تلاش دارند تا پدیده‌های مشاهده شده را توجیه و تفسیر کنند. شاید بتوان گفت مدل خلاصه‌ای از واقعیت مشاهده شده است. به بیان دیگر، نمایش فیزیکی یک شیء یا سیستم (سامانه) را هم (از یک دیدگاه و نگاه خاص) مدل می‌نامند. مدل‌ها، انواع گوناگون داشته (مثل مدل فیزیکی، مدل ریاضی، مدل آماری، مدل گرافی، نرم‌افزاری، و ...) و کاربردهای حیاتی متنوّع و فراوانی در همه زمینه‌های علوم وفن‌آوری دارند. تبدیل یک مفهوم، به زبان تصویر یا ریاضی، نوعی از مدل‌سازی است.

«فلـک» ماننـد هـر مفهـوم علمـی دیگـری یـک موجـود غیرقابـل مشـاهده اسـت کـه دانشـمندان بـا فـرض آن می‌توانسـتند پدیده‌هـای مشـاهده‌پذیر را توضیـح دهنـد. بـه عبـارت دیگـر فلـک مدلـی بـوده اسـت بـرای توجیـه اتفاقـات و پدیده‌هـای نجومـی. مـدل مشـهوری کـه شـما بـه احتمـال زیـاد آن را می‌شناسـید، مـدل منظومـه شمسـی بـرای سـاختار اتمـی اسـت کـه در آن پروتـون را در مرکـز منظومـه، ماننـد خورشـید و الکترون‌هـا را هم‌چـون سـیارات بـه دور آن می‌پنداشـتند.

از ایـن منظـر فلـک در کنـار دیگـر موجـودات مشـاهده‌ناپذیر علمـی مثـل الکتـرون، ژن، نیـروی گرانـش و ... قـرار می‌گیـرد کـه نقـش توضیحـی آنهـا معلـوم می‌کنـد کـه آیـا بایـد وجودشـان را پذیرفـت یـا خیـر. مثـلاً نیـروی گرانـش موجـودی اسـت کـه علـی الاصـول مشـاهده‌ناپذیر اسـت، امـا نیوتـن نشـان داد کـه بـا فـرض آن می‌تـوان سـقوط اجسـام بـه سـمت زمیـن چرخـش سـیارات را توضیـح داد، بنابرایـن دانشـمندان وجـود ایـن نیـرو را پذیرفتنـد. البتـه نیوتـن چارچـوب دقیق‌تـری از گرانـش بیـان کـرد کـه خـارج از حوصلـه بحـث ماسـت[۷].

امـا تـا پیـش از قـرن هفدهـم میـلادی (دهـم هجـری) از کشـف نیـروی گرانـش نیوتنـی (و در واقـع چارچـوب امـروزی آن) خبـری نبـود و نظریـۀ دیگـری بـود کـه علـت سـقوط اجسـام بـه سـمت زمیـن را توضیـح مـی‌داد. بنابرایـن بـرای توضیـح حرکـت نایکنواخـت سـیارات نیـاز بـه نظریـه‌ای بـود کـه بتوانـد رصدهـای دقیـق آن روزگار را توضیـح دهـد. افـلاک سـاده‌ترین موجـودات فیزیکـی (مـدل فیزیکـی) بودنـد کـه می‌توانسـت ایـن حـرکات را توضیـح دهنـد، دانشـمندان ستاره‌شـناس بـا تسـلط بـر خـواص هندسـی دایره‌هـا و کره‌هـا، می‌توانسـتند هـر گونـه برهـان و محاسـبه‌ای را بـر اسـاس ایـن اشـکال انجـام دهنـد.



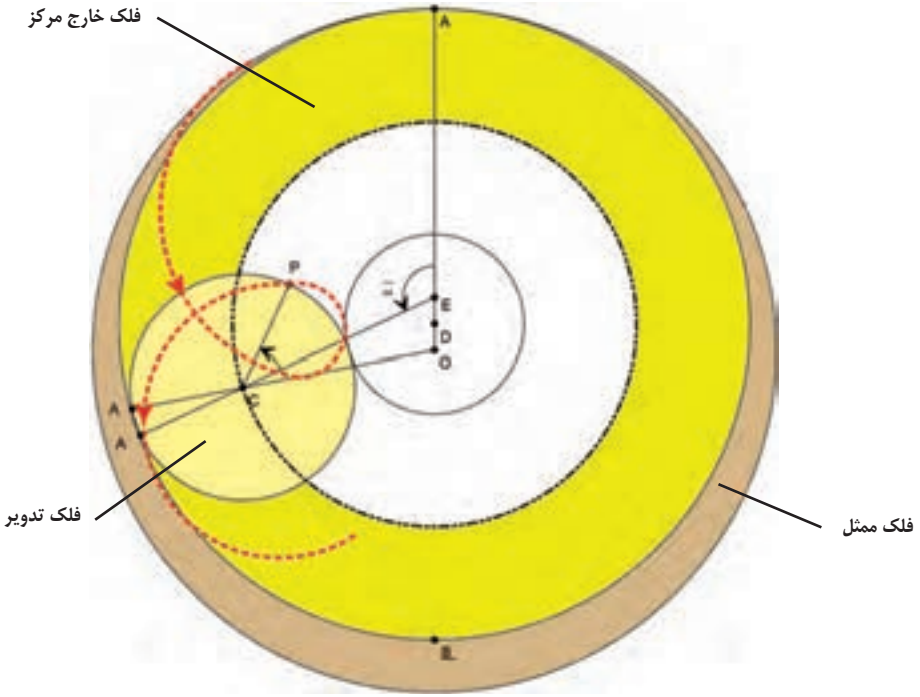
حرکت بازگشتی مریخ در آسمان

بطلمیـوس، نشـان داد کـه بـرای توضیـح ناهنجاری‌هـای حرکتـی سـیارات می‌تـوان از ترکیبـی از فلک‌هـا اسـتفاده کـرد و مدل‌هـای فلکـی خـود را در کتـاب مجسـطی عرضـه کـرد. مثـلاً سـیارات خارجـی، یعنـی مریخ، مشـتری و زحـل، عـلاوه بـر حرکـت روزانـۀ خـود از شـرق بـه غـرب و حرکـت آهسـتۀ خـود از غـرب بـه شـرق،

۷- ایـن کـه اجسـام تقریبـا همگـی بـه زمیـن سـقوط می‌کننـد را همـه دیـده و دیده‌ایم در واقـع نیوتـن دریافت همه اجسـام یک‌دیگـر را جـذب می‌کنند و انـدازه ایـن جـذب یعنـی میـزان نیـروی گرانـش بین دو جـرم، به عواملـی هم‌چون مقـدار جـرم آن دو و فاصلۀ آنهـا از هم بسـتگی دارد.

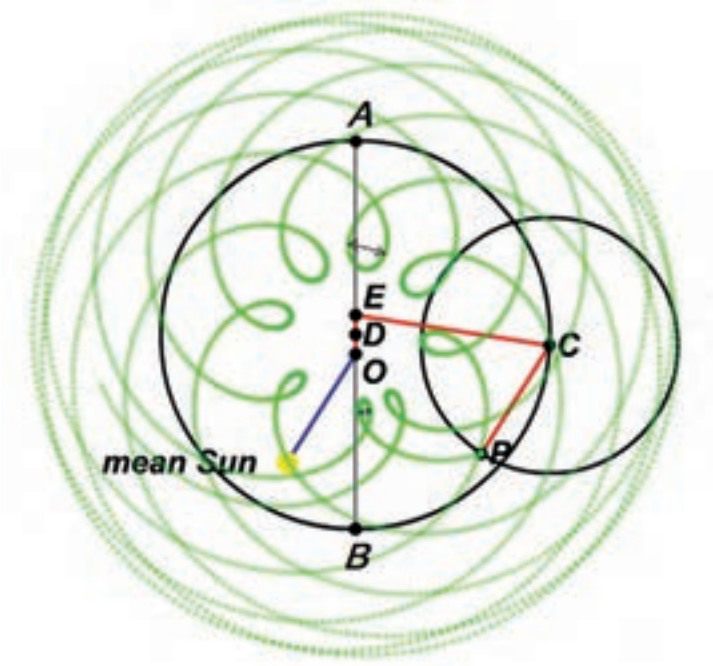
ناهنجاری‌های دیگری نیز نشان می‌دهند: (۱) حرکت بازگشتی، (۲) متغیر بودن فاصلهٔ بین حرکات بازگشتی و (۳) جابجایی نقطهٔ اوج سیاره با حرکت تقدیمی.

بطلمیوس برای توضیح این ناهنجاری‌ها از مدل خارج مرکز و مدل تدویر استفاده کرد که در شکل زیر دیده می‌شوند. در این مدل زمین در نقطهٔ O قرار دارد و سیارهٔ P توسط فلک تدویر به مرکز C در حال چرخش است، در همین حال فلک تدویر نیز توسط فلک حامل به دور مرکز D می‌چرخد. فلک تدویر حرکت بازگشتی را ایجاد می‌کند و فلک خارج مرکز باعث می‌شود که فاصلهٔ ظاهری بین حرکات بازگشتی سیاره تغییر کند. جایی که بیشترین فاصله بین حرکات بازگشتی وجود دارد نقطهٔ اوج A و جایی که کمترین فاصله بین حرکات بازگشتی وجود دارد نقطهٔ حضیض B خوانده می‌شود. علاوه بر این چون همین نقاط اوج و حضیض نیز همراه با حرکت تقدیمی جابه‌جا می‌شوند، نیاز است که کل فلک خارج مرکز نیز توسط فلکی دیگر به مرکز O به نام فلک «مُمَثَّل» گردش کند. بطلمیوس بر اساس اندازه‌گیری‌های موقعیت سیارات توانست مقدار خروج از مرکز (خط OD) و شعاع فلک تدویر (CP) هر کدام از سیارات را محاسبه کند و هم‌چنین سرعت حرکت هر کدام از این افلاک را بدست بیاورد. بنابراین روش بطلمیوس روشی است مبتنی بر رصد، برهان هندسی و محاسبهٔ ریاضی.



مقطع افلاکی که به عقیدهٔ بطلمیوس می‌توانند ناهنجاری‌های حرکتی هر کدام از سیارات خارجی را توضیح دهند. مسیر نقطه‌چین قرمز مسیر نهایی سیارهٔ P را نشان می‌دهد.

بطلمیوس علاوه بر این یک ناهنجاری دیگر را نیز در نظر می‌گیرد: متغیر بودن مقدار بازگشت هر کدام از سیارات، یعنی بر اساس رصدها کمان بازگشت سیارات در نزدیکی نقطهٔ اوج A بزرگ‌تر و در نزدیکی نقطهٔ حضیض B کوچک‌تر است (شکل زیر)، در حالی که توقع می‌رود که این کمان در نزدیکی نقطهٔ اوج به دلیل دوری سیاره از زمین کوچکتر به نظر برسد. بطلمیوس برای توضیح این ناهنجاری فرض می‌کند که سرعت حرکت فلک خارج مرکز متغیر است و در نزدیک نقطهٔ اوج این سرعت کاهش و در نزدیکی نقطهٔ حضیض افزایش پیدا می‌کند. بدین منظور نقطه‌ای را در نظر می‌گیرد که سرعت مرکز فلک تدویر نسبت به آن نقطه یکنواخت باشد. این نقطه در نجوم دورهٔ اسلامی نقطهٔ «مُعدل المَسیر» نامیده می‌شد که در شکل زیر با حرف E نمایش داده شده است. فلک خارج مرکز، فلک تدویر را به نحوی می‌چرخاند که سرعت زاویه‌ای خط EC به دور E همیشه یکنواخت و بدون تغییر باقی می‌ماند. در نتیجه سرعت فلک خارج مرکز زمانی که مرکز تدویر C به اوج A نزدیک می‌شود، کُندتر و زمانی که به حضیض B می‌رسد تندتر می‌شود. بنابراین همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود اندازهٔ کمان بازگشت در این مدل با آنچه رصدها نشان می‌دهند انطباق پیدا می‌کند. بنابراین می‌بینیم که مدل سیاره‌ای بطلمیوس تا چه حدی نسبت به رصدها و اندازه‌گیری‌های تجربی حساس بود، زیرا بطلمیوس تلاش کرده بود در مدلش تا جایی که می‌تواند مشاهدات را دخیل کند.



مجموعهٔ حرکات بازگشتی مریخ. رصدها نشان می‌دهند که مقدار بازگشت مریخ در نزدیکی نقطهٔ اوج A بزرگتر از مقدار بازگشت در نزدیکی نقطهٔ حضیض B است.
بطلمیوس برای توضیح این مشاهده نقطهٔ معدل المسیر را فرض می‌کند تا سرعت فلک حامل را تنظیم کند.

نکته‌ای که باید بدان توجه کرد آن است که بطلمیوس نمی‌توانست برای حرکت سیارات از چیزی به جز افلاک کروی استفاده کند، زیرا چطور می‌شد فرض کرد که سیارات به خودی خود در فضا بدون هیچ دلیلی دارای حرکات مختلف باشند، در حالی که نه نیروی گرانش شناخته شده بود و نه قانون اینرسی معلوم بود. هیچ نیروی دوربردی مثل مغناطیس نیز به اندازهٔ کافی شناخته نشده بود که بتواند حرکات سیارات را ایجاد کند. بنابراین بطلمیوس بهترین توضیحی را که می‌توانست در روزگار خود پیدا کند عرضه داشت، یعنی استفاده از افلاکی که سیارات را با نیروی تماسی حرکت می‌دهند و تنها دارای حرکت طبیعی یکنواخت به دور خود هستند.

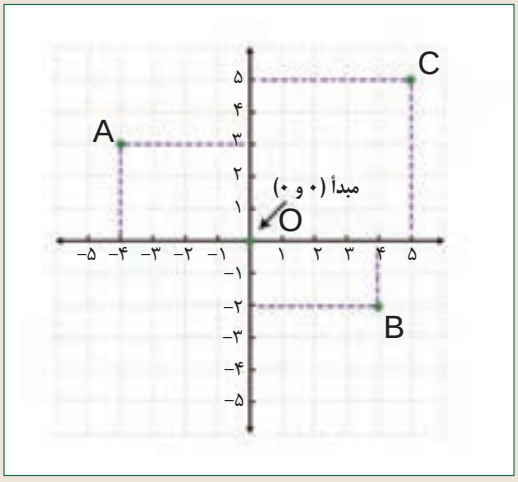
در علم هر چقدر که فرض‌های اولیهٔ کمتر و ساده‌تری وجود داشته باشد، بهتر است. این یکی از اصول روش علمی و تفکر معقول است. این اصلی است که در تمامی پژوهش‌های علمی و فلسفی در طول تاریخ بوده است و ریشه در تفکر معقول زندگی روزمره دارد. شما اگر بتوانید علت یک اتفاق را با دو پیش فرض توضیح دهید چرا باید برای توضیح آن اتفاق ۱۰ پیش‌فرض را قبول کنید. بطلمیوس هم تنها چیزی که فرض کرد وجود افلاکی با شکل سادهٔ کروی بود که با سرعت طبیعی یکنواخت به دور خود می‌چرخند. (البته نقطهٔ معدل المسیر باعث می شود که سرعت فلک حامل نایکنواخت باشد و منجمان اسلامی بعدها به این موضوع با تردید نگاه کردند و در نتیجه راه‌حل‌هایی برای توجیه آن پیدا کردند.)

خوب است بدانیم!

همهٔ چیزهای نسبی، حتی حرکت

کارمان را با یک مثال ساده شروع می‌کنیم. در وسط کلاس از دو نفر از دوستان خود بخواهید به فاصله یک متری پشت به هم بایستند.

حال از هر دو این سوال را بپرسید که: دیگری کجاست؟ پاسخ هر دو یکسان بود؟ چرا؟ کدام یک حرفشان درست است؟



شبیه این کار را می توانید بار دیگر انجام دهید. از هر کدام از دوستان‌تان که در جاهای مختلف نشسته‌اند بخواهید تا جای ممکن آدرس تخته‌پاک‌کن کلاس را بیان کنند.

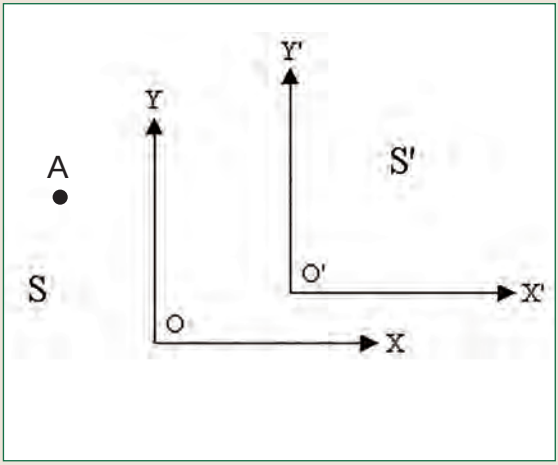
هر کس آدرسی می‌دهد که با دیگری متفاوت است نه! چرا این طور است؟

به شکل نگاهی بیندازید:

آدرس (مختصات) نقاط C,B,A چیست؟

آیا نقش نقطهٔ O در این میان مهم است؟

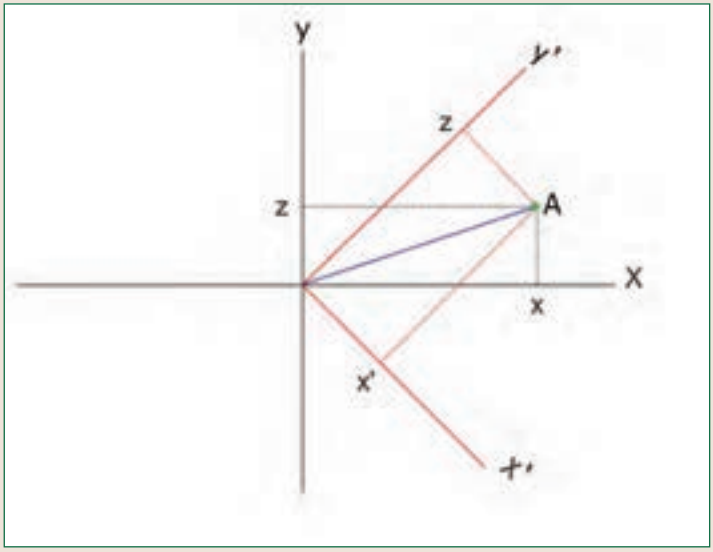
پس یک بار دیگر به شکل زیر نگاهی بیندازید. مختصات نقطهٔ A چیست؟



حالا متوجه منظور سوال قبل شدید؟ بله اگر مختصات A را از نظر دستگاه مختصات با مرکزیت O بخواهیم بیان کنیم، جواب با آدرس دیدگاه O' متفاوت است.

اما آیا نقطهٔ A در دو مکان است؟!

حال همان مکان نقطهٔ A را در دو دستگاه مختصات زیر، بیان کنید:



هر دو دستگاه مختصات ما یک مبدأ دارند، اما باز هم همان آش و کاسه می‌شود.

چرا که یکی از صفحات مختصات ما نسبت به دیگری چرخیده است.

این را می‌توانید در کلاس آزمایش کنید.

چهار نفرتان در گوشه‌های یک مربع به ضلع حدود یک و نیم متری بایستید و یک نفر هم وسط مربع قرار بگیرد.

حالا هر نفر مختصات چهار نفر دیگر را گزارش کند.

از نفر وسط بخواهید حدود ۹۰ درجه بچرخد.

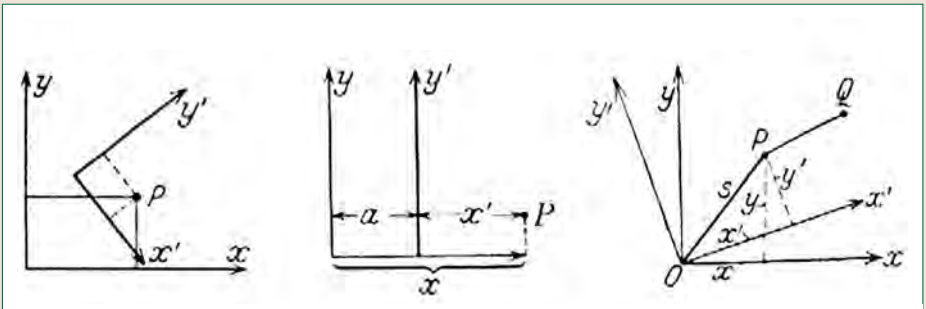
باز هم آدرس‌ها را گزارش کنید، آیا همه شما نتایجتان متفاوت شد؟ کدام آدرس‌ها ثابت مانده بودند؟ کدام نفر همهٔ آدرس‌هایش تغییر کرده بود؟

حال می‌توانید باز هم این کار را تکرار کنید و از نفر وسط بخواهید یک ۹۰ درجه دیگر هم بچرخد و دوباره هر نفر آدرس چهارتای دیگرتان را گزارش کند.

کدام آدرس‌ها ثابت مانده بودند؟ کدام نفر همهٔ آدرس‌هایش تغییر کرده بود؟

آن‌چه ما می‌خواهیم شما به آن برسید این است که مختصات اجسام به مبدأ بستگی دارد. این که کجا را مبدأ بگیریم خیلی دعوا برانگیز نیست، باید بر سر یک نقطه توافق کنیم، مهم این است که مبدأ وجود داشته باشد این که کجا باشد خیلی مهم نیست.

محورهای مختصات می‌توانند نسبت به هم سه حالت داشته باشند. دو حالت را در بالا دیدیم. اما سومین حالت چگونه است؟



مختصات نقطهٔ P به چه چیزهایی بستگی دارد؟

بله. فاصله داشته باشند، بچرخند و حرکت داشته باشند و یا ترکیبی از این سه حالت. یعنی برای نمونه هم فاصله داشته باشند و هم نسبت به هم چرخیده هم باشند.

اگر در یک اتومبیل نشسته باشید، شما بیرون را چگونه می‌بینید؟

درخت‌ها به عقب می‌روند یا شما رو به جلو؟

سعی کنید عقل‌تان را کنار بگذارید و فقط چشم باشید. آیا واقعا می‌توان تشخیص داد که زمین به مشتری نزدیک می‌شود یا مشتری به زمین؟

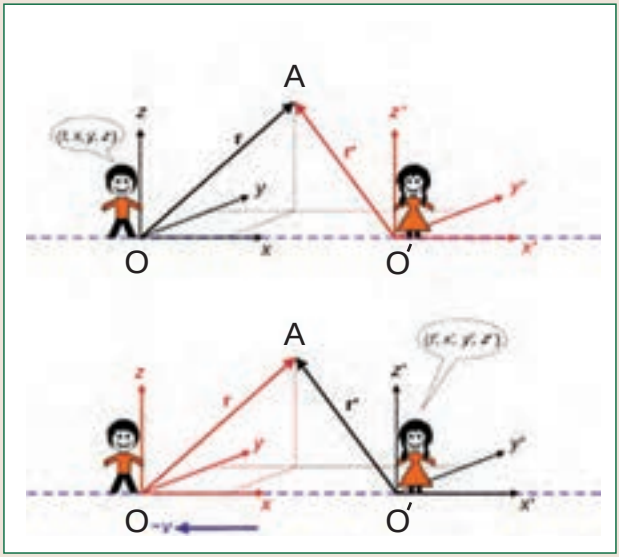
به نظر شما سرعت راننده چقدر است؟ برابر سرعت ماشین؟

اگر شیشه‌های ماشین را سیاه می‌کردیم و شما بیرون را نمی‌دیدید، باز هم می‌گفتید

راننـده حرکـت دارد؟

ما که می‌گوییم راننده نسبت به ما حرکتی ندارد، پس ساکن است.

حـالا اگـر ماشـین هـم حرکـت داشـته باشـد، می‌شـود گفـت مـا هـم نسـبت بـه اطرافیان‌مـان حرکـت داشـته‌ایم.



درسـت ماننـد ایـن خواهـر و بـرادر. یکـی نقطـه A را سـاکن می‌بینـد و دیگـری کـه خـود حرکـت دارد نقطـهٔ A را در حرکـت می‌بینـد، امـا خـودش را ثابـت می‌پنـدارد!

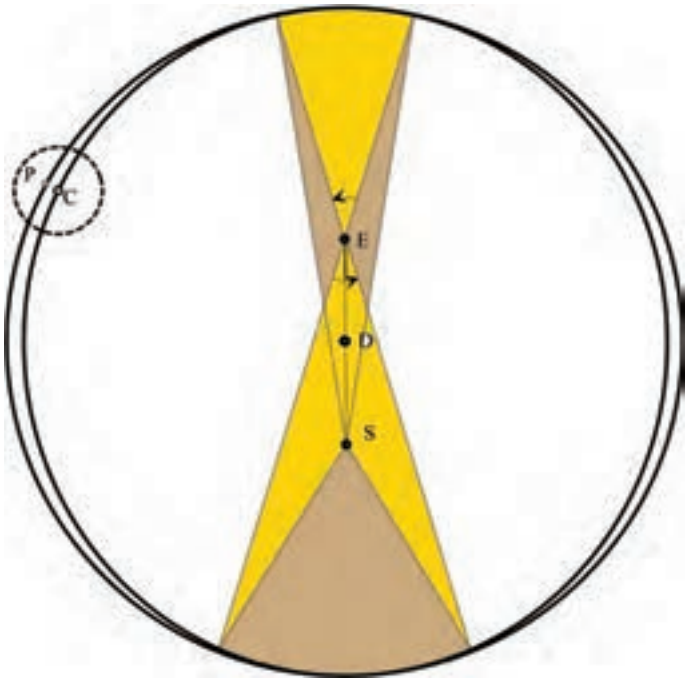
در واقـع آن‌چـه موجـب گردیـد در مدل‌هـای اولیـه منظومـه شمسـی مـدار و یـا مسـیر حرکـت سـیارات و سـتاره‌ها تـا حـدی پیچیـده بـه نظـر برسـد پافشـاری بـر ایـن نکتـه بـود کـه زمیـن بایـد مرکـز عالـم باشـد (کـه می‌توانسـت باشـد) و اگـر مـا (زمیـن) خـود را ثابـت فـرض کنیـم و خورشـید و سـایر اجـرام متحـرک باشـند، همـان می‌شـود کـه در مـدل افـلاک بیـان شـد.

امـروزه می‌دانیـم کـه دیگـر نیـازی بـه فـرض وجـود فلـک بـرای حرکـت دادن سـیارات نیسـت، زیـرا می‌تـوان حرکـت سـیارات را بـر اسـاس مفاهیـم اینرسـی و گرانـش نیوتنـی توضیـح داد، امـا ایـن مفاهیـم هنـوز در مکانیـک یونانـی و اسـلامی شـکل نگرفتـه بـود، بنابرایـن دانشـمندان مجبـور بودنـد کـه کـرات جامـدی مثـل افـلاک را فـرض کننـد کـه سـیارات را حرکـت دهنـد و نمی‌توانسـتد فـرض کننـد کـه ایـن سـیارات بـه خـودی خـود در فضـا در مسـیر بیضـی بـه دور خورشـید بگردنـد. امـا اگـر نجـوم بطلمیوسـی را بـا نجـوم کپلـری مقایسـه کنیـم، می‌بینیـم کـه بـا اینکـه در مـدل کپلـر سـیارات در مسـیر بیضـی بـه دور خورشـید می‌گردنـد ولـی هنـوز شـباهت‌های مهمـی بیـن مـدل بطلمیـوس و مـدل کپلـر وجـود دارد.

کپلـر قوانینـی را بـا کشـف مـدل خـود بیـان کـرد. در قانـون اولـش، کپلـر مسـیر حرکـت سـیارات بـه دور خورشـید را بیضـی دانسـته اسـت، چـرا کـه سـیارات گاهـی بـه خورشـید نزدیـک و گاهـی دور می‌شـوند،

در مـدل بطلمیوسـی نیـز فلـک خـارج مرکـز نقشـی مشـابه مسـیر بیضـی دارد، زیـرا باعـث می‌شـود سـیارات گاهـی بـه زمیـن نزدیـک و گاهـی دور شـوند. بایـد توجـه داشـت کـه دقـت رصدهـای زمـان بطلمیـوس و حتـی در دورهٔ اسـلامی بـه انـدازه‌ای نبـود کـه بیـن حرکـت روی فلـک خـارج مرکـز و حرکـت روی مـدار بیضـی تفـاوت چندانـی دیـده شـود. بنابرایـن نمی‌تـوان بـر دانشـمندان قدیـم خـرده گرفـت کـه چـرا دسـت از افـلاک کـروی نکشـیدند و بـه قانـون اول کپلـر پـی نبردنـد. کپلـر بـه رصدهـای بسـیار دقیـق تیکـو براهـه دسترسـی داشـت. چـون بـه دلیـل فنـاوری مهندسـی و سـرمایهٔ هنگفتـی کـه در اختیـار تیکـو بـود توانسـته بـود ابزارهـای بسـیار دقیقـی بـرای رصـد آسـمان بسـازد.

می‌تـوان همیـن سـخن را دربـارهٔ قانـون دوم کپلـر نیـز درسـت دانسـت. طبـق یـک بیـان تقریبـی از قانـون دوم، سـرعت سـیارات زمانـی کـه بـه خورشـید نزدیـک می‌شـوند تندتـر و زمانـی کـه از آن دور می‌شـوند کندتـر می‌شـود. نقـش نقطـهٔ معـدل المسـیر (E) در مـدل بطلمیـوس نیـز همیـن قانـون اسـت. زیـرا ایـن نقطـه باعـث می‌شـود کـه مرکـز فلـک تدویـر زمانـی کـه بـه زمیـن نزدیـک می‌شـود تندتـر و زمانـی کـه از آن دور می‌شـود کندتـر حرکـت کنـد (شـکل). تفـاوت ایـن دو قانـون در رصدهـای دقیـق خـود را نشـان می‌دهـد کـه در زمـان بطلیمـوس و دورهٔ اسـلامی در دسـترس نبـود.

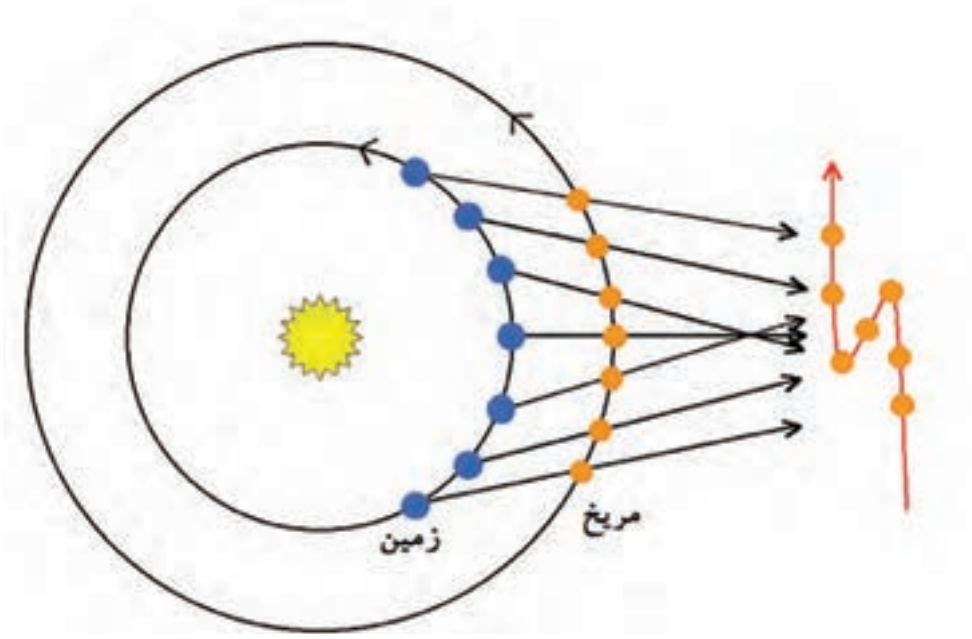


مدل سیاره‌ای بطلمیوس با نظام کپلری، به غیر از مرکزیت زمین یا خورشید، تفاوت ذاتی ندارد. فلک خارج مرکز نقشی مشابه قانون اول و نقطهٔ معدل المسیر نقشی مشابه قانون دوم کپلر بازی می‌کنند. در این تصویری می‌بینیم که مدار بیضی که خورشید S در یکی از کانون‌ها باشد با مدل خارج مرکز که زمین در S باشد و مرکز فلک در D تقریباً معادل اند. هم‌چنین طبق قانون دوم کپلر سرعت سیاره در نزدیک خورشید S زیاد می‌شود و طبق مدل بطلمیوسی، مرکز تدویر C در دوری از معدل المسیر E تندتر حرکت می‌کند. باید توجه داشت که با گذار از مدل زمین مرکز به خورشید مرکز تنها تغییری که اتفاق می‌افتد حذف فلک تدویر است.

بنابرایـن افلاکـی کـه در مـدل هـای بطلمیـوس فـرض شـده بودنـد، مـی توانسـتند بـه روش علمـی و بـا دقـت خوبـی موقعیـت سـیارات و حـرکات آنهـا را توضیـح دهنـد و حتـی پیـش بینـی کننـد. پیـش بینـیِ موقعیـت سـیارات هـدف نهایـی مدل‌هـای بطلمیوسـی بـود. بـه همیـن دلیـل در نجـوم دوران اسـلامی کتاب‌هایـی نوشـته شـدند بـه نـام «**زیـج**» کـه شـامل جـداول عـددی بسـیاری اسـت. خواننـده می‌توانسـت بـا اسـتفاده از ایـن جدول‌هـا و محاسـبات سـاده موقعیـت سـیاره در آسـمان را در هـر زمـان و مکانـی پیـدا کنـد. می‌بینیـم کـه نجـوم قدیـم بـه روش علـم امـروز بسـیار نزدیـک بـوده اسـت. امـا بـا توجـه بـه محدودیـت دانسـته‌ها، ابزارهـا و فن‌آوری‌هـای دردسـترس آنهـا، بعضـی از پیـش فرض‌هـای غیرعلمـی (غیـر قابـل تجربـه) در کار دانشـمندان وارد شـد کـه تـا حـدی درک دقیق‌تـر آنهـا را تـا کپرنیـک بـه تأخیـر انداخـت.

نظریهٔ خورشید مرکزی

امـا کپرنیـک چگونـه متوجـه شـد کـه خورشـید در مرکـز عالـم اسـت؟ کپرنیـک متوجـه شـد کـه در مـدل خورشـید مرکـز، نیـازی بـه فلـک تدویـر بـرای توضیـح حرکـت بازگشـتی سـیارات نیسـت، بلکـه در ایـن مـدل حرکـت بازگشـتی سـیارات بدیـن نحـو توضیـح داده می‌شـود کـه هـر زمـان زمیـن در مـدار خـود بـه دور خورشـید از یکـی از سـیارات خارجـی مثـل مریـخ جلـو می‌زنـد، بـه نظـر می‌رسـد کـه آن سـیاره بـه سـمت عقـب حرکـت می‌کنـد، و در نتیجـه دیگـر نیـازی بـه فـرض فلـک تدویـر بـرای توضیـح حرکـت بازگشـتی نخواهـد بـود (شـکل).



کپرنیک نشان داد که با فرض مرکزیت خورشید می‌توان علت حرکت بازگشتی سیارات را بدون فرض فلک تدویر توضیح داد.

برای پاسخ به این سؤال باید توجه داشت که در نجوم قدیم فرض حرکت زمین بارها بررسی شده بود و دانشمندان تقریباً همیشه به این موضوع فکر کرده بودند، در آثار نجومی دورهٔ اسلامی بخش‌هایی وجود دارد که به این بحث پرداخته‌اند. اما تقریباً همیشه به این نکته می‌رسیدند که حرکت زمین با مشاهدات روزمره در تعارض قرار دارد. اگر زمین حرکت کند اجسامی که از آن جدا هستند مثلا پرندگان و ابرها و تیرهای جدا شده از کمان باید از زمین عقب بمانند، زیرا نمی‌توانند همراه زمین حرکت کنند.

؟ اگر زمین واقعا در حال حرکت است که هست و با این سرعت زیاد (بیشتر از ۴۵۰ متر بر ثانیه) اگر به هوا بپریم چرا ناگهان دیوار با ما برخورد نمی‌کند!؟

ما امروزه بر اساس اصل اینرسی می‌دانیم که اجسامی که به زمین متصل هستند اگر از زمین جدا شوند حرکت اولیهٔ خود را حفظ می‌کنند و همراه آن حرکت خواهند کرد. اما در گذشته دانشمندان هنوز آن طور که باید به مکانیک نپرداخته بودند و بنابراین از اصل حرکت‌شناختی اینرسی یا لختی آگاهی نداشتند و به همین دلیل فکر می‌کردند که اگر زمین حرکت کند، پرنده‌ها و ابرها و اجسام پرتابه از حرکت زمین عقب خواهند ماند. در نتیجه اگر بتوانیم فضای فکری علم قدیم را درک کنیم، که هنوز علم مکانیک پیشرفتی نکرده بود، عاقلانه خواهد بود که بپذیریم زمین در مرکز عالم ساکن است و برای حرکت بازگشتی سیارات از فلک تدویر استفاده کنیم.

فعالیت‌های عملی

- روی یک لیوان خالی یک تکه مقوا قرار دهید و روی آن یک سکه.

؟ آیا می‌توانید بدون دست زدن به سکه آن را درون لیوان بیندازید؟

؟ اگر موفق شدید روش خود را در کلاس ارائه دهید. اگر امکان پذیر نیست علت را بیان کنید.

فعالیت‌های عملی

؟ دو ترکه، سوار دوچرخه شوید. یا وقتی سوار ماشین هستید این فعالیت را با کمک راننده انجام دهید.

- در حالی که با سرعت یک نواخت دوچرخه سوار آن را می راند توپی را به هوا بیندازید.

؟ حرکت توپ از دید شما چگونه است؟ حرکت توپ را از دوستتان که بیرون نشسته، بخواهید توصیف کند.

؟ آیا به راحتی توپ را در بازگشت گرفتید؟

؟ حال از دوستتان بخواهید با علامت شما که همزمان با پرتاب توپ به بالاست، ترمز کند یا سرعتش را زیاد کند. حرکت توپ را از دید خود و دوستتان بیان کنید.

؟ در گرفتن توپ مشکلی ایجاد شد؟

منجمان دورهٔ اسلامی

کتاب‌های نجومی در دورهٔ اسلامی انواع مختلفی دارند: کتاب‌های زیج، کتاب‌های ابزارشناسی و کتاب‌های هیئت. کتاب‌های زیج مخصوص محاسبات نجومی و پیش‌بینی موقعیت اجسام سماوی است، کتاب‌های ابزارشناسی دربارهٔ طریقهٔ ساخت، استفاده و کاربرد ابزارهای نجومی مثل اسطرلاب، رُبع، ساعت‌های آفتابی یا ابزارهای رصدخانه‌ای مثل ذات الحلق و ربع جداری است. کتاب‌های هیئت، همان‌طور که از نامشان برمی‌آید، دربارهٔ کیهان‌شناسی و ساختار عالم یعنی شکل و ترتیب و موقعیت افلاک بحث می‌کنند. البته گاهی ممکن است یک کتاب هم به محاسبات نجومی و هم به کیهان‌شناسی یا ابزارسازی بپردازد.

بحث مرکزیت و سکون زمین موضوعی است که مخصوص کتاب‌های هیئت بوده است، زیرا یک مبحث کیهان‌شناختی محسوب می‌شود و به موقعیت زمین در میان افلاک اشاره دارد، به ابزارسازی ربطی ندارد و به طور مستقیم ارتباط چندانی با پیش بینی و محاسبهٔ موقعیت اجرام سماوی نیز ندارد. ابوریحان بیرونی در کتاب قانون مسعودی، خواجه نصیرالدین طوسی در کتاب تذکره در علم هیئت، قطب الدین شیرازی در کتاب اختیارات مظفری و... همه در فصولی جداگانه مرکزیت و سکون زمین را اثبات کرده‌اند.

ابوریحان بیرونی در کتاب «استعاب الوجوه الممکنه فی صنعه الاسطرلاب» دربارهٔ انواع اسطرلاب‌ها و طریقهٔ ساخت و کاربرد آنها توضیحاتی داده است. یکی از انواع اسطرلاب‌هایی که بیرونی در این کتاب معرفی کرده است، اسطرلابی است که ابوسعید سجزی، منجم و ریاضی‌دان بزرگ قرن پنجم هجری، اختراع کرده و نام آن را زورقی گذاشته است. می‌دانیم که اسطرلاب ابزاری است که می‌توان با آن زمان طلوع و غروب ستارگان و خورشید را پیش بینی کرد و موقعیت بروج[1] را نسبت به افق در هر زمان تعیین نمود. اسطرلاب معمولی از یک صفحهٔ زیرین ساخته شده است که مختصات سمتی و ارتفاعی روی آن حکاکی شده است و صفحهٔ دیگری روی آن قرار دارد به نام عنکبوتی که موقعیت دایرةالبروج و ستارگان مشهور آسمان را نشان می‌دهد. عنکبوتی طوری ساخته شده است که به دور نقطهٔ قطب شمال سماوی (که امروزه نزدیک ستارهٔ قطبی است) می‌چرخد. بنابراین می‌توان سمت و ارتفاع هر کدام از ستارگان و بروج را با این ابزار تعیین کرد.

۱- بروج فلکی (برج‌های دوازده‌گانه)، از نظر نجومی تقسیمات دوازده‌گانه منطقةالبروج که هر قسمت یک برج فلکی نامیده می‌شود.
هر برج فلکی نواری به طول ۳۰درجه قوسی هم‌راستای دائرةالبروج (دایره مسیر حرکت ظاهری سالانه خورشید در آسمان) با عرض ۱۶درجه که دائرةالبروج دقیقاً مدار مبدأ و میانی آن است و هر برج تا ۸ درجه شمال و ۸ درجه جنوب آن پهنا دارد.
هر برج فلکی بطور متوسط نماینده ۳۰درجه حرکت خورشید بر دائرةالبروج است که به‌طور متوسط با یک‌ماهِ خورشیدی در گاه‌شماری هجری خورشیدی هماهنگ است از این رو، برج به معنی ماه به‌عنوان یک دوازدهم سال نیز اطلاق می‌شود.
اسامی برج‌های فلکی دوازده‌گانهٔ منطقةالبروج که دانشمند ایرانی عبدالرحمان صوفی در سال ۹۶۴ میلادی در اصفهان تعیین و ترسیم کرده عبارت هستند از:
۱- برج حمل؛ قوچ ۲- برج ثور؛ گاو نر ۳- برج جوزا؛ دو پیکر ۴- برج سرطان؛ خرچنگ ۵- برج اسد؛ شیر ۶- برج سنبله؛ خوشه ۷- برج میزان؛ ترازو ۸- برج عقرب؛ کژدم ۹- برج قوس؛ کمانگیر ۱۰- برج جدی؛ بزغالهٔ نر (بزماهی) ۱۱- برج دلو؛ آب ریز ۱۲- برج حوت؛ ماهی

یک اسطرلاب زیبای ایرانی
متعلق به قرن سیزدهم هجری شمسی

منشاء دقیق اختراع اسطرلاب معلوم نیست، اما طبق سخن بیرونی نوع جدیدی از اسطرلاب توسط ابوسعید سجزی اختراع شد که در آن صفحهٔ ستارگان و بروج در زیر ثابت است و خط افق روی آن می‌چرخد. بنابراین به جای آن که موقعیت ستارگان روی صفحهٔ عنکبوتی طراحی شود و این صفحه به دور قطب شمال سماوی بچرخد، ستارگان را روی صفحهٔ زیرین به طور ثابت طراحی کرده و دو خط کش مدرج را ـ که یکی نمایندهٔ ارتفاع و دیگری نمایندهٔ افق است ـ برای تعیین سمت و ارتفاع روی آن قرار می‌دهد که به دور قطب بگردند و روی هر ستاره‌ای قرار بگیرند. این اسطرلاب که ظاهری شبیه قایق دارد و به همین دلیل به آن زورقی می‌گویند، می‌تواند یادآور نظریهٔ حرکت وضعی زمین باشد، زیرا در آن ستارگان ثابت‌اند و افق می‌چرخد. ابوریحان بیرونی نیز وقتی می‌خواهد این اسطرلاب را معرفی کند به یاد نظریهٔ حرکت زمین می‌افتد، که طبق آن زمین در مرکز عالم به دور خود می‌چرخد و شبانه روز را ایجاد می‌کند، به جای آن که تمامی افلاک به دور زمین بگردند. بیرونی اشاره می‌کند که تصمیم‌گیری دربارهٔ حرکت وضعی زمین بسیار دشوار است و بنابراین بیرونی خود در این زمینه نظر قطعی نداده است و حتی در کتاب قانون مسعودی دلایلی برای سکون زمین مطرح کرده است.

اسطرلاب زورقی: به جای آن که صفحهٔ ستارگان روی آن بچرخد، منحنی‌های افق و ارتفاع می‌گردند. (این تصویر برگرفته از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد آقای جواد حسینی طباطبایی به نام «پژوهشی دربارهٔ اسطرلاب زورقی» است که در پژوهشکده تاریخ علم دانشگاه تهران دفاع شده است.)

اما آیا می‌توان اختراع این اسطرلاب را نشان از آن دانست که سجزی معتقد به حرکت وضعی زمین بوده است؟ هرچند ابزارسازی ارتباط مستقیمی با علم هیئت و کیهان‌شناسی قدیم نداشته است، بنابراین نمی‌توان گفت که اگر کسی ابزاری ساخته است که یادآور نظریهٔ چرخش وضعی زمین است، بدان معنا است که به نظریهٔ چرخش زمین معتقد است. اما به راحتی می‌توان پذیرفت که دلیل سجزی برای اختراع این اسطرلاب آن بوده است که ساخت و کار کردن با این اسطرلاب بسیار ساده‌تر است و به هیچ وجه نمی‌توان آن را به معنای ارائهٔ

یـک نظریـهٔ جدیـد در هیئـت برشـمرد. هرچنـد کـه ایـن سـاده‌تر شـدن کار می‌توانسـته دانشـمندان را بـه ایـن فکـر بینـدازد کـه بـا خوشـید مرکـزی شـدن عالـم، جهـان مدلـی سـاده‌تر و قابـلِ فهم‌تـر خواهـد داشـت. امـا بایـد می‌توانسـتند دلایلـی از روی دانسـته‌های حتمـی برایـش عنـوان کننـد، شـاید ایـن همـان دلیلـی اسـت کـه بیرونـی را بـه شـک و تردیـد انداختـه، امـا بـه یقیـن نرسـانده اسـت.

آن‌چـه در خوانـدن تاریـخ علـم نبایـد بـه آسـانی دسـت بـه قضـاوت زد، بلکـه بایـد بـا دقـت و بـه دور از هـر گونـه پیـش داوری فضـای ذهنـی و علمـی روزگار دانشـمندان قدیـم را بشناسـیم و پـس از مقایسـه و فهـم دقیـق سـخنان ایشـان، درکـی عمیق‌تـر از فراینـد تحـولات علمـی در روزگاران گذشـته بدسـت آوریـم.

تذکـر: در ایـن بخـش بـی تردیـد، فهـم مدل‌هایـی هم‌چـون فلـک دشـوار اسـت، آن‌چـه انتظـار مـی‌رود، حفـظِ این‌گونـه مدل‌هـا نیسـت، بلکـه آشـنایی کلـی بـا نظریه‌هـای قدیمـی به‌عنـوان مـروری بـر تاریـخ علـم نجـوم اسـت. بنابرایـن هیـچ انتظـار نمـی‌رود شـما بتوانیـد آن‌چـه در ایـن فصـل آمـد را حفـظ کنیـد! بلکـه کلیتـی از آن را بدانیـد، فراکافی‌اسـت!