



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 بگیرد تا، به ویژه، مسلمانان که داده‌های بسیاری از آسمان ثبت کرده، به تفسیر و نظریه‌پردازی پرداخته بودند، همه در آغاز آن انقلاب علمی سهمی انکار ناپذیر داشته‌اند.

### علم نجوم در گذر تاریخ

شاید برخی نیکولاس کپرنیکوس<sup>۱</sup> را آغاز کننده این تحولات انقلابی در نجوم 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 مبانی علمی، متکی به نجوم بطلمیوسی و دوره اسلامی بود. مثلاً وی گرویت زمین و روش محاسبات علمی و رصد سیارات را از بطلمیوس<sup>۲</sup> و منجمان تمدن اسلامی، آموخته بود.

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

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

## زمین کروی

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 چپستی‌اش 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؟

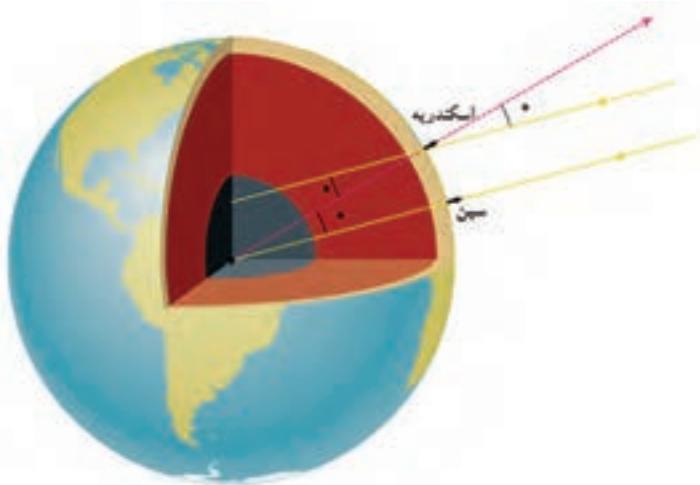
آیا می‌توانید با کمک یک منبع نور از یک جسم تخت و مسطح سایه‌ای دایره‌وار روی پرده ایجاد کنید؟

● 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<sup>۳</sup> مآبی دانشمندان حتی شعاع زمین را با دقت خیلی خوبی اندازه گرفتند. ریاضی‌دانی به نام اراتستن (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 تهِ 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 الهانی 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.



همان‌طور که در شکل می‌بینید شعاع‌های نوری از خورشید به صورت موازی به دو شهر اسکندریه و سین می‌رسند، ولی در سین عمود بر سطح زمین و در اسکندریه با ۷ درجه انحراف. بنابراین زمین کروی است و می‌توان شعاع آن را با دانستن فاصله بین دو شهر و روابط هندسی محاسبه کرد. مقداری که وی برای محیط زمین به دست آورد نزدیک به ۴۰,۲۳۳ کیلومتر بود. اکنون می‌دانیم محیط نصف النهاری زمین نزدیک به ۴۰,۰۰۸ کیلومتر است.

همان‌گونه که می‌بینید این روش نه تنها دقت بالایی دارد، بلکه کاملاً بر اساس مشاهدات کمی (مشاهدات قابل ثبت، تکرارپذیر و اندازه‌گیری که اساس علم تجربی است) و اصول همه فهم هندسی بنا شده است. این سطح از نبوغ فکری با ترجمه متون یونانی به عربی<sup>۴</sup>، شدیداً مورد استقبال علاقمندان به علم در دوره اسلامی قرار گرفت. احتمالاً همین موضوع کمک کرد تا عقلانیت مبتنی بر تجربه و ریاضیات به طور گسترده مورد پذیرش مسلمانان که به کسب علم توصیه شده بودند، قرار گیرد. این علاقه و شیفتگی به علوم تا حدی بود که برخی از فرقه‌های اسلامی مانند متکلمان اشعری نیز نمی‌توانستند به حقانیت بخش‌های ریاضی و مشاهداتی نجوم اعتراضی داشته باشند. به عنوان نمونه غزالی با تمام حمله‌هایی که به وجود افلاک و ماهیت آنها می‌کند و استدلال‌های مربوط به آنها را سست می‌داند، ولی می‌پذیرد که پدیده‌هایی چون کسوف و خسوف، کرویت زمین و ... که توسط ریاضیات و هندسه اثبات شده، واقعیت دارند و با ظاهر شرع نیز تعارضی ندارند. بنابراین کرویت زمین مفهومی بود که به طور گسترده در میان اقشار مختلف علمی و فلسفی و

۴- در سال ۱۴۱ هجری قمری، در زمان منصور خلیفه دوم عباسی و به راهنمایی خالد بن برمک ایرانی، نقشه 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 ترجمه کتاب‌های خطی از زبان یونانی، سریانی و پهلوی به عربی فرمان داد.

پس از هارون، پسرش مأمون، بیت‌الحکمه (خانه 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. نتیجه 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 احکام 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 منجمان مسلمان مباحث مرتبط با کروی بودن زمین را مورد بررسی و کنکاش بیشتری قرار دادند. در قرن سوم هجری برای اولین بار در دوره اسلامی، منجمان به اندازه‌گیری محیط زمین پرداختند. گروهی از منجمان به فرمان مأمون، خلیفه عباسی، با پیاده روی در بیابان و رصد تغییرات ارتفاع ستارگان، محیط زمین را ۴۰۲۴۹ کیلومتر بدست آوردند.

ابوریحان بیرونی<sup>۵</sup> منجم قرن پنجم هجری روشی ساده‌تر برای اندازه‌گیری شعاع کره زمین پیشنهاد داد. داده اولیه برای این محاسبه، به جای فاصله 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، سریعاً از جای خود برخیزید! در این صورت دوباره لبه 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 باشید.

ابوریحان بیرونی از همین پدیده استفاده کرد. ولی به جای اینکه از ارتفاع قد خودش استفاده کند، ارتفاع یک کوه را به کار 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 کره زمین را با دقت خوبی به دست 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 می‌گیرید؟

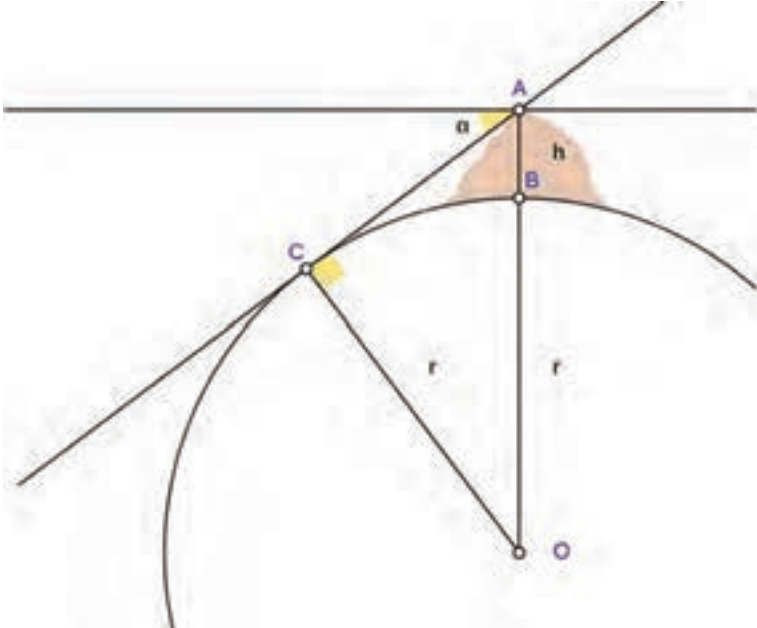
؟ در شهرهای ساحلی علت اختلاف زمان طلوع یا غروب خورشید چیست؟

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 تاریخ‌نگار بزرگ ایرانی قرون چهارم و پنجم هجری است. بیرونی را بزرگ‌ترین دانشمند مسلمان و یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان ایرانی در همه اعصار می‌دانند. هم‌چنین او را پدر 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 ماللهند درباره اوضاع این سرزمین از تاریخ و جغرافیا تا عادات و رسوم و طبقات اجتماعی آن.

چنانچه در تصویر زیر دیده می‌شود اگر ناظر در نقطه A در قلعه کوه قرار داشته باشد، با اندازه‌گیری زاویه  $\alpha$  به وسیله 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 به دست آورد. بیرونی در کتاب قانون مسعودی، می‌گوید: «من در کوهستان‌های هند مقدار انحطاط افق را رصد کردم و طول هر درجه را تقریباً 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؟

تا این جا تنها دربارهٔ کیهان‌شناسی علمی سخن گفتیم. بد نیست کمی هم به کیهان‌شناسی فلسفی اشاره کنیم. چرا که فلاسفه از دیدی کاملاً متفاوت به کیهان‌شناسی یا چگونگی شکل عالم نظر می‌کردند.

فلاسفه یونانی از جمله فیلسوف مشهور آن دوره، ارسطو، در آثار فلسفی خود از جمله «درآسمان» به بحث کرویت زمین پرداخت. فلاسفه از طریقی کاملاً متفاوت با ریاضی‌دانان کروی بودن زمین را اثبات می‌کردند. آنها به جای استفاده از مشاهدات و استدلال‌های هندسی، کروی بودن زمین را بر اساس علت‌های طبیعی بیان می‌کردند. مثلاً ارسطو بحث می‌کند که زمین باید کروی باشد، چون زمین در مرکز عالم قرار دارد و تمایل اجسام برای حرکت به سمت مرکز عالم با هم برابر است. در نتیجه تمامی اجزای زمین به یک نسبت به سمت مرکز زمین (= مرکز عالم) متمایل‌اند و به حالت تعادل می‌رسند. بنابراین زمین باید کروی باشد. ارسطو معتقد بود که معرفت حقیقی به عالم از طریق معرفت به علل روی می‌دهد.

### خوب است بدانید!

#### چارپاره - عناصر چهارگانه



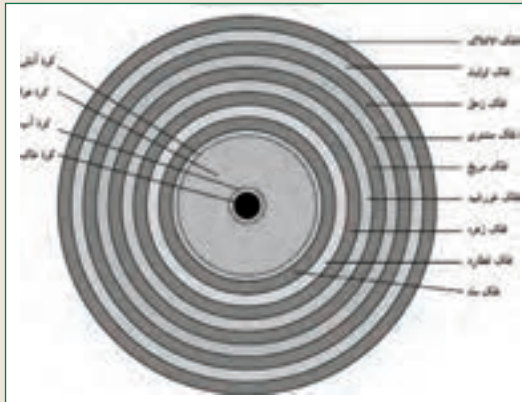
اولین مدل‌هایی که برای درک حرکت اجسام در فیزیک بنا نهاده شد را ارسطو<sup>۱</sup> (۳۸۴ ق.م. - ۳۲۲ ق.م.) بیان کرد.

در آن زمان معتقد بودند عالم (تا زیر ماه) از عناصر چهارگانهٔ خاک (زمین)، آب (دریاها و اقیانوس‌ها)، هوا (جو) و آتش ساخته شده است. این عناصر به صورت کراتی در پیرامون مرکز عالم هستند. معمولاً در تمام آثار هیئت تمدن اسلامی شکل کلی عالم به صورت دوایر تو در تو که در شکل بعد دیده می‌شود، نمایش داده می‌شد. ارسطو موجودات عالم را بر اساس سبکی و سنگینی

تقسیم کرد. طبق طبیعیات ارسطویی اجسام سنگین اجسامی هستند که از آب یا خاک ساخته شده‌اند و حرکت طبیعی آنها در مسیر مستقیم به سمت مرکز عالم است. اجسام سبک اجسامی هستند که از هوا یا آتش ساخته شده‌اند و حرکت طبیعی آنها به سمت محیط عالم است. آتش به طور طبیعی به سمت بالا حرکت می‌کند و سنگ به طور طبیعی به سمت مرکز عالم که منطبق بر مرکز زمین است، سقوط می‌کند. اجسام زمینی، حتی حیوانات و

۱- او در سن هجده سالگی به آکادمی افلاطون راه یافت و به مدت بیست سال در مکتب افلاطون کسب دانش کرد و آموزگار اسکندر مقدونی بود. تالیفات او در زمینه‌ها و رشته‌های گوناگون من جمله فیزیک، متافیزیک، شعر، زیست‌شناسی، منطق، علم بیان، سیاست، دولت و اخلاق بوده‌اند. ارسطو به همراه سقراط و افلاطون از تأثیرگذارترین و بزرگترین فیلسوفان یونان باستان بوده‌است.

گیاهان، از همین چهار عنصر آب، آتش، خاک و هوا ساخته شده‌اند.



به طور خلاصه او می‌گفت: «اجسام از چهار عنصر خاک، آب، باد، آتش تشکیل شده است. طبیعت هر جسم را این عناصر یا ترکیبی از آنها می‌سازد. اجسام بنا به طبیعت خود تمایل دارند به جایگاه خود برسند. یک تکه سنگ را اگر رها کنیم به زمین می‌افتد، زیرا سنگ از خاک تشکیل شده و تمایل دارد به جایگاه طبیعی‌اش خاک - که در این‌جا زمین است- برگردد. این که چرا دود ناشی از آتش به هوا می‌رود را همین‌گونه تفسیر می‌کردند. دود را از آتش می‌دانستند بنابراین دود تمایل دارد به جایگاه اصلی خود آتش (به بالا) برود.»

ارسطو دربارهٔ سقوط اجسام می‌گفت که هر چه جسم سنگین‌تر باشد سریع‌تر سقوط می‌کند بنابراین این اگر فیل و پری را با هم رها کنیم، فیل برای رسیدن به زمین (طبیعتش) عجلهٔ بیشتری دارد چون سنگین‌تر است. از طرفی بخشی از پر را هوا تشکیل داده برای همین هم سبک است اما چون بیشتر طبیعتش از خاک است بالاخره به زمین می‌رسد اما با تندی کم‌تر.

کدام یک زودتر سقوط می‌کند؟  
آن که نیروی مقاومت کمتری  
به آن وارد می‌شود؟



ارسطو اعتقاد داشت حرکت همهٔ اجسام بر روی زمین مستقیم است یا رو به بالا یا رو به پایین.

اما نوع دیگری حرکت هم بود که مستقیم نبود، حرکت اجرام آسمانی. آنها در مدارهای دایره‌ای یا منحنی‌هایی حرکت می‌کردند. ویژگی حرکت اجرام آسمانی تکرار شدن آنها بود، گویی آنها و ابتدایی ندارند.

بنابراین ارسطو ادعا کرد در آسمان اتفاق دیگری حکم‌فرماست که مانند زمین

نیست. او می‌گفت اجرام آسمانی از ماده پنجمی به نام ائیر (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؟

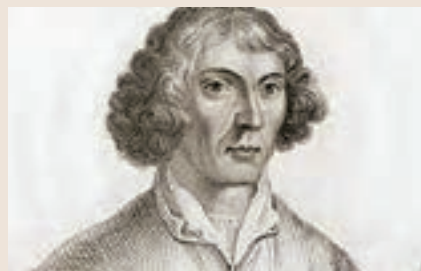
ارسطو استدلال می‌کرد که اجسام همگی تمایل دارند ساکن باشند، البته آسمانی‌ها که از عنصر پنجمی ساخته شده‌اند از این قاعده مستثنی بودند. او می‌گفت برای همین هم هست که از توپی را روی زمین رها کنیم بالاخره می‌ایستد.

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 می‌کشید، 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 بگوییم توپ هوا را می‌شکافتد و موجب می‌شود پشت توپ خلاء ایجاد شود هوا به آن سمت هجوم می‌آورد و توپ را به جلو هل 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



به دور خورشید تحلیل و توجیه پدیده‌های جوی آسان‌تر و ساده‌تر هستند.



او هم از تنبیه کلیسا می‌ترسید و دوست نداشت، آخر عمری گرفتار مجازات و زندان و اعدام و ... شود. هم این‌که خودش هم ته 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 تا سه پدیده‌ای را پیدا کنید که با مدل ارسطویی نمی‌توان به آن پاسخ قابل قبولی داد.

❓ آیا پدیده‌های درستی را انتخاب کردید؟

❓ آنها را در کلاس درس به بحث بگذارید.

❓ مثلاً اگر دو گلولهٔ پارچه‌ای یک شکل را، به نفت یا الکل آغشته کنیم و یکی را آتش بزنیم و هر دو را رها کنیم آیا باید با هم سقوط کنند؟ نظر شما چیست جناب افلاطون؟!

این دو نوع دیدگاه بین فلاسفه و منجمان با این‌که به یک نتیجهٔ یک‌سان می‌رسید نشان‌دهندهٔ دو روش متفاوت در مطالعهٔ طبیعت بود. گاهی فلاسفه روش‌های منجمان ریاضیدان را نقد می‌کردند و گاهی برعکس.

حتی گاهی دانشمندانی پیدا می‌شدند که با دیدگاهی باریک‌اندیشانه به نقد و بررسی هر دو روش می‌پرداختند. قطب‌الدین شیرازی منجم قرن هفتم هجری، در آثار نجومی خود روش هندسی ریاضی‌دانان و روش طبیعی فلاسفه را مورد نقد قرار داده است. وی در کتاب اختیارات مظفری، معتقد است تمام رصدهایی که تا به حال برای اثبات کروی بودن زمین انجام گرفته است، در روی خشکی‌های شناخته شدهٔ زمین بوده، که تنها یک ربع از سطح زمین را فرا گرفته است. تا به حال هیچ کسی به سمت دیگر زمین نرفته و از آن‌جا به رصد نپرداخته تا بداند آیا سطح آن طرف زمین نیز مستدیر و کروی است یا نه. بنابراین ما هیچ معرفتی از نظر هندسی و رصدی نسبت به شکل سطح زمین در نقاط دیگر زمین نداریم و نمی‌توانیم از این نظر مطمئن باشیم که زمین کاملاً کروی است. شاید طرف دیگر زمین مربعی باشد!

شیرازی انتقادات خود را خطاب به طبیعی‌دان‌ها نیز پی می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد فلاسفه 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 همه 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 مثلاً 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 می‌کنیم که  
شبهه کره است!



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

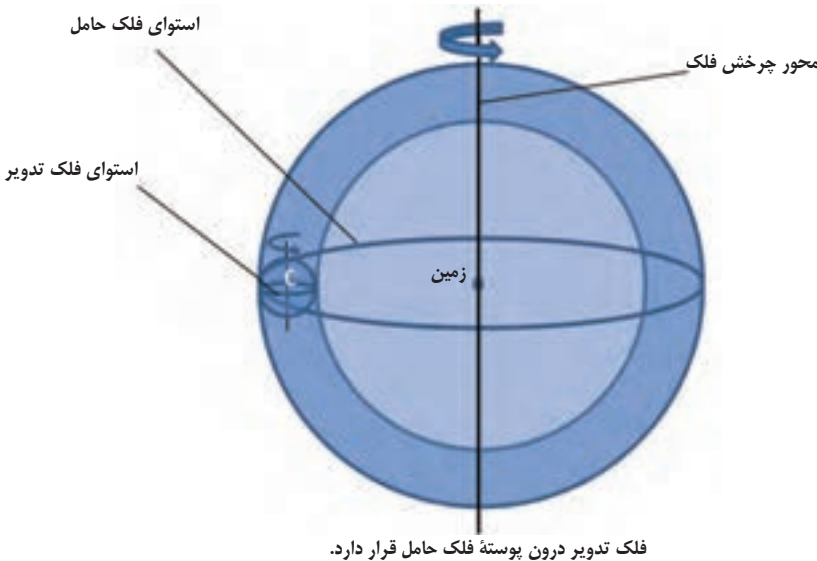
با این‌که در منابع تاریخ علم به طور صریح مشخص شده است که کرویت زمین مفهومی بوده است که قرن‌ها پیش از انقلاب علمی قرن هفدهم میلادی دانسته شده بود، ولی هنوز در تصور عموم درباره بعضی از سردمداران انقلاب علمی مانند گالیله این تصور وجود دارد که ایشان نخستین کاشف کرویت زمین بودند! در حالی که آنچه این دانشمندان 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. مثلاً وی علاوه بر کرویت زمین، روش محاسبات نجومی و نظریه حرکات سیارات را از بطلمیوس و منجمان اسلامی فراگرفته بود.

بیشتر دانشمندان کیهان‌شناس 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 ساده هندسی تبدیل کنند، از مفهوم ساده ولی دقیق «فلک»<sup>۶</sup> استفاده می‌کردند. نکتهٔ مهم این‌جا است که ساده‌سازی 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 این‌که 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 بازگستی 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.

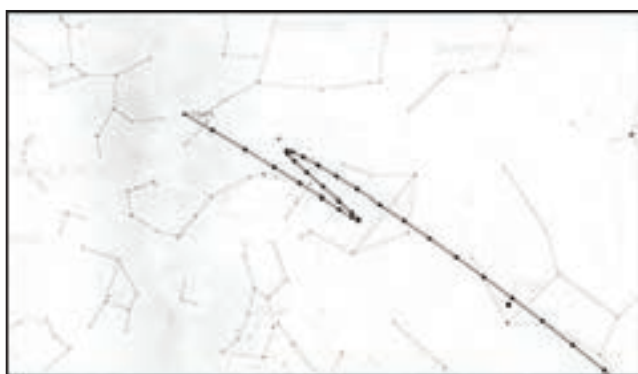


۶- در واقع ما فلک را یک مدل علمی برای توجیه آن‌چه دیده شده است می‌دانیم. مدل‌های علمی تلاش دارند تا پدیده‌های مشاهده شده را توجیه و تفسیر کنند. شاید بتوان گفت مدل خلاصه‌ای از واقعیت مشاهده شده است. به بیان دیگر، نمایش فیزیکی یک شیء یا سیستم (سامانه) را هم (از یک دیدگاه و نگاه خاص) مدل می‌نامند. مدل‌ها،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

«فلک» مانند هر مفهوم علمی دیگری یک موجود غیرقابل مشاهده است که دانشمندان با فرض آن می‌توانستند پدیده‌های مشاهده‌پذیر را توضیح دهند. به عبارت دیگر فلک مدلی بوده است برای توجیه اتفاقات و پدیده‌های نجومی. مدل مشهوری که شما به احتمال زیاد آن را می‌شناسید، مدل منظومه شمسی برای ساختار اتمی است که در آن پروتون را در مرکز منظومه، مانند خورشید و الکترون‌ها را هم‌چون سیارات به دور آن می‌پنداشتند.

از این منظر فلک در کنار دیگر موجودات مشاهده‌ناپذیر علمی مثل الکترون، ژن، نیروی گرانش و ... قرار می‌گیرد که نقش توضیحی آنها معلوم می‌کند که آیا باید وجودشان را پذیرفت یا خیر. مثلاً نیروی گرانش موجودی است که علی‌الاصول مشاهده‌ناپذیر است، اما نیوتن نشان داد که با فرض آن می‌توان سقوط اجسام به سمت زمین چرخش سیارات را توضیح داد، بنابراین دانشمندان وجود این نیرو را پذیرفتند. البته نیوتن چارچوب دقیق‌تری از گرانش بیان کرد که خارج از حوصله بحث ماست.<sup>۷</sup>

اما تا پیش از قرن هفدهم میلادی (دهم هجری) از کشف نیروی گرانش نیوتنی (و در واقع چارچوب امروزی آن) خبری نبود و نظریهٔ دیگری بود که علت سقوط اجسام به سمت زمین را توضیح می‌داد. بنابراین برای توضیح حرکت نایکنواخت سیارات نیاز به نظریه‌ای بود که بتواند رصدهای دقیق آن روزگار را توضیح دهد. افلاک ساده‌ترین موجودات فیزیکی (مدل فیزیکی) بودند که می‌توانست این حرکات را توضیح دهند، دانشمندان ستاره‌شناس با تسلط بر خواص هندسی دایره‌ها و کره‌ها، می‌توانستند هر گونه برهان و محاسبه‌ای را بر اساس این اشکال انجام دهند.



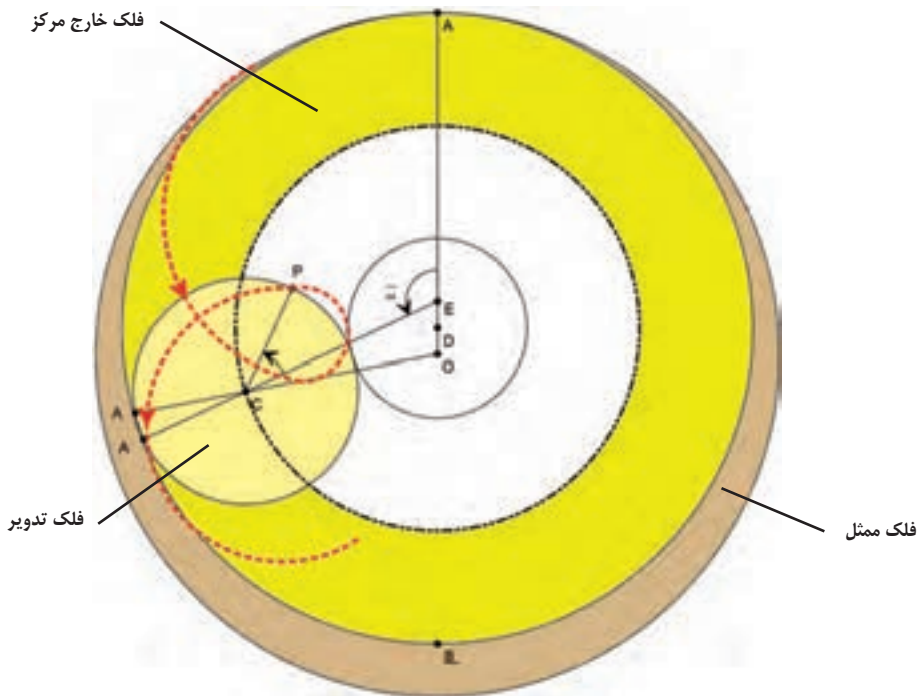
حرکت بازگشتی مریخ در آسمان

بطلمیوس، نشان داد که برای توضیح ناهنجاری‌های حرکتی سیارات می‌توان از ترکیبی از فلک‌ها استفاده کرد و مدل‌های فلکی خود را در کتاب مجسطی عرضه کرد. مثلاً سیارات خارجی، یعنی مریخ، مشتری و زحل، علاوه بر حرکت روزانهٔ خود از شرق به غرب و حرکت آهستهٔ خود از غرب به شرق،

۷- این که اجسام تقریباً همگی به زمین سقوط می‌کنند را همه دیده و دیده‌ایم در واقع نیوتن دریافت همه اجسام یک‌دیگر را جذب می‌کنند و اندازه این جذب یعنی میزان نیروی گرانش بین دو جرم، به عواملی هم‌چون مقدار جرم آن دو و فاصلهٔ آنها از هم بستگی دارد.

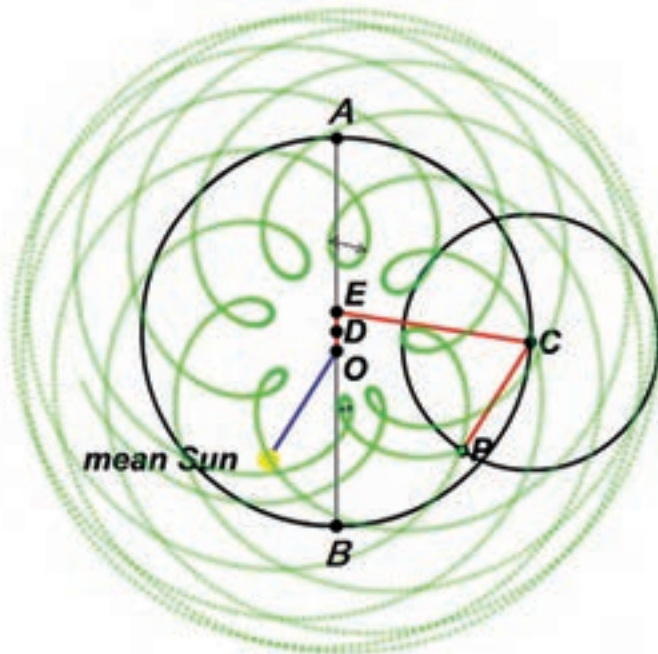
ناهنجاری‌های دیگری نیز نشان می‌دهند: (۱) حرکت بازگشتی، (۲) متغیر بودن فاصله بین حرکات بازگشتی و (۳) جابجایی نقطهٔ اوج سیاره با حرکت تقدیمی.

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  $A$  و جایی که کمترین فاصله بین حرکات بازگشتی وجود دارد نقطهٔ  $B$  ضمیمه خوانده می‌شود. علاوه بر این چون همین نقاط اوج و ضمیمه نیز همراه با حرکت تقدیمی جابه‌جا می‌شوند، نیاز است که کل فلک خارج مرکز نیز توسط فلکی دیگر به مرکز  $O$  به نام فلک «مُمَثَل» 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 نقطه چین 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 حضيض  $B$  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 حضيض 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 «مُعدّل المسیر» 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، کندتر و زمانی که به حضيض  $B$  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 حضيض  $B$  است.  
بطلمیوس برای توضیح این مشاهده نقطهٔ معدّل 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 اندازه 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.

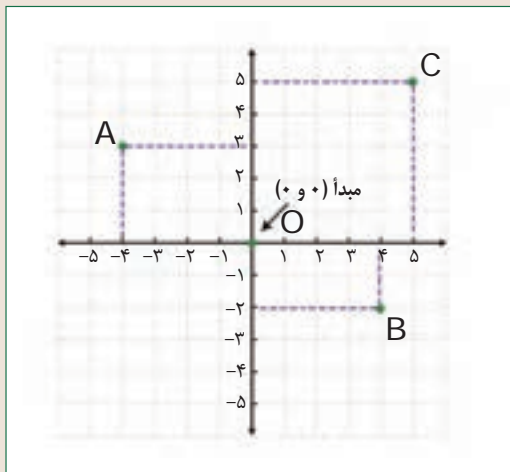
در علم هر چقدر که فرض‌های اولیه کمتر و ساده‌تری وجود داشته باشد، بهتر است. این یکی از اصول روش علمی و تفکر معقول است. این اصلی است که در تمامی پژوهش‌های علمی و فلسفی در طول تاریخ بوده است و ریشه در تفکر معقول زندگی روزمره دارد. شما اگر بتوانید علت یک اتفاق را با دو پیش فرض توضیح دهید چرا باید برای توضیح آن اتفاق ۱۰ پیش فرض را قبول کنید. بطلمیوس هم تنها چیزی که فرض کرد وجود افلاکی با شکل ساده کروی بود که با سرعت طبیعی یکنواخت به دور خود می‌چرخند. (البته نقطه معدل المسیر باعث می‌شود 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!

#### همه 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؟



شبهه این کار را می‌توانید 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؟

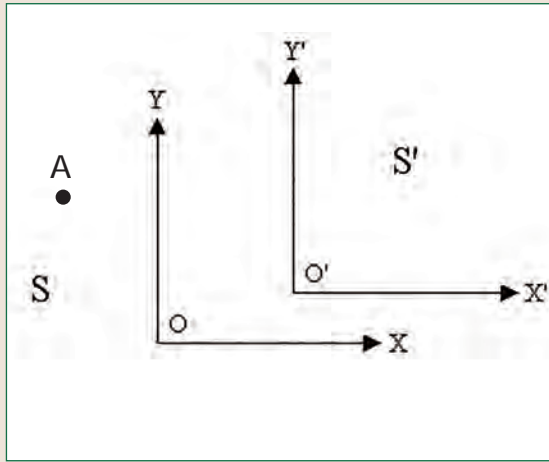
به شکل نگاهی بیندازید:

آدرس (مختصات) نقاط  $C, B, A$

چیست؟

آیا نقش نقطه  $O$  در این میان مهم است؟

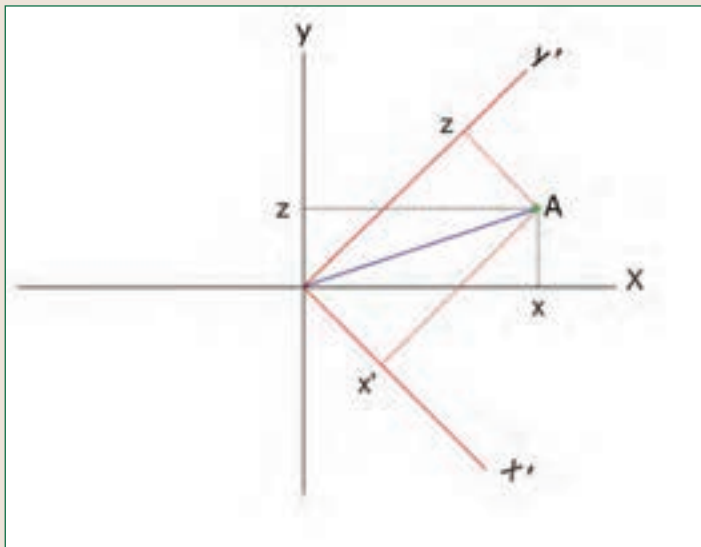
پس یک بار دیگر به شکل زیر نگاهی بیندازید. مختصات نقطه  $A$  چیست؟



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 نقطه  $A$  در دو مکان است؟!

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



هر دو دستگاه مختصات ما یک مبدأ دارند، اما باز هم همان آتش 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 همه 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.

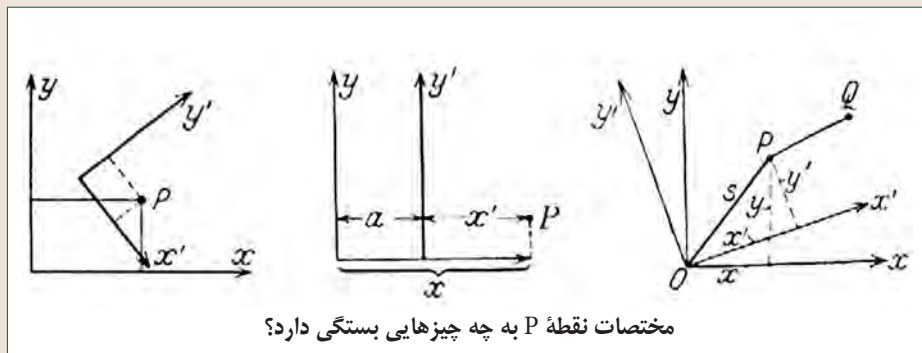
کدام آدرس‌ها ثابت مانده بودند؟ کدام نفر همه آدرس‌هایش تغییر کرده بود؟

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

کنیم، مهم این است که مبداء 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؟



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

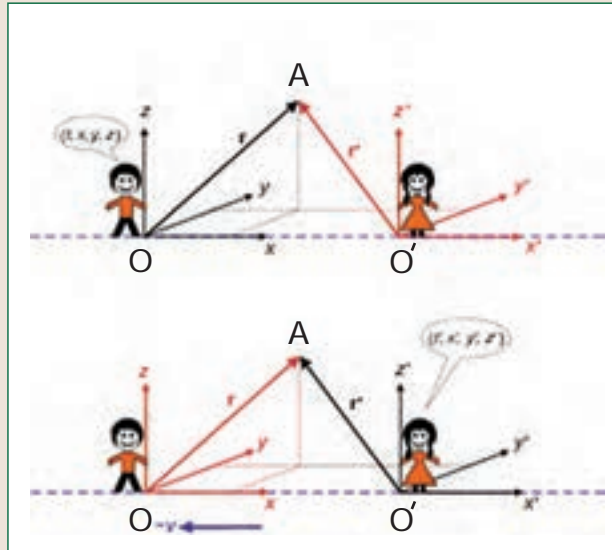
زمین به مشتری نزدیک می‌شود یا مشتری به زمین؟

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

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

راننده حرکت دارد؟

ما که می‌گوییم راننده نسبت به ما حرکتی ندارد، پس ساکن است. حالا اگر ماشین هم حرکت داشته باشد، می‌شود گفت ما هم نسبت به اطرافیان مان حرکت داشته‌ایم.

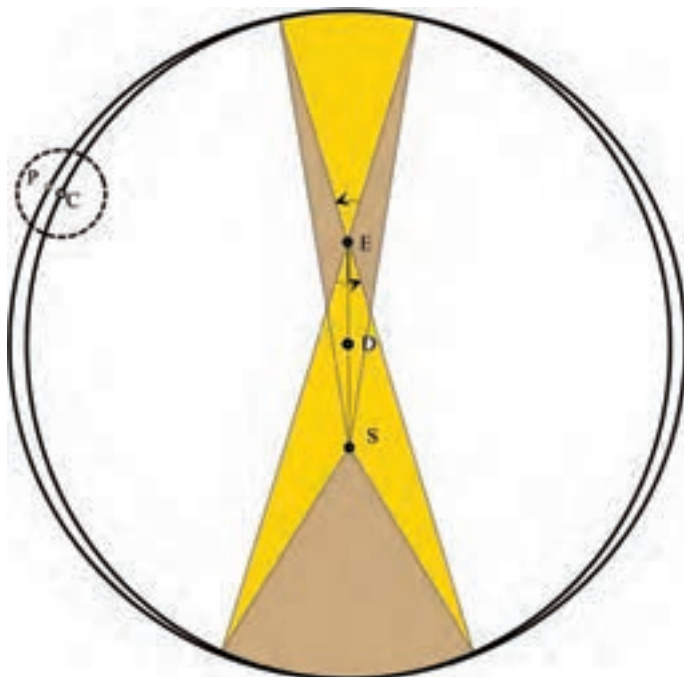


درست مانند این خواهر و برادر. یکی نقطه A را ساکن می‌بیند و دیگری که خود حرکت دارد نقطه A را در حرکت می‌بیند، اما خودش را ثابت می‌پندارد! در واقع آن چه موجب گردید در مدل‌های اولیه منظومه شمسی مدار و یا مسیر حرکت سیارات و ستاره‌ها تا حدی پیچیده به نظر برسد پافشاری بر این نکته بود که زمین باید مرکز عالم باشد (که می‌توانست باشد) و اگر ما (زمین) خود را ثابت فرض کنیم و خورشید و سایر اجرام متحرک باشند، همان می‌شود که در مدل افلاک بیان شد.

امروزه می‌دانیم که دیگر نیازی به فرض وجود فلک برای حرکت دادن سیارات نیست، زیرا می‌توان حرکت سیارات را بر اساس مفاهیم اینرسی و گرانش نیوتنی توضیح داد، اما این مفاهیم هنوز در مکانیک یونانی و اسلامی شکل نگرفته بود، بنابراین دانشمندان مجبور بودند که کرات جامدی مثل افلاک را فرض کنند که سیارات را حرکت دهند و نمی‌توانستند فرض کنند که این سیارات به خودی خود در فضا در مسیر بیضی به دور خورشید بگردند. اما اگر نجوم بطلمیوسی را با نجوم کپلری مقایسه کنیم، می‌بینیم که با اینکه در مدل کپلر سیارات در مسیر بیضی به دور خورشید می‌گردند ولی هنوز شباهت‌های مهمی بین مدل بطلمیوس و مدل کپلر وجود دارد. کپلر قوانینی را با کشف مدل خود بیان کرد. در قانون اولش، کپلر مسیر حرکت سیارات به دور خورشید را بیضی دانسته است، چرا که سیارات گاهی به خورشید نزدیک و گاهی دور می‌شوند،

در مدل بطلمیوسی نیز فلک خارج مرکز نقشی مشابه مسیر بیضی دارد، زیرا باعث می‌شود سیارات گاهی به زمین نزدیک و گاهی دور شوند. باید توجه داشت که دقت رصدهای زمان بطلمیوس و حتی در دوره اسلامی به اندازه‌ای نبود که بین حرکت روی فلک خارج مرکز و حرکت روی مدار بیضی تفاوت چندانی دیده شود. بنابراین نمی‌توان بر دانشمندان قدیم خرده گرفت که چرا دست از افلاک کروی نکشیدند و به قانون اول کپلر پی نبردند. کپلر به رصدهای بسیار دقیق تیکو براهه دسترسی داشت. چون به دلیل فناوری مهندسی و سرمایه‌هنگفتی که در اختیار تیکو بود توانسته بود ابزارهای بسیار دقیقی برای رصد آسمان بسازد.

می‌توان همین سخن را دربارهٔ قانون دوم کپلر نیز درست دانست. طبق یک بیان تقریبی از قانون دوم، سرعت سیارات زمانی که به خورشید نزدیک می‌شوند تندتر و زمانی که از آن دور می‌شوند کندتر می‌شود. نقش نقطهٔ معدل المسیر (E) در مدل بطلمیوس نیز همین قانون است. زیرا این نقطه باعث می‌شود که مرکز فلک تدویر زمانی که به زمین نزدیک می‌شود تندتر و زمانی که از آن دور می‌شود کندتر حرکت کند (شکل). تفاوت این دو قانون در رصدهای دقیق خود را نشان می‌دهد که در زمان بطلمیوس و دوره اسلامی در دسترس نبود.

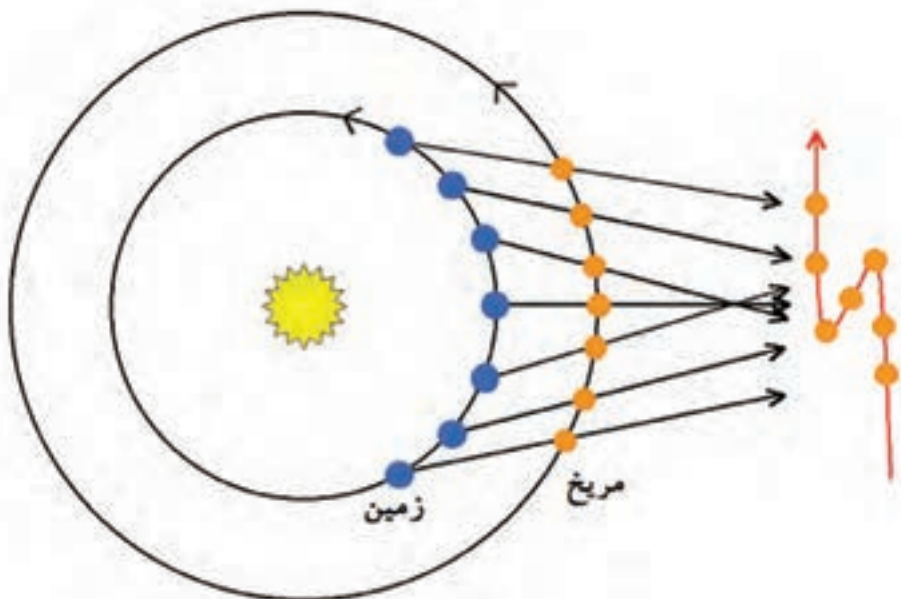


مدل سیاره‌ای بطلمیوس با نظام کپلری، به غیر از مرکزیت زمین یا خورشید، تفاوت ذاتی ندارد. فلک خارج مرکز نقشی مشابه قانون اول و نقطهٔ معدل المسیر نقشی مشابه قانون دوم کپلر بازی می‌کنند. در این تصویری می‌بینیم که مدار بیضی که خورشید S در یکی از کانون‌ها باشد با مدل خارج مرکز که زمین در S باشد و مرکز فلک در 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.

بنابراین افلاکی که در مدل های بطلمیوس فرض شده بودند، می توانستند به روش علمی و با دقت خوبی موقعیت سیارات و حرکات آنها را توضیح دهند و حتی پیش بینی کنند. پیش بینی موقعیت سیارات هدف نهایی مدل های بطلمیوسی بود. به همین دلیل در نجوم دوران اسلامی کتاب‌هایی نوشته شدند به نام «زئج» که شامل جداول عددی بسیاری است. خواننده می‌توانست با استفاده از این جدول‌ها و محاسبات ساده موقعیت سیاره در آسمان را در هر زمان و مکانی پیدا کند. می‌بینیم که نجوم قدیم به روش علم امروز بسیار نزدیک بوده است. اما با توجه به محدودیت دانسته‌ها، ابزارها و فن‌آوری‌های در دسترس آنها، بعضی از پیش فرض‌های غیرعلمی (غیر قابل تجربه) در کار دانشمندان وارد شد که تا حدی درک دقیق‌تر آنها را تا کپرنیک به تأخیر انداخت.

### نظریهٔ خورشید مرکزی

اما کپرنیک چگونه متوجه شد که خورشید در مرکز عالم است؟ کپرنیک متوجه شد که در مدل خورشید مرکز، نیازی به فلک تدویر برای توضیح حرکت بازگشتی سیارات نیست، بلکه در این مدل حرکت بازگشتی سیارات بدین نحو توضیح داده می‌شود که هر زمان زمین در مدار خود به دور خورشید از یکی از سیارات خارجی مثل مریخ جلو می‌زند، به نظر می‌رسد که آن سیاره به سمت عقب حرکت می‌کند، و در نتیجه دیگر نیازی به فرض فلک تدویر برای توضیح حرکت بازگشتی نخواهد بود (شکل).



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 دوره 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 مثلاً پرندگان و ابرها و تیره‌های 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 اولیه 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 می‌راند تویی 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 دوره اسلامی

کتاب‌های نجومی در دوره 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 طریقه 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 پیش‌بینی 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 الممكنه فی صنعہ الاسطرلاب» دربارهٔ انواع اسطرلابها و طریقه 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 پیش‌بینی کرد و موقعیت بروج<sup>۱</sup> 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 دایره البروج 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 منطقه البروج که هر قسمت یک برج فلکی نامیده می‌شود. هر برج فلکی نواری به طول ۳۰ درجه قوسی هم‌راستای دایره البروج (دایره مسیر حرکت ظاهری سالانه خورشید در آسمان) با عرض ۱۶ درجه که دایره البروج 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 ۳۰ درجه حرکت خورشید بر دایره البروج است که به‌طور متوسط با یک‌ماه خورشیدی در گاه‌شماری هجری خورشیدی هماهنگ است از این رو، برج به معنی ماه به‌عنوان یک دوازدهم سال نیز اطلاق می‌شود. اسامی برج‌های فلکی دوازده‌گانه منطقه البروج که دانشمند ایرانی عبدالرحمان صوفی در سال ۹۶۴ میلادی در اصفهان تعیین و ترسیم کرده عبارت هستند از:

۱- برج حمل؛ قوج ۲- برج ثور؛ گاو 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 نو (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 صفحه ستارگان و بروج در زیر ثابت است و خط افق روی آن می‌چرخد. بنابراین به جای آن که موقعیت ستارگان روی صفحه عنکبوتی طراحی شود و این صفحه به دور قطب شمال سماوی بچرخد، ستارگان را روی صفحه زیرین به طور ثابت طراحی کرده و دو خط کش مدرج را - که یکی نماینده ارتفاع و دیگری نماینده افق است

- 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 نظریه حرکت وضعی زمین باشد، زیرا در آن ستارگان ثابت‌اند و افق می‌چرخد. ابوریحان بیرونی نیز وقتی می‌خواهد این اسطرلاب را معرفی کند به یاد نظریه 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 درباره 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 صفحه ستارگان روی آن بچرخد، منحنی‌های افق و ارتفاع می‌گردند. (این تصویر برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جواد حسینی طباطبایی به نام «پژوهشی درباره 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 ابزارری ساخته است که یادآور نظریه چرخش وضعی زمین است، بدان معنا است که به نظریه 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 ارائه

یک نظریهٔ جدید در هیئت برشمرد. هرچند که این ساده‌تر شدن کار می‌توانسته دانشمندان را به این فکر بیندازد که با خوشید مرکزی شدن عالم، جهان مدلی ساده‌تر و قابل فهم‌تر خواهد داشت. اما باید می‌توانستند دلایلی از روی دانسته‌های حتمی برایش عنوان کنند، شاید این همان دلیلی است که بیرونی را به شک و تردید انداخته، اما به یقین نرسانده است. آنچه در خواندن تاریخ علم نباید به آسانی دست به قضاوت زد، بلکه باید با دقت و به دور از هر گونه پیش داوری فضای ذهنی و علمی روزگار دانشمندان قدیم را بشناسیم و پس از مقایسه و فهم دقیق سخنان ایشان، درکی عمیق‌تر از فرایند تحولات علمی در روزگاران گذشته بدست آوریم.

**تذکر:** در این بخش بی تردید، فهم مدل‌هایی هم‌چون فلک دشوار است، آن‌چه انتظار می‌رود، حفظ این‌گونه مدل‌ها نیست، بلکه آشنایی کلی با نظریه‌های قدیمی به‌عنوان مروری بر تاریخ علم نجوم است. بنابراین هیچ انتظار نمی‌رود شما بتوانید آن‌چه در این فصل آمد را حفظ کنید! بلکه کلیتی از آن را بدانید، فراکافی است!