فصل ششم

مشخصات زمین و حرکت‌های آن

۱ـ۶ هندسهٔ زمین

زمین نیز مانند سایر اجرامِ آسمانی و سایر سیارات منظومهٔ خورشیدی به هیچ چیز تکیه نداده است. در حوزهٔ جاذبهٔ زمین اجسام کوچک‌تر به طرف مرکز جاذبه کشیده می‌شوند، یعنی به طرف آن سقوط می‌کنند و در خارج از محیط جاذبهٔ کرهٔ زمین، بالا و پایین و صعود و سقوط مفهوم خود را از دست می‌دهد. کلمات بالا و پایین و راست و چپ کلماتی نسبی و قراردادی هستند. برای مثال، برای افرادی که در شانگ‌های (کشور چین) زندگی می‌کنند «بالا» درست در امتداد سمت «پایین» ساکنان شهرِ روزاریو (در امریکای جنوبی) است (صدیقی، ۱۳۵۴).

کرهٔ زمین، مانند سایر سیارات منظومهٔ خورشیدی، در امتداد مسیر ثابتی، بدون اندک توقفی، به دور خود و به دور خورشید می‌چرخد. میلیون‌ها سال است که این چرخش ادامه دارد و میلیون‌ها سال دیگر نیز ادامه خواهد داشت. مدار حرکت زمین به دور خورشید بیضی نزدیک به دایره است و محیط آن متجاوز از ۹۳۰ میلیون کیلومتر است و خورشید در یکی از دو کانون آن قرار دارد. زمین این مسافت را در ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه با سرعتی نزدیک به ۳۰ کیلومتر در ثانیه (۱۰۷ هزار کیلومتر در ساعت) می‌پیماید. به این مدار، همان‌طور که گفته شد، دایرةالبروج می‌گویند.

۱ـ۱ـ۶ محور زمین

محور زمین[1] خطی فرضی است که زمین حرکت چرخشی (وضعی) خود را به دور آن انجام می‌دهد. محل تلاقی این خط با زمین را قطب شمال[2] و قطب جنوب[3] جغرافیایی می‌گویند. به عبارت دیگر، محور زمین دو قطب شمال و جنوب جغرافیایی را به هم وصل می‌کند. امتداد محور زمین در فضا به فاصلهٔ تقریباً یک درجه از کنار یکی از ستارگان واقع در صورت فلکی خرس بزرگ (دب اکبر)، ستارهٔ قطبی[4] یا جدی می‌گذرد. لذا، ستارهٔ قطبی برای ساکنان نیم‌کرهٔ شمالی وسیلهٔ خوبی برای جهت‌یابی است. پیدا کردن امتداد جنوبی محور زمین قدری مشکل است و می‌توان از ستارهٔ صلیب جنوبی[5] کمک گرفت. محور زمین نسبت به صفحهٔ دایرةالبروج (صفحهٔ مدار انتقالی زمین به دور خورشید) عمود نیست و با آن زاویهٔ ۶۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۶ ثانیه می‌سازد.

۲ـ۱ـ۶ شکل زمین

بشر مدت‌های متمادی از شکل، ابعاد و خصوصیات حقیقی کره‌ای که بر روی آن زندگی می‌کرد به کلی بی‌خبر بود و با توجه به آنچه می‌دید تصور می‌کرد که بر روی جسم مسطحی سکونت دارد و وسعت آن را نیز همان قدر می‌پنداشت که در زندگی روزمره از آن استفاده می‌کرد.

شناسایی و توصیف زمین با مسافرت‌های دریانوردان در قرون قبل از میلاد آغاز شد. برای اولین‌بار دریانوردان فنیقی از تنگهٔ جبل‌الطارق (ستون‌های هرکول) گذشتند و وارد اقیانوس اطلس شدند. در قرون وسطی جهانگردان و دریانوردان با ملیت‌های مختلف به توصیف زمین، شکل و ابعاد آن پرداختند. در این دوره مشاهدات ستاره‌شناسان در شناسایی زمین و اندازه‌گیری ابعاد آن بسیار مؤثر بود. کشف دماغهٔ

1. Earth Axis
2. North Pole
3. South Pole
4. Polaris
5. Southern Cross

امیدنیک در قرن دوازدهم میلادی به وسیلهٔ پرتغالی‌ها، مسافرت کریستف کلمب در سال ۱۴۹۲ میلادی، و گذشتن ماژلان در سال ۱۵۱۹ میلادی، از امریکای جنوبی و اقیانوس آرام، زمینهٔ خوبی برای توصیف شکل زمین به وجود آورد. امروزه به کمک تلسکوپ‌ها، ماهواره‌ها، اشعهٔ لیزر، و سایر ابزار نجومی به خوبی و با دقت کافی می‌توان از شکل، ابعاد و اندازه‌های زمین مطلع شد. نخستین عکس‌برداری‌های فضایی از زمین با راکت‌های حامل دوربین‌های نجومی بود. این عکس‌ها هرچند برای نشان دادن شکل و اندازهٔ زمین کافی نبودند، اما انحنای زمین و گسترش اتمسفر را به خوبی نشان می‌دادند (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

دلایل متعدد برای اثبات کروی بودن شکل زمین به شرح ذیل‌اند:

۱. بهترین دلیل کروی بودن زمین عکس‌هایی است که به وسیلهٔ موشک‌ها، اقمار مصنوعی و فضانوردان از فواصل دور از زمین گرفته شده است. به علاوه، تمام فضانوردان زمین را از فاصلهٔ دور به صورت کروی مشاهده کرده‌اند.

۲. با یک نگاه سطحی به آسمان معلوم می‌شود که کلیهٔ سیارات شکل کروی دارند و چون زمین یکی از این سیارات است، ازاین‌رو، زمین نیز کروی شکل است.

۳. در هنگام خسوف، یعنی گرفتن ماه که زمین بین خورشید و ماه قرار می‌گیرد، پیوسته سایهٔ زمین در روی ماه به شکل دایره یا قسمتی از آن مشاهده می‌گردد. نظر به اینکه تنها حجمی که سایه‌اش در همه حال دایره است کره است، نتیجه می‌گیریم که شکل زمین کروی است.

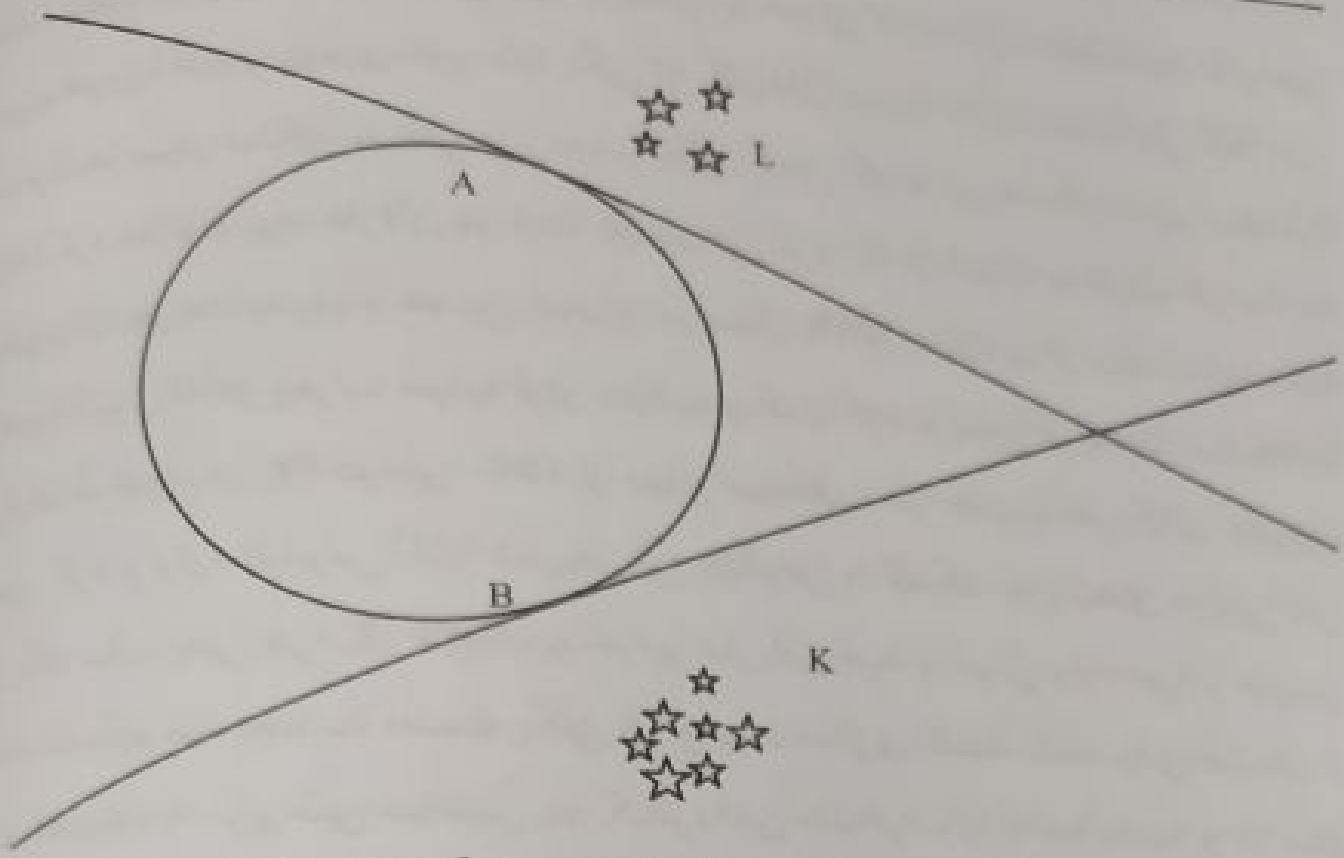
۴. ساده‌ترین روش اثبات کروی بودن زمین مشاهدهٔ کشتی است که از دور به ساحل نزدیک یا از آن دور می‌شود. اگر سطح زمین هموار بود، تا مسافتی بسیار دور می‌توانستیم کلیهٔ قسمت‌های کشتی را ملاحظه نماییم در حالی که در مسافت کوتاهی قسمت‌های پایین کشتی از نظر ما پنهان می‌ماند، ولی دکل آن هنوز قابل رؤیت است. دور شدن کشتی و در نتیجه مخفی‌شدن تدریجی قسمت‌های مختلف آن فقط به دلیل کروی بودن زمین است.

۵. یکی از خواص اجسام کروی این است که اگر از هر نقطهٔ سطح آن به

خط مستقیم در یک جهت پیش رویم، پس از مدتی دوباره به نقطهٔ اول خواهیم رسید. امروزه مسافرت‌های دور دنیا یکی از کارهای بسیار عادی است، ولی قبلاً این مسافرت‌ها بسیار مشکل به نظر می‌رسید. اولین کسی که به این مسافرت پر مخاطره اقدام کرد ماژلان بود. ماژلان در ابتدا تصور می‌کرد که از اسپانیا به طرف غرب، به هندوستان خواهد رسید. با همین تصور در سال ۱۵۱۹ میلادی از مصب رودخانهٔ وادی‌الکبیر، که در مغرب اسپانیا قرار دارد، حرکت کرد و پس از تحمل مشکلات فراوان سرانجام در ۲۷ نوامبر ۱۵۲۰ از معبر مشکلی، در جنوب امریکای جنوبی، عبور کرد و وارد اقیانوس کبیر شد. در این اقیانوس با کمک جریان‌های دریایی پس از یک سال، یعنی در سال ۱۵۲۱، به جزایر ماریان رسید و سپس وارد جزایر فیلیپین شد، اما یک ماه بعد به دست یکی از بومیان مالزی کشته شد، ولی عده‌ای از همراهان او، به سرپرستی سباستین دو کانو، این مسافرت را ادامه دادند و در سال ۱۵۲۲ به اسپانیا رسیدند. مسافرت ماژلان مسافرتی علمی بود، زیرا اولین باری بود که بشر توانست دور کرهٔ زمین را به این شکل طی کند؛ به این ترتیب، کروی بودن زمین بیش از پیش به اثبات رسید.

۶. آسمان، ستارگان و افق زمین بهترین دلیل برای کروی بودن زمین‌اند؛ زیرا برای مسافری که از یک منطقه به منطقهٔ دیگر مسافرت می‌کند و افق خود را تغییر می‌دهد مقدار ستارگانی که در بالای افق او هستند به‌تدریج تغییر می‌کند. با توجه به شکل ۱ـ۶ هرگاه شخصی در نقطهٔ A قرار گرفته باشد، فقط ستارگانی را می‌بیند که در بالای افق A قرار دارند، در حالی که این شخص ستارگان K را نمی‌تواند مشاهده کند، ولی با تغییر افق خود، یعنی هرگاه از A به B پیش رود، به‌تدریج دستهٔ ستارگان L از نظرش مخفی شده و دستهٔ ستارگان K ظاهر می‌گردد. مشاهدهٔ این وضع تنها در اشکال کروی میسر است.

۷. طلوع و غروب آفتاب نیز یکی دیگر از دلایل کروی بودن زمین است، بدین ترتیب که هرگاه طلوع و غروب آفتاب را در روی یکی از مدارهای سطح زمین مشاهده کنیم، معلوم می‌شود که خورشید در نقاط شرقی قبل از نقاط غربی



شکل ۱ـ۶ اثبات کروی بودن زمین از طریق تغییر ستارگان قابل رؤیت در آسمان

طلوع و همچنین زودتر غروب می‌کند. درحالی که اگر زمین هموار بود، به محض ظاهر شدن قسمتی از خورشید یک مرتبه تمام آن روشن و یا پس از غروب کردن به محض مخفی شدن خورشید، تمام سطح آن تاریک می‌شد.

۸. تغییر دید ناظر برحسب تغییرات ارتفاع: هرگاه از سطح دریا و یا جلگهٔ همواری اطراف خود را مشاهده کنیم، خواهیم دید که حداکثر دید ما یکسان نیست و با تغییر ارتفاع فرق می‌کند. شاید این موضوع را با مسافرت‌های علمی و یا کوه‌پیمایی‌هایی که کرده‌اید ملاحظه کرده باشید که هرچه ارتفاع زیاد شود، شعاع دید نیز زیادتر می‌شود (جدول ۱ـ۶). این جدول نشان می‌دهد که مسافت افق برحسب ارتفاع نقطهٔ دید تغییر می‌کند و به‌تدریج زیاد می‌شود و باید متوجه بود که این افزایش متناسب با افزایش ارتفاع نمی‌باشد. به طور کلی، باید در نظر داشته باشیم که عقب رفتن در ابتدا با ازدیاد ارتفاع به سرعت زیاد، ولی به‌تدریج با ازدیاد ارتفاع از سرعت پیشرفت افق کسر می‌شود. برای مثال، باید گفت که از صفر تا ۱۰۰۰ متر که بالا برویم، افقی که در ارتفاع یک متری در حدود ۳/۵ کیلومتر دیده می‌شد در ۱۰۰۰

متری به ۱۱۳ کیلومتر می‌رسد. در صورتی که برای همین اختلاف ارتفاع یعنی از ۹ هزار تا ۱۰ هزار متر افق از ۳۳۷ کیلومتر به ۳۶۵ کیلومتر می‌رسد، یعنی در این اختلاف ۱۰۰۰ متر دوم اختلاف دید مساوی با ۱۹ کیلومتر است.

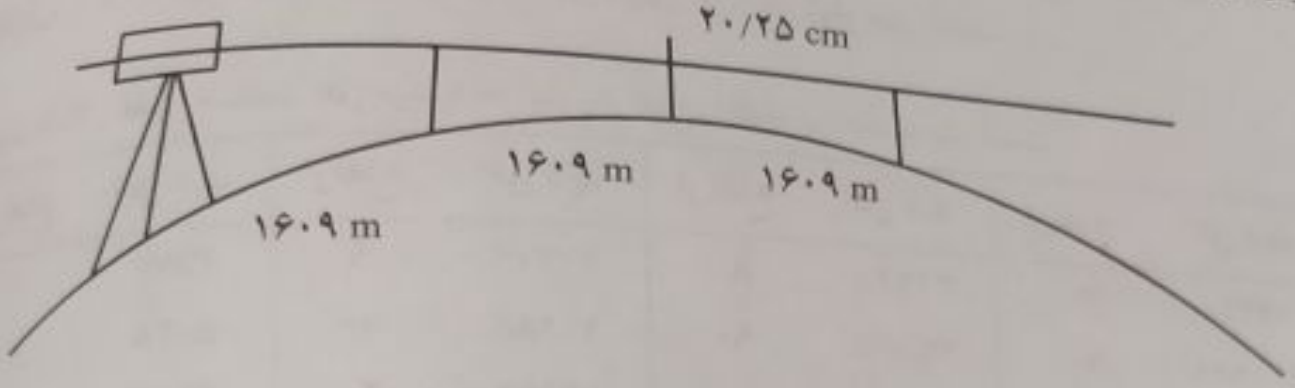
جدول ۱ـ۶ تغییر مسافت افق دید با افزایش ارتفاع. اعداد برحسب متر است.

ارتفاع	افق دید	ارتفاع	افق دید	ارتفاع	افق دید	ارتفاع	افق دید
۱	۳۵۷۰	۹	۱۰۷۰۹	۸۰	۳۱۹۲۸	۷۰۰	۹۴۴۴۰
۲	۵۰۴۸	۱۰	۱۱۲۸۸	۹۰	۳۳۸۶۵	۸۰۰	۱۰۰۹۶۸
۳	۶۱۸۳	۲۰	۱۵۹۶۴	۱۰۰	۳۵۶۹۶	۹۰۰	۱۰۷۰۹۲
۴	۷۱۳۹	۳۰	۱۹۵۵۲	۲۰۰	۵۰۴۸۲	۱۰۰۰	۱۱۲۸۸۶
۵	۷۹۸۲	۴۰	۲۲۵۷۶	۳۰۰	۶۱۸۲۸	۲۰۰۰	۱۵۹۶۵۱
۶	۸۷۴۴	۵۰	۲۵۲۴۱	۴۰۰	۷۱۳۹۴	۳۰۰۰	۱۹۵۵۳۹
۷	۹۴۴۴	۶۰	۲۷۶۵۰	۵۰۰	۷۹۸۲۱	۴۰۰۰	۲۳۵۷۹۸
۸	۱۰۰۹۶	۷۰	۲۹۸۶۶	۶۰۰	۸۷۴۴۰	۵۰۰۰	۲۵۲۴۶۰

۹. تجربهٔ بدفورد لِول[1]: بدفورد لول در قرن هفدهم میلادی، در شرق انگلستان داخل کانالی که آب آن کاملاً آرام بود سه میله را بر روی آب به نحوی نصب کرد که ارتفاع همهٔ میله‌ها از سطح آب یکسان و این سه میله در امتداد هم و فاصلهٔ بین آن‌ها مساوی و به اندازهٔ یک میل (۱۶۰۹ متر) بود. بدین ترتیب، اگر سطح مورد آزمایش هموار و مسطح بود، ضمن مشاهدهٔ انتهای این میله‌ها با دوربین مساحی، باید سه رأس آن‌ها در یک امتداد دیده می‌شد، ولی بدفورد لِول ضمن مشاهدهٔ انتهای این میله‌ها رأس آن‌ها را در یک امتداد ندید و هنگامی که انتهای میلهٔ اول و آخری را در نظر گرفته بود، میلهٔ دوم را به اندازهٔ ۲۰/۲۵ سانتی‌متر بالاتر از امتداد آن‌ها مشاهده کرد (شکل ۲ـ۶). این اختلاف ارتفاع به این دلیل است که سطح مورد آزمایش او کروی بود. از روی این انحنا می‌توانیم شعاع و سپس ابعاد زمین را اندازه‌گیری کنیم. نکته‌ای که در این تجربه باید در نظر داشته باشیم این است که

1. Bed-Ford-Level

هرچه فاصلهٔ بین میله‌ها از یکدیگر بیشتر شود، اختلاف ارتفاع میلهٔ وسطی با امتداد دو رأس میله‌های اول و آخر نیز زیادتر می گردد (صدیقی، ۱۳۵۴).



شکل ۲ـ۶ اثبات کروی بودن زمین بر اساس آزمایش بدفورد لول

۳ـ۱ـ۶ شکل حقیقی زمین

چنان که گفته شد، شکل زمین تقریباً کروی است، ولی این تعریف سادهٔ هندسی هنگامی صحیح است که زمین را مانند سایر ستارگان از فاصلهٔ بسیار دور مشاهده کنیم، زیرا در این صورت پستی و بلندی‌های زمین در مقابل ابعادش ناچیز می گردد و تقریباً شکل کرهٔ کاملی را به خود می گیرد. در نتیجهٔ تحقیقات دقیق و اندازه گیری‌های گوناگون معلوم شده است که زمین شکل هندسی کاملاً کروی ندارد. صرف نظر از پستی و بلندی‌ها، قطب‌های کرهٔ زمین قدری فرو رفته و استوای آن برآمدگی دارد. این فرورفتگی و برآمدگی بر اثر حرکت وضعی زمین ایجاد شده است. شکل حقیقی زمین را از روی نصف‌النهارها نیز می‌توان تشخیص داد. اگر زمین کروی کامل بود، شکل نصف‌النهارها کاملاً مستدیر و فاصلهٔ طولی بین کلیهٔ زوایای آن نیز یکسان بود.

در سال ۱۶۷۰ پیکارد[1] فرانسوی طول یک درجه از قوس نصف‌النهار را در شهر پاریس اندازه گرفت و چون مقدار حاصل را با مقادیر دیگری، که از سایر نقاط سطح زمین به دست آمده بود، مقایسه کرد دریافت که هیچ‌یک از این اندازه‌ها با یکدیگر برابر نیست.

1. Picard

موضوع دیگری که این امر را تأیید می‌کند قوهٔ جاذبهٔ زمین در نقاط مختلف است. اگر پاندولی را از جهت آزاد خود منحرف کنیم، پس از تعدادی نوسان می‌ایستد. تعداد نوسان‌های پاندول پیوسته با طول آن، جسم متحرک، و نیروی جاذبهٔ زمین بستگی دارد. هرگاه طول پاندول ثابت باشد، باز تعداد نوسان‌ها در نقاط مختلف سطح زمین یکسان نخواهد بود. این اختلاف در نتیجهٔ نیروی جاذبهٔ زمین است که این جاذبه طبق شعاع زمین تغییر می‌کند. بدین معنی که هرچه شعاع زمین کمتر باشد (به سمت قطب‌ها) اثر جاذبه زیادتر است و هرچه شعاع بیشتر باشد (به سمت استوا) اثر نیروی جاذبه کمتر است.

در سال ۱۶۷۲ میلادی ریشتر[1] فرانسوی به شهر کاین (پایتخت گویان فرانسه)، که عرض جغرافیایی آن ۵ درجه است، سفر کرد و طول نصف‌النهار را در آنجا به‌دست آورد. در ضمن چون طول یک درجه از نصف‌النهار را در شهر پاریس، که در عرض شمالی ۴۹ درجه است، در دست داشت، با این نقطه مقایسه و ملاحظه کرد که این دو اندازه برابر نمی‌باشند. علت این امر مربوط به اختلاف شعاع زمین است که در شهر کاین شعاع زمین بزرگ‌تر از شعاع زمین در پاریس است. نیوتن نیز این عقیده را ثابت کرد که شعاع زمین در نقاط مختلف سطح زمین یکسان نیست. البته نیوتن این موضوع را از روی اختلاف جاذبهٔ زمین در قسمت‌های مختلف به‌دست آورد.

خلاصه اینکه امروزه کاملاً اثبات شده است که زمین شکل کرهٔ کامل ندارد و به شکل شلجمی[2] است؛ یعنی در قطب فرو رفته و در استوا بالا آمده است و مقدار این اختلاف برآمدگی و فرورفتگی بین قطب و استوا حدود ۲۱ کیلومتر است. چون درجهٔ پهن‌شدگی (فشردگی) یک کرهٔ کامل صفر است و با توجه به اینکه زمین یک کرهٔ کامل نیست، یعنی شعاع استوایی ۶۳۷۸/۱۶ کیلومتر و شعاع قطبی ۶۳۵۶/۷۸ کیلومتر است؛ از این‌رو درجهٔ پهن‌شدگی کرهٔ زمین را از فرمول زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$A = \frac{De - Dp}{De}$$

1. Richter
2. Ellipsoide

که در آن A شاخص پهن‌شدگی، De شعاع استوایی و Dp شعاع قطبی است.

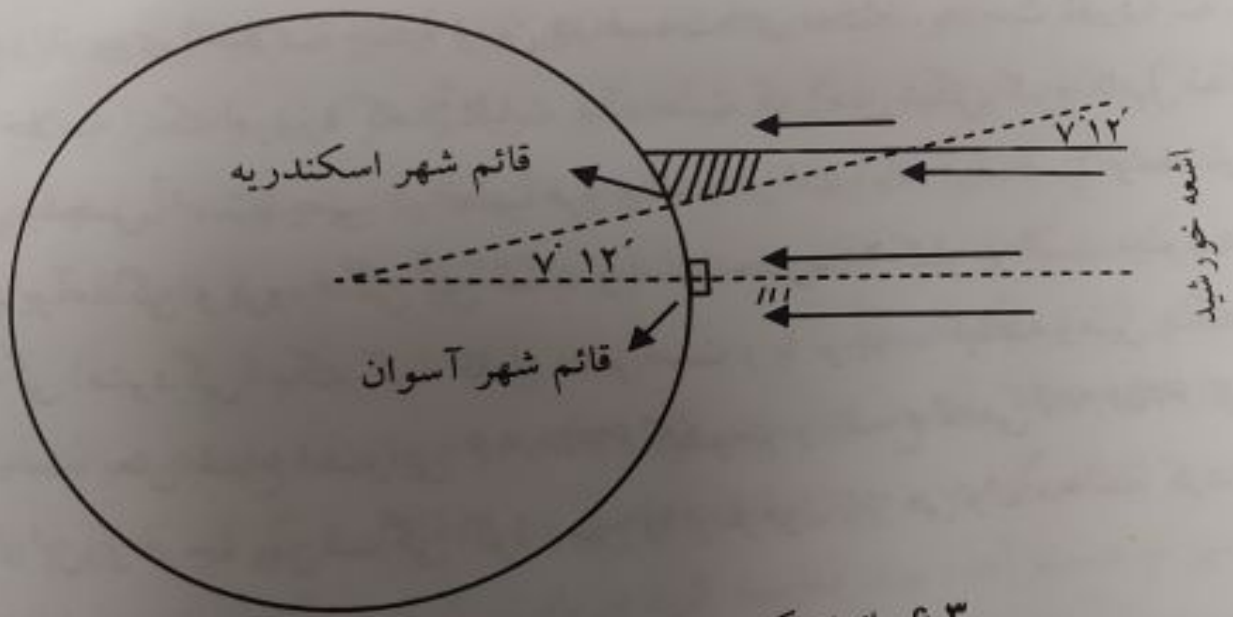
بنابراین:

$$A = \frac{۶۳۷۸/۱۶ - ۶۳۵۶/۷۸}{۶۳۷۸/۱۶} = \frac{۱}{۲۹۸/۲۵}$$

پس درجهٔ پهن‌شدگی کرهٔ زمین $\frac{۱}{۲۹۸/۲۵}$ است.

۴ـ۱ـ۶ ابعاد زمین

در سال ۲۲۰ قبل از میلاد اراتوستن[1]، دانشمند جغرافی‌دان یونانی، برای نخستین‌بار محیط زمین را اندازه‌گیری کرد. او مشاهده کرده که در شهر سین[2] (آسوان)، در کشور مصر، موقع ظهر روز اول تابستان آفتاب عمود می‌تابد و تابش آن از ته چاه قابل رؤیت است (شکل ۳ـ۶). همچنین او ملاحظه کرد که در همین زمان در شهر اسکندریه، به فاصلهٔ ۸۰۰ کیلومتر در شمال شهر سین، چنین پدیده‌ای مشاهده نمی‌شود و آفتاب مایل می‌تابد. اراتوستن می‌دانست که زمین کروی است و شعاع خورشید به طور موازی به زمین می‌تابد؛ از این‌رو، در شهر اسکندریه شکل ستونی



۳ـ۶ اندازه‌گیری محیط به روش اراتوستن

1. Eratosthene
2. Syene

قائم نصب کرد و در لحظه‌ای که در شهر سین آفتاب به ته چاه می‌تابید زاویهٔ ستون قائم در اسکندریه را ۷ درجه و ۱۲ دقیقه محاسبه کرد. همان‌طور که می‌دانیم این زاویه اختلاف عرض جغرافیایی دو شهر را تعیین می‌نماید؛ از طرفی، چون فاصلهٔ بین دو شهر سین و اسکندریه برابر با ۵۰۰۰ استادیا[1] بود، به راحتی توانست محیط زمین را ۲۵۰ هزار استادیا، که حدود ۴۰/۶۱۰ کیلومتر و به اندازهٔ واقعی محیط زمین یعنی ۴۰/۰۷۵ کیلومتر نزدیک است، محاسبه کند (هر استادیا تقریباً برابر ۱۸۴ متر است). نکتهٔ جالب توجه این است که با نبودن وسایل کافی در آن روز و ابتدایی بودن این اندازه‌گیری نتیجه‌ای که حاصل شد با اندازه‌گیری‌هایی که امروزه با نهایت دقت به عمل می‌آید اختلاف زیادی ندارد (خطای اندازه‌گیری ۳/۱ درصد است).

بعد از اراتوستن شخص دیگری به نام پوزیدونیوس[2] و سپس بطلمیوس نیز متوجه این روش اندازه‌گیری شدند و به ترتیب ارقام ۴۳ هزار کیلومتر و ۳۸ هزار کیلومتر را در این رابطه به‌دست آوردند. سطح زمین ۵۱۰ میلیون و ۱۰۱ هزار کیلومتر مربع و حجم آن ۱۰۸ میلیارد و ۳۳۲ میلیون کیلومتر مکعب محاسبه شده است.

۶-۲ میدان مغناطیسی زمین

وقتی اسم مغناطیس برده می‌شود به یاد آهن‌ربا می‌افتیم که دارای دو قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) است. خاصیت آهن‌ربایی در یک نوع اکسید آهن طبیعی (Fe_3O_4) معروف به مگنتیت دیده می‌شود، ولی اکسید آهن مصنوعی چنین خاصیتی ندارد. از طرف دیگر، با مجاور کردن آهن یا اکسید آهن غیرمغناطیسی با اکسید آهن طبیعی می‌توان خاصیت آهن‌ربایی را در آن‌ها ایجاد کرد. در ضمن، با قرار دادن یک میلهٔ آهنی در وسط یک سیم‌پیچ، که برق از آن می‌گذرد، می‌توان در میلهٔ آهنی خواص مغناطیسی ایجاد کرد.

1. Stadia
2. Posidonius

اما چرا کرهٔ زمین میدان مغناطیسی دارد؟ یکی از پاسخ‌ها این است که به علت وجود آهن و نیکل در مرکز زمین و خواص مغناطیسی آن‌هاست. این پاسخ درست نیست، زیرا این مواد در مرکز زمین در دمای بسیار بالا هستند و در چنین دمایی مولکول‌ها دارای حرکت‌های چرخشی سریع‌اند و نمی‌توانند در جهت خاصی قرار گیرند.

پاسخ دیگر این است که زمین، بر اثر چرخش، میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد؛ زیرا هر جرم بزرگی که به دور خود بچرخد میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این پاسخ نیز با اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین در طول تاریخ زمین و تغییراتی که در این میدان به وجود آمده است تطابق ندارد و از سوی دیگر، نظریهٔ میدان مغناطیسی زمین هم باید همیشه ثابت باشد، در صورتی که دو قطب شمال و جنوب مغناطیسی کرهٔ زمین چند بار عوض شده‌اند (وثوق، بی‌تا).

پاسخ دیگر این است که کرهٔ زمین را به یک دینامو، که خود به خود تحریک می‌شود، تشبیه می‌کنند و این را تئوری دینامو می‌گویند.

چنان‌که می‌دانیم دینامویی که به چرخ یک دوچرخه وصل است بر اثر چرخش یک آهن‌ربا جریان الکتریسیته به وجود می‌آورد. از طرف دیگر، می‌دانیم که با استفاده از جریان الکتریسیته می‌توانیم یک میدان مغناطیسی به وجود آوریم. تئوری دینامو در مورد هستهٔ زمین با دو فرض زیر تأیید می‌شود:

۱. فرض اینکه زمین یک میدان مغناطیسی اولیه داشته است که این میدان را می‌توان ناشی از میدان مغناطیسی خورشید دانست.

۲. و فرض دیگر اینکه در هستهٔ مایع زمین جریان‌هایی وجود دارد.

با در نظر گرفتن فرض‌های مذکور آیا می‌توانیم به طریقی جریان‌های داخلی هستهٔ زمین را توجیه کنیم؟ چون اگر میدان مغناطیسی اولیه‌ای وجود داشته باشد، جریان الکتریسیتهٔ القایی در آن تولید می‌شود و این جریان خود میدانی مغناطیسی القا می‌کند و به همین ترتیب، میدان مغناطیسی اولیه حفظ و تشدید می‌شود.

جریان‌های موجود در هستهٔ مایع زمین به چند روش تبیین شده‌اند. نخست، می‌توان گفت که به علت اختلاف دمای هسته و جبه اختلاف چگالی به وجود می‌آید؛ یعنی در نقاطی از جبه که به علت سردتر بودن، سنگین‌تر از هستهٔ گرم‌تر است، این اختلاف چگالی موجب جریان‌هایی می‌شود؛ یعنی قسمت سنگین به طرف مرکز زمین می‌رود و قسمت سبک‌تر به طرف خارج. اختلاف دما در نقاط مختلف هسته را در بسیاری از موارد دلیل جریان‌های موجود در هسته می‌دانند و این اختلاف دما خود ناشی از واکنش‌های هسته‌ای است. دوم، به علت سیال بودن قسمتی از هسته گفته می‌شود که در حین چرخش قسمت مایع نمی‌تواند قسمت جامد را دنبال کند و در مایع جریان‌های گردابی به وجود می‌آید. سؤالی که اکنون باید بدان پاسخ دهیم این است که با این تئوری چگونه می‌توان تغییرات میدان مغناطیسی را توضیح داد؟

در طول زمان نخست، امکان به وجود آمدن جریان‌های گردابی کوچک در جهت مخالف جریان‌های اولیه وجود دارد. دوم، چون همیشه مایع همراه با جامد حرکت نمی‌کند، کلیهٔ این جریان‌ها می‌توانند به‌تدریج تغییر جهت دهند و بدین وسیله، محل قطب شمال و جنوب کرهٔ زمین تغییر کند (این کاری است که در طول تاریخ زمین چند بار انجام گرفته است). تغییر قطب شمال و جنوب مغناطیسی زمین موجب دگرگونی آب و هوای مناطق کرهٔ زمین شده است.

آن قسمت از فضا را که از میدان مغناطیسی زمین متأثر است مغناط کره[1] می‌نامند (شکل ۴ـ۶). در صورتی که عاملی به نام باد خورشید وجود نمی‌داشت، دامنهٔ مغناط کرهٔ زمین تا مسافتی معادل ۱۰۰ برابر شعاع زمین در فضا گسترش می‌یافت و کرهٔ عظیمی را به شعاع تقریبی ۱ میلیون و ۲۰۰ هزار کیلومتر در فضا ایجاد می‌کرد، ولی بادهای خورشیدی کرهٔ مزبور را دگرگون ساخته و آن قسمت از مغناط کرهٔ زمین را که رو به خورشید واقع است به شعاع ۸ تا ۱۰ برابر شعاع زمین فشرده و به عقب رانده است و جهت مقابل آن را به شکل دنبالهٔ طویلی در فضا

1. Magnetosphere

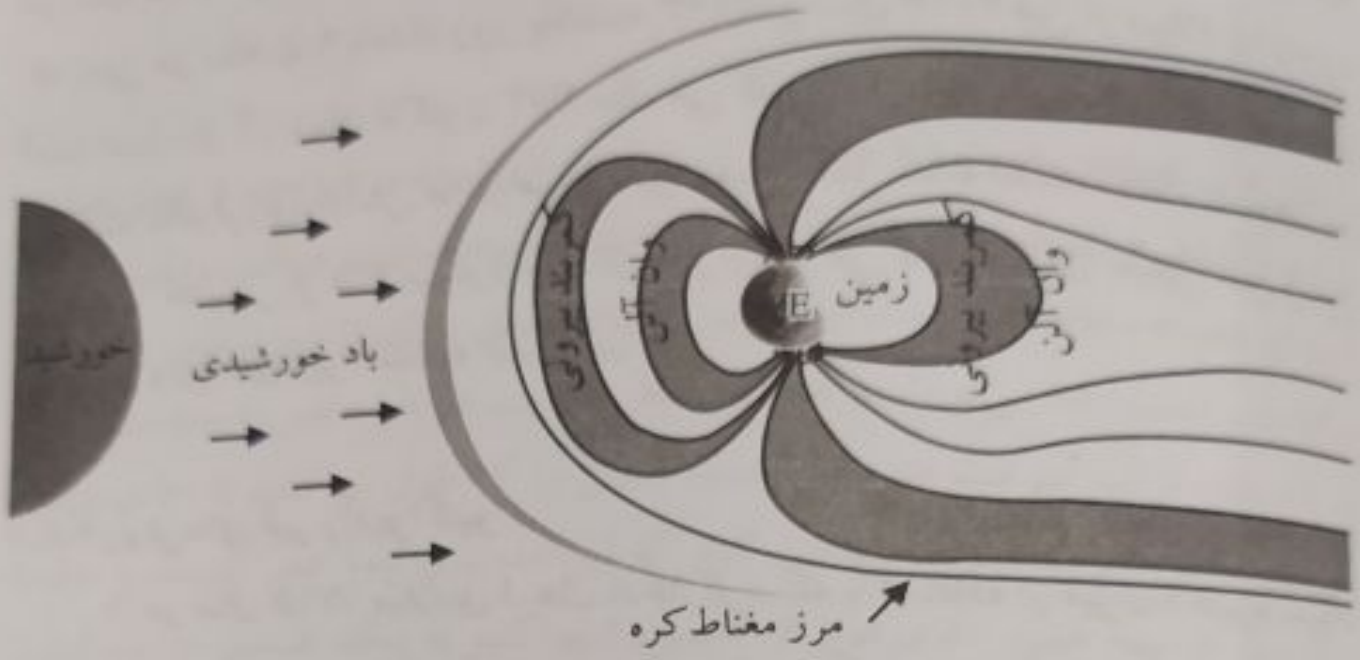
پراکنده است. آزمایش‌هایی که به تازگی انجام شده است نشان می‌دهد که دنبالهٔ مغناطکره حتی تا ۱۰۰۰ برابر شعاع زمین در فضا کشیده شده است. چنان‌که می‌دانیم با استفاده از قطب‌نما می‌توانیم قطب شمال و جنوب زمین را تعیین کنیم. از طرف دیگر، بعضی از سنگ‌ها که شامل اکسید آهن‌اند، خواص مغناطیسی شدیدی از خود نشان می‌دهند. این سنگ‌ها در حین تشکیل شدن، یعنی هنگامی که از حالت مذاب به حالت متبلور درآمدند، میدان مغناطیسی زمین را ضبط کرده‌اند، یعنی مولکول‌های آن‌ها در امتداد میدان مغناطیسی آن موقع زمین جهت‌گیری کرده‌اند. پس با تعیین جهت میدان مغناطیسی و تعیین طول عمر سنگ‌ها، می‌توان جهت میدان مغناطیسی را در زمان‌های معین به دست آورد.

در بخش رو به خورشید مغناطکرهٔ زمین در برخورد با ذرات پر انرژی باد خورشیدی پس رانده و فشرده می‌گردد و همانند سپری در برابر فشار ذرات مزبور می‌ایستد. برعکس، بخش پشت به خورشید آن به صورت دنبالهٔ درازی در فضا کشیده می‌شود. در مغناطکرهٔ زمین منطقهٔ ممنوعه‌ای وجود دارد که ذرات بسیار پر انرژی و باردار کیهانی در آن به دام می‌افتند. این منطقه، که در سال ۱۹۵۸ به کمک سفینه‌های اکسپلورر[1] ۱ و ۳ شناخته شده، به افتخار کاشف آن، دکتر جمیز وان آلن[2]، کمربندهای وان آلن نامیده می‌شود. این منطقه از ذرات باردار (پروتون و الکترون‌ها) در اطراف کرهٔ زمین شامل دو کمربند داخلی به فاصلهٔ ۲۶۰۰ کیلومتر و کمربند خارجی در فاصلهٔ ۱۸ هزار کیلومتری از سطح زمین قرار دارند و در اثر به دام افتادن تشعشعات ذرات باردار خورشیدی و کیهانی به وسیلهٔ میدان مغناطیسی زمین ایجاد شده‌اند (شکل ۴ـ۶).

پدیدهٔ شفق قطبی ناشی از الکترون‌ها و پروتون‌های خورشیدی است که در کمربند وان آلن گرفتار شده، در نیم کرهٔ شمالی به صورت نواری نورانی در امتداد قطب مغناطیسی زمین مشاهده می‌شود و حدود ۲۲ درجه و یا ۲۲۴۰ کیلومتر قطر

1. Explorer
2. James Van Allen

دارد. این پدیده در نواحی آلاسکا، گروئنلند، شمال اسکاندیناوی یا شمال سیبری (عمدتاً در عرض‌های ۶۶ تا ۸۵ درجه) قابل رؤیت است.



شکل ۴ـ۶ مغناط کرهٔ زمین

علت وجود این پدیده آن است که ذرات باردار خورشید مولکول‌های موجود در بالای جو را بمباران می‌کنند و تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند و در اثر برخورد این ذرات مولکول‌ها و اتم‌ها نوری را پخش می‌کنند که به صورت شفق قطبی دیده می‌شود. آن دسته از ذرات که انرژی کمتری دارند در ارتفاع ۲۴۰ کیلومتری تحریک شده، انرژی را به صورت نور قرمز منتشر و بعضی از ذرات تا ارتفاع ۹۶ کیلومتری جو نفوذ می‌کنند. در ارتفاع کمتر از ۲۰۰ کیلومتری انرژی به علت انتشار تشعشع اکسیژن، هیدروژن، و نیتروژن به صورت نور سبز رؤیت می‌شود. همچنین باید به ابرهای شب‌تاب اشاره کرد که در صورت فقدان شفق‌های قطبی بر اثر تحریک مولکول‌های هوا به وسیلهٔ انرژی خورشیدی ایجاد و در طول روز و شب در آسمان گسترده می‌شوند. درخشندگی آن‌ها عمدتاً بین ارتفاع ۹۶ تا ۱۹۲ کیلومتری است (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

۳ـ۶ سن زمین

در سال ۱۶۴۵ میلادی عالی‌جناب جیمز آشر، اسقف کلیسای شهر آرما، اعلام کرد که زمین در ساعت ۹ بامداد روز یکشنبه ۲۳ اکتبر سال ۴۰۰۴ قبل از میلاد به وجود آمده است. از آن زمان تاکنون ۳۷۲ سال می گذرد. امروزه، به کمک علوم جدید و پیشرفت تکنولوژی، دانش ما در مورد سن زمین کامل شده است. اعتقاد عمومی بر این است که بیش از ۴/۵ میلیارد سال از عمر زمین می گذرد. برای تعیین سن زمین بیشتر از روش‌های زیر استفاده شده است:

۱ـ۳ـ۶ روش‌های غیر رادیواکتیو

۱. در سال ۱۷۱۵ میلادی ا. هال ادعا کرد که با استفاده از میزان ذخیرهٔ نمک موجود در اقیانوس‌ها می‌توان سن زمین را مشخص کرد.

۲. در سال ۱۸۹۷ میلادی لرد کلوین اعلام کرد که کرهٔ زمین ۲۰ تا ۴۰ میلیون سال وقت لازم داشته است تا به صورت فعلی سرد و منجمد شود، اما چون کلوین میزان از دست رفتن انرژی را، از آن زمان تاکنون، ثابت در نظر گرفته بود، لذا نتوانست به سن واقعی زمین برسد.

۳. سنجش شوری اقیانوس‌ها؛ در سال ۱۸۹۹، جان جولی سن کرهٔ زمین را، با توجه به میزان نمک موجود در اقیانوس‌ها، حدود ۸۰ تا ۹۰ میلیون سال تخمین زد، اما از آنجا که او هم ورود املاح به اقیانوس‌ها را ثابت فرض می کرد، لذا نتوانست سن واقعی زمین را مشخص کند.

۴. انباشتگی سنگ‌های رسوبی و سرعت تجزیهٔ سنگ‌های آذرین، که این روش نیز قابل اطمینان نیست.

۵. روش بررسی ضریب ثابت خورشیدی.

۶. روش مربوط به افزایش مدت حرکت وضعی زمین به دلیل تأثیر جزر و مد.

۷. بررسی تغییرات مربوط به خروج از مرکز حرکت انتقالی عطارد.

تمام روش‌های فوق و سایر کوشش‌های مشابه با موفقیت علمی همراه نبود تا

زمانی که خاصیت رادیواکتیو کشف و امکان دستیابی به فرایندی با سرعت ثابت برای تعیین سن زمین فراهم شد.

۲ـ۳ـ۶ روش‌های رادیواکتیو

واکنش‌های هسته‌ای همواره با سرعتی ثابت انجام می‌شوند و عواملی از قبیل فشار، دما، و واکنش‌های شیمیایی در آن تأثیر ندارند. به عبارت دیگر، واکنش‌های هسته‌ای همیشه دچار تغییرند، لیکن تعیین زمان دقیق برای از بین رفتن هر هسته امکان‌پذیر نیست، اما می‌توان سرعت متوسط تخریب در هر عنصر را به دست آورد و با استفاده از این سرعت متوسط، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا ۵۰ درصد از اتم‌های عنصر تخریب شوند محاسبه کرد که این مدت را نیمهٔ عمر گویند. به عبارت دیگر، در هر نیمهٔ عمر، ۵۰ درصد از عنصر رادیواکتیو به یک عنصر جدید تبدیل می‌شود و باقی‌مانده نیز به نصف تقلیل می‌یابد. این عمل آن قدر ادامه دارد تا عنصر جدید و غیررادیواکتیو حاصل شود. بدین ترتیب، با مقایسهٔ مقدار عنصر رادیواکتیو پایدار و مقدار باقی‌مانده در سنگ می‌توان به سن مطلق آن دست یافت. در جدول ۲ـ۶ به پاره‌ای از روش‌های متعدد رادیواکتیو اشاره شده است.

جدول ۲ـ۶ مشخصات برخی از روش‌های رادیواکتیو در تعیین سن زمین (میلیارد سال)

ایزوتوپ رادیواکتیو	ایزوتوپ پایدار (ماده حاصله)	نیمهٔ عمر	زمانی که نشان می‌دهند
U	Pb	۴/۵	۰/۱
U	Pb	۰/۷۱	۴/۵
Rb	sr	۴/۷	۰/۱ تا ۴/۵
K	Ca	۱/۳	۰/۰۱ تا ۰/۱
C	N	۵۷۰۰ سال	تا ۶۰ هزار سال

۱. اورانیوم (U) ۲۳۸، عنصری ناپایدار است و پس از انجام یک سری تغییر به ایزوتوپ سرب (Pb) ۲۰۶ مبدل می‌شود (البته از ایزوتوپ ۲۳۵ به سرب ۲۰۷ هم استفاده می‌شود).

۲. روبیدیوم (Rb) ـ استرونسیوم (sr)، که در آن ایزوتوپ ناپایدار روبیدیوم ۸۷ به استرونسیوم ۸۷ پایدار مبدل می‌شود.

۳. پتاسیم (K) ـ آرگون (A)، که در آن ایزوتوپ پتاسیم ۴۰ به عنصر پایدار آرگون ۴۰ تبدیل می‌شود.

۴. کربن (C) ۱۴، که در آن کربن ۱۴ به نیتروژن (N) ۱۴ پایدار مبدل می‌شود.

۶ـ۴ حرکت‌های زمین و نتایج جغرافیایی آن

حرکت عبارت از تغییر موقعیت یک نقطه نسبت به یک چارچوب مقایسه است. یک جسم در روی سطح زمین ممکن است نسبت به یک جاده در حال حرکت باشد؛ در این صورت، جاده معیار سکون است و حرکت جسم نسبت به آن مقایسه می گردد، اما جاده خود نیز قسمتی از زمین در حال چرخش است (استرو و دیگران، ۱۳۷۲).

زمین دارای حرکت‌های متنوعی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

۱. حرکت چرخشی[1] زمین حول محور خودش؛

۲. حرکت انتقالی[2] زمین به دور خورشید؛

۳. حرکت تقدیمی[3] و نوسانی[4] محور زمین؛

۴. حرکت زمین، خورشید، و سایر سیارات در جهت ستارهٔ نسر واقع (وگا).

در ذیل بعضی از این حرکت‌ها، که به طور ملموس‌تر و بیشتر در زندگی انسان تأثیر و اهمیت دارند، تشریح شده است.

۱ـ۴ـ۶ حرکت چرخشی زمین (وضعی)

زمین در مدت ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۹ ثانیه یک بار به دور محور خود و در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت (از غرب به شرق) می‌چرخد. محور فرضی چرخش

1. Rotation
2. Revolution
3. Precession
4. Nutation

زمین از قطبین می گذرد. محور زمین بر سطح مدارش به دور خورشید عمود نیست و به اندازهٔ ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۱ ثانیه نسبت به آن از حالت قائم به دور است.

حرکت ظاهری خورشید و ستارگان، که در شبانه‌روز از مشرق به مغرب انجام می گیرد، بر اثر حرکت وضعی زمین است. اگرچه فیثاغورس (۵۸۹ـ۴۸۹ پیش از میلاد) و بعد از او کوپرنیک[1]، دانشمند لهستانی، (۱۴۷۳ـ۱۵۴۳ میلادی) به حرکت وضعی زمین معتقد بودند، لیکن تا اوایل قرن هفدهم، یعنی زمانی که دانشمندان معروفی چون کپلر (۱۵۷۱ـ۱۶۳۰ میلادی) و گالیله (۱۵۶۴ـ۱۶۴۲ میلادی) به ترتیب پا به عرصهٔ دنیای علم گذاشتند، منظومهٔ بطلمیوس، که منظومهٔ زمین مرکزی بود، مورد قبول کلیسا قرار داشت و تصور می کردند که زمین مرکز عالم است و همهٔ کرات سماوی و حتی خورشید دور کرهٔ زمین در حرکت‌اند.

امروز با دلایل متعددی می‌توان حرکت وضعی زمین را ثابت کرد که بعضی از آن‌ها به شرح ذیل‌اند:

۱. نظر به اینکه کلیهٔ سیارات و حتی ثوابت حرکت وضعی دارند، از این‌رو، زمین هم به عنوان یکی از سیارات دارای حرکت وضعی است (صدیقی، ۱۳۵۴).

۲. شکل زمین بهترین دلیل حرکت وضعی زمین است، زیرا طبق تجربه‌هایی که به وسیلهٔ روغن در آب و یا فنر گریز از مرکز انجام می‌دهیم، هر جسمی که در استوا برآمدگی و در قطبین فرورفتگی داشته باشد به علت حرکت وضعی آن است.

۳. هرگاه طبق عقیدهٔ قدما به سکون زمین و گردش کلیهٔ اجرام سماوی به گرد آن در مدت ۲۴ ساعت معتقد باشیم، در این صورت باید قبول کنیم که نخست، حرکت کلیهٔ ستارگان، با در نظر گرفتن فواصل آن‌ها نسبت به زمین، طوری تنظیم

---

۱. اساس منظومهٔ کوپرنیکی عبارت است از: ۱) خورشید و ستارگان در فضا ثابت‌اند؛ ۲) سیارات، از جمله زمین، اجسام گردی هستند که به دور خود می‌چرخند؛ ۳) سیارات بر دوایری به دور خورشید می گردند.

شده است که در ۲۴ ساعت یک بار به گرد زمین گردش می‌کنند. دوم، ستارگانی که میلیاردها کیلومتر از زمین فاصله دارند سرعتشان باید به قدری زیاد باشد که در ۲۴ ساعت بتوانند یک بار به گرد زمین حرکت کنند (هرگاه فاصلهٔ ستاره‌ای از زمین یک سال نوری باشد، سرعت این ستاره باید برای یک بار گردش در مدت ۲۴ ساعت ۶۸۷ میلیون و ۶۶۰ هزار کیلومتر بر ثانیه باشد که چنین سرعتی بیش از سرعت نور است و برای یک جرم مقدور نیست).

۴. اثر کوریولیس[1]: هر نقطه واقع بر استوای زمین با سرعت خطی بیشتری از یک نقطه در هر عرض جغرافیایی دیگر چرخش می‌کند، به طوری که یک نقطه در استوا محیط زمین را در مدت ۲۴ ساعت طی می‌کند؛ بنابراین، سرعت خطی آن برابر است با:

$$V = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi \times 6400}{24 \times 60 \times 60} = 0/465\,\text{Km/sec}$$

همچنین یک نقطه در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه بر روی دایرهٔ کوچک‌تری با شعاع ۴۵۰۰ کیلومتر حرکت می‌کند و سرعت آن برابر است با:

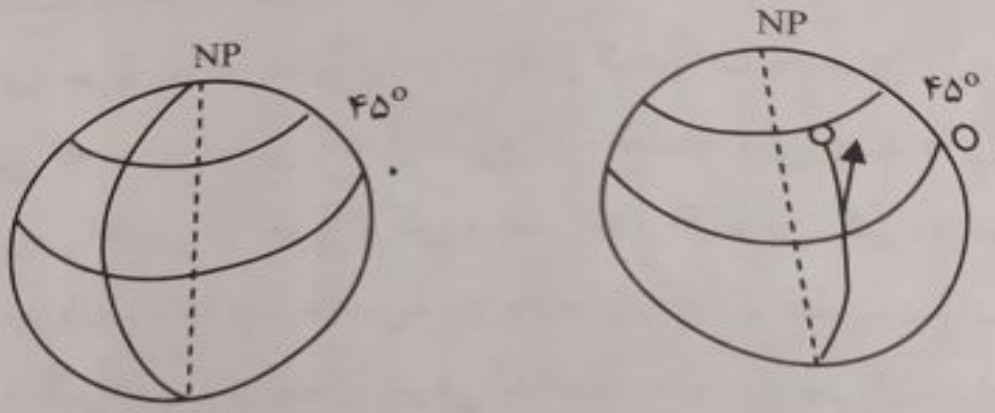
$$V = \frac{2\pi \times 4500}{24 \times 60 \times 60} = 0/3\,\text{Km/sec}$$

سرعت یک راکت، که از استوا به طرف شمال پرتاب می‌شود، مجموع سرعت حاصل از پرتاب راکت و سرعتی است که در نتیجهٔ چرخش زمین ایجاد می‌شود. پس از پرتاب راکت، تنها نیروی مؤثر بر آن جاذبهٔ زمین است (از اصطکاک صرف نظر می‌شود). این نیرو شتابی به طرف پایین ایجاد می‌کند و هیچ تأثیری در حرکت شرقی - غربی پرتاب ندارد. راکت سرعت اولیهٔ ۰/۴۶۵ کیلومتر بر ثانیه به طرف مشرق را حفظ و به طرف شمال پیشروی می‌کند و پس از یک ثانیه هم راکت و هم نقطهٔ پرتاب ۰/۴۶۵ کیلومتر به طرف شرق چرخیده‌اند، اما هدف، که در شمال استوا قرار دارد، به اندازهٔ نقطهٔ پرتاب نچرخیده است. بنابراین، راکت به

1. Coriolis

شرق هدف برخورد می کند. با مشاهده از زمین به نظر می‌رسد که مسیر راکت ظاهراً به طرف شرق منحرف شده است.

در شکل ۵ـ۶ حرکت یک پرتابه، در شروع، ترکیبی از سرعت چرخش زمین در استوا و سرعت حاصل از پرتاب است. در عرض جغرافیایی بالاتر، که هدف قرار دارد، سرعت چرخش زمین کمتر از استواست. بنابراین، به نظر می‌رسد که پرتابه به سمت مشرق منحرف می‌شود. این مطلب نیز چرخش زمین را تأیید می کند.



شکل ۵ـ۶ حرکت پرتابه و انحراف آن در اثر نیروی کوریولیس

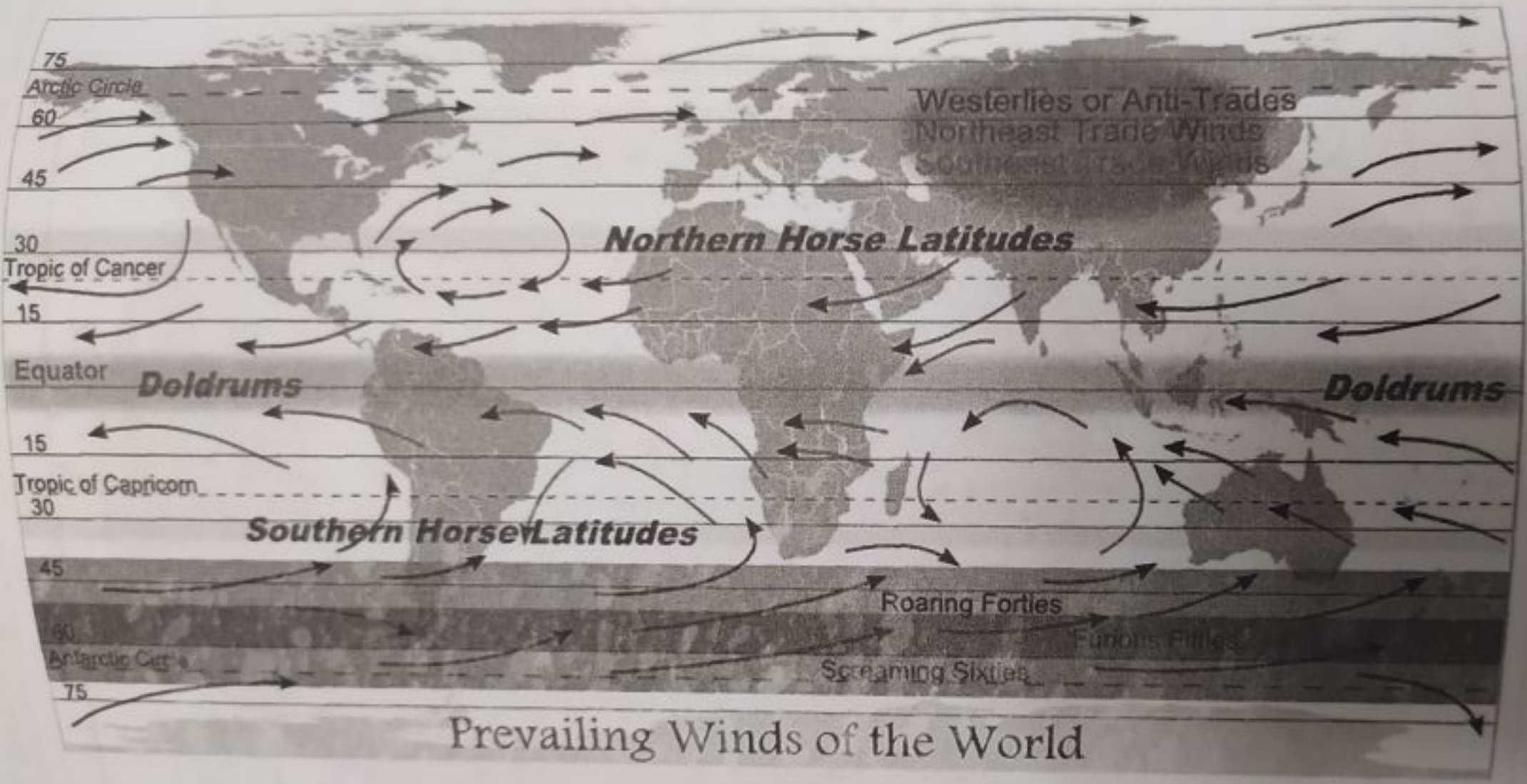
جسمی که به طرف قطب پرتاب می‌شود به سمت شرق منحرف می‌شود و جسمی که به طرف استوا پرتاب می‌شود به سمت غرب منحرف می گردد. در نیم‌کرهٔ شمالی انحراف همیشه به سمت راست مسیر و در نیم‌کرهٔ جنوبی به سمت چپ مسیر حرکت سیارات است. این انحراف در مسیر حرکت سیارات، که ناشی از ثابت بودن سرعت زاویه‌ای چرخش زمین در تمام عرض‌های جغرافیایی و افزایش سرعت خطی از قطب‌ها به سمت استوا می‌باشد، همان اثر کوریولیس است که در سال ۱۸۳۵ میلادی کوریولیس، فیزیک‌دان فرانسوی، استنتاج کرده است. مقدار این انحراف علاوه بر سرعت خطی جسم به سرعت خطی زمین در نقطهٔ مبدأ نیز وابسته است و با سینوس عرض جغرافیایی متناسب است. به گونه‌ای که در قطبین زاویهٔ انحراف نسبت به استوا به بیشترین مقدار خود می‌رسد ($\sin ۹۰^\circ = ۱$) و روی استوا مقدار آن صفر است ($\sin ۰^\circ = ۰$).

۵. جهت بادهای آلیزه در نیم‌کرهٔ شمالی از شمال شرقی به جنوب غربی و در نیم‌کرهٔ جنوبی از جنوب شرقی به شمال غربی است (شکل ۶ـ۶). همچنین جهت جریان‌های کنترالیزه در نیم‌کرهٔ شمالی از جنوب غربی به شمال شرقی و در نیم‌کرهٔ جنوبی از شمال غربی به جنوب شرقی است. چون حداکثر سرعت وضعی زمین در خط استوا و حداقل آن در قطبین است؛ از این‌رو، جریان‌های باد که به طرف استوا در حرکت‌اند، پیوسته عقب‌افتادگی و جریان‌های بادی که از استوا منشأ می‌گیرند، پیوسته نسبت به مقصد خود جلوافتادگی دارند.

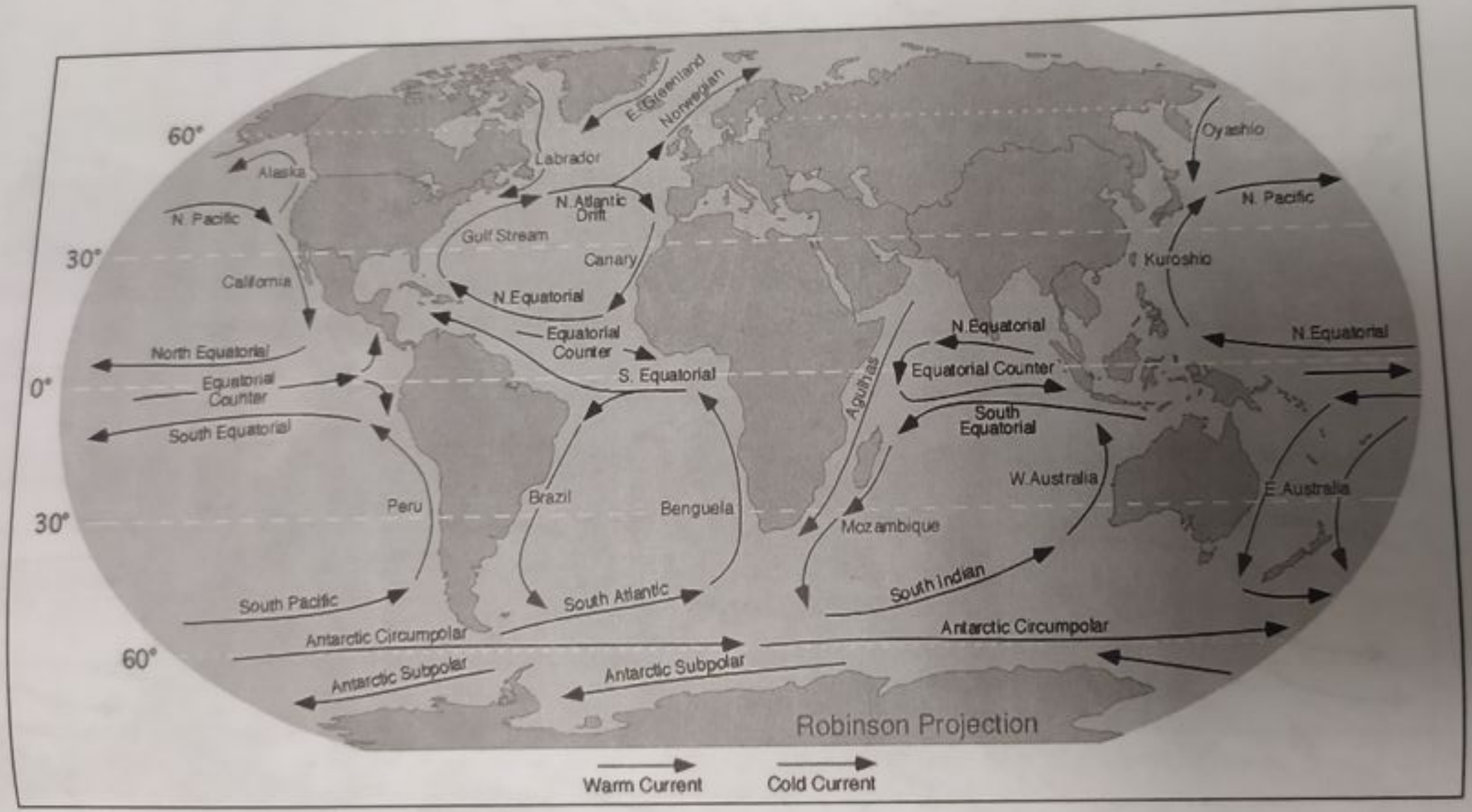
۶. انحراف جریان‌های دریایی نیز نظیر انحراف بادهای آلیزه و کنترالیزه است. بدین معنی که جریان‌هایی که از استوا به قطب می‌روند (آب گرم گلف استریم[1] در اقیانوس اطلس) و جریان کوروشیو[2] (در اقیانوس کبیر) از جنوب غربی به شمال شرقی جریان دارند و برعکس، جریان‌هایی که از قطب به استوا می‌آیند (جریان آب سرد لابرادور[3]) از شمال شرقی به جنوب غربی جریان دارند. اگر زمین دارای حرکت وضعی نبود، امتداد جریان‌های دریایی بر روی نصف‌النهارها بود، ولی با توجه به اختلاف سرعت در نقاط مختلف زمین این جریان‌ها در حدود دایرهٔ استوا عقب‌مانده، هرچه به قطب‌ها نزدیک شویم، این عقب‌ماندگی کمتر می‌شود (شکل ۷ـ۶).

۷. جسمی که در امتداد قائم از بالای یک برج به داخل یک چاه سقوط می‌کند، در سمت شرق منحرف می‌شود، زیرا سرعت چرخش در ابتدای سقوط به علت ارتفاع بیشتر و در نتیجه شعاع بیشتر بیش از نقطهٔ برخورد است. قبلاً ملاحظه شد که سرعت چرخش سطح زمین در استوا ۰/۵ کیلومتر بر ثانیه یا ۵×۱۰^{۴} سانتی‌متر است در ارتفاع H از سطح زمین این سرعت برابر $\frac{۲\pi \times ۶/۴ \times ۱۰^{۸} + ۵۰۰}{۲۴ \times ۶۰ \times ۶۰}$ خواهد بود. ارتفاع H معادل ۵۰۰ سانتی‌متر فرض شده است. به این ترتیب، می‌توان اختلاف سرعت نقاط شروع، سقوط، و برخورد با زمین را به این ترتیب حساب کرد:

1. Gulf Stream
2. Kuroshio
3. Labrador



شکل ۶ـ۶ تأثیر چرخش زمین بر جهت بادها



شکل ۷ـ۶ انحراف جهت جریان‌های اقیانوسی

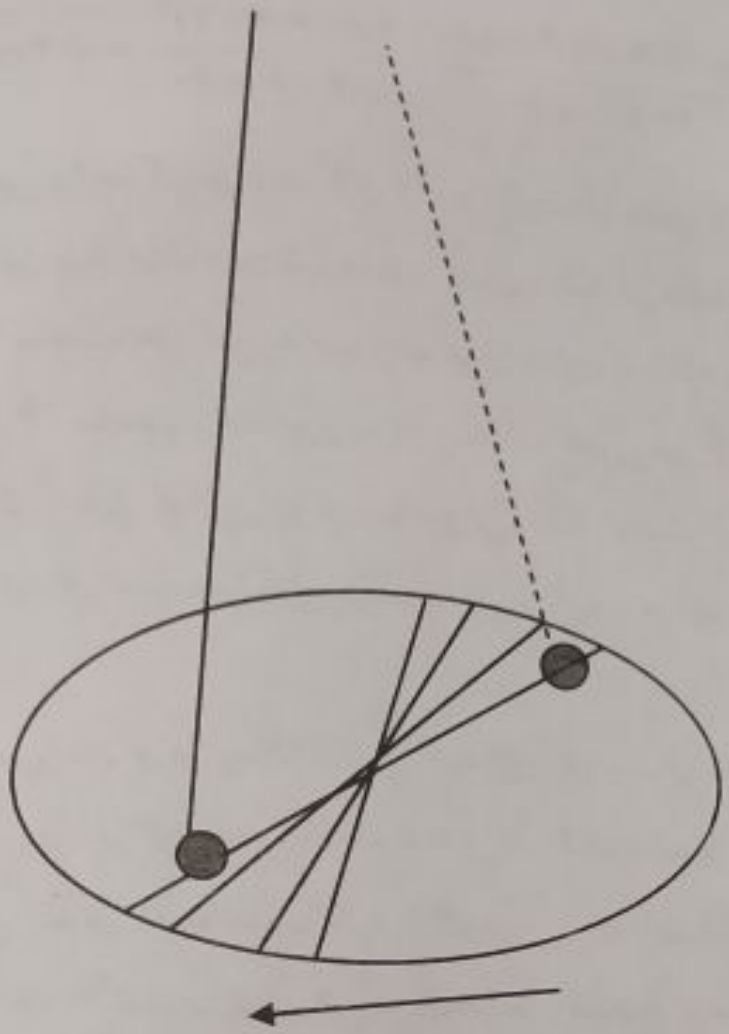
$$\frac{۲\pi\times۶/۴\times۱۰^{۸}+۵۰۰}{۲۴\times۶۰\times۶۰}-\frac{۲\pi\times۶/۴\times۱۰^{۸}}{۲۴\times۶۰\times۶۰}=۰/۰۴\text{mm}$$

۸. هرگاه زمین را ساکن و ستارگان را در گرد آن متحرک تصور کنیم، این حرکت در قطب‌ها نیز باید مشاهده شود، در حالی که در قطب‌ها به هیچ وجه ستارگان در طی ۲۴ ساعت حرکتی به صورت فوق ندارند، بلکه چنان به نظر می‌رسد که ستارگان در طی ۲۴ ساعت یک دور به دور ستارهٔ قطبی می‌گردند.

۹. تجربهٔ فوکو[1]: طبق قوانین نیوتن، پاندولی[2] که تحت تأثیر نیرویی غیر از جاذبه قرار نداشته باشد در سطح ثابتی نوسان می‌نماید، هرچند که نقطهٔ اتکای پاندول تغییر کند.

فوکو، ریاضی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی، در سال ۱۸۱۵ میلادی برای اولین‌بار در معبد پانتئون این تجربه را انجام داد و حرکت وضعی زمین را به اثبات رساند. طول پاندولی که فوکو انتخاب کرد ۶۷ متر و وزن آن ۲۸ کیلوگرم بود. زمان هر نوسان کامل ۱۶/۴۲ ثانیه بود. برای اینکه انحراف سطح نوسان به خوبی دیده شود، زیر وزنهٔ پاندول سوزنی قرار داد و در روی زمین صفحهٔ گرد و مدرجی گذاشت که از یک ورقهٔ شن نرم و مرطوب پوشیده شده بود تا ضمن حرکت پاندول، سوزن روی شن‌ها کشیده شود و به وسیلهٔ شیارهایی که روی شن‌ها ایجاد می‌شد، خطوط متقاطعی رسم گردد. همان‌طور که گفتیم سطح نوسان پاندول ثابت است و به همین دلیل فقط باید یک خط یا شیار ترسیم شود، منتهی به علت حرکت صفحهٔ زیر سوزن پاندول و به عبارت دیگر، حرکت کرهٔ زمین خطوط متقاطع ترسیم می‌شود که از روی این خطوط متقاطع می‌توان میزان انحراف سطح نوسان پاندول را اندازه‌گیری کرد (شکل ۸ـ۶). چون سطح نوسان پاندول در نیم‌کرهٔ شمالی در جهت عقربه‌های ساعت است، از این رو باید زمین در جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخیده باشد (صدیقی، ۱۳۵۴).

1. Foucault
2. Pendulum



شکل ۸ـ۶ نوسان آونگ فوکو

۲ـ۴ـ۶ نتایج جغرافیایی حرکت وضعی زمین

از حرکت وضعی زمین نتایجی به‌دست می‌آید که برخی از آن‌ها، مانند فرورفتگی قطب‌ها و برآمدگی استوا، انحراف بادهای آلیزه و انحراف جریان‌های دریایی، حرکت ظاهری آفتاب و ستارگان و غیره، در ردیف حرکت وضعی زمین بوده است و قبلاً به آن‌ها اشاره شد، ولی از حرکت وضعی زمین نتایج جغرافیایی‌ای حاصل می‌شود که به طور خلاصه به ذکر آن‌ها می‌پردازیم:

الف) پیدایش شب و روز. اگر زمین ثابت بود، روز و شب نیز در دو نیمهٔ آن ثابت و تغییرناپذیر بود، ولی می‌دانیم که زمین در مدت ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۹ ثانیه از مغرب به مشرق، در حول محور خود، حرکت می‌کند. در نتیجهٔ این حرکت

همواره نصف زمین رو به آفتاب است (روز) و نصف دیگر آن در تاریکی قرار می‌گیرد (شب) و فاصلهٔ دو طلوع آفتاب در تمام نقاط زمین، که خارج از مناطق قطبی می‌باشد، تقریباً یکسان و مساوی ۲۴ ساعت است.

ب) **اختلاف ساعت.** چنان‌که گفته شد، زمین تقریباً در مدت ۲۴ ساعت یک بار کامل به دور محور خود می‌چرخد، اکنون اگر فرض کنیم که خورشید مقابل یکی از نصف‌النهارهای زمین باشد، در این صورت اگر فواصل نصف‌النهارها را یک درجه فرض کنیم، خورشید پس از ۴ دقیقه زمان به نصف‌النهار غربی آن خواهد رسید و ۴ دقیقه نیز از ظهر نصف‌النهار شرقی گذشته است. در هر لحظه از شبانه‌روز که آفتاب از مقابل یکی از نصف‌النهارهای زمین بگذرد، یعنی ظهر آن محل باشد، در این صورت ظهر نقاط مشرق آن نصف‌النهار گذشته و ظهر نقاطی که در مغرب آن قرار گرفته‌اند، هنوز نرسیده است.

بنابراین، در نتیجهٔ حرکت وضعی زمین، ساعت محلی نقاط مختلف متفاوت است و به آسانی می‌توان با داشتن فواصل نقاط، از حیث درجه (طول جغرافیایی)، اختلاف ساعت آن‌ها را تعیین کرد و برعکس.

۳ـ۴ـ۶ حرکت انتقالی زمین

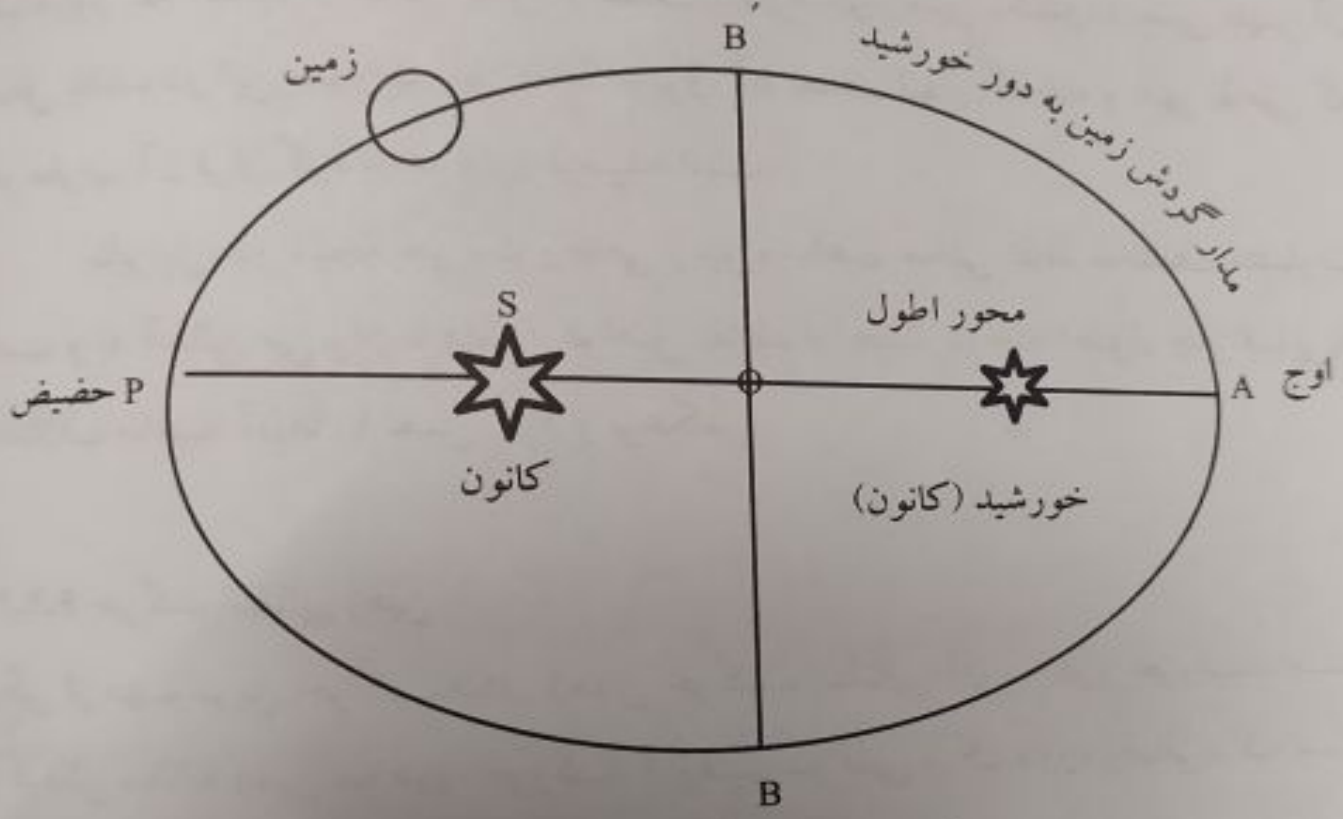
یکی از مهم‌ترین حرکت‌های زمین حرکت انتقالی آن به دور خورشید است (گردش سالانهٔ زمین به دور خورشید). زمین در طی یک دورهٔ زمانی، که سال نامیده می‌شود، یک دور کامل به دور خورشید می‌چرخد. مدار زمین، در این گردش، بیضی نزدیک به دایره است، زیرا خروج از مرکز[1] آن کم است و خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد (شکل ۹ـ۶).

در شکل ۹ـ۶ محور درازتر، مدار زمین را در دو نقطه قطع می‌کند. نقطه‌ای که نسبت به کانون کمترین فاصله را دارد و به خورشید نزدیک‌تر است حضیض

1. Eccentricity

خورشیدی (پری‌هلیون[1]) و نقطه‌ای که بیشترین فاصله را دارد اوج خورشیدی (آفلیون[2]) نامیده می‌شود. در این شکل مسیر حرکت انتقالی زمین به دور خورشید به صورت بیضی نشان داده شده است. خورشید در یکی از کانون‌های بیضی (S) و نقطهٔ (O) مرکز بیضی است. نسبت طول OS به OP را خروج از مرکز بیضی (E) گویند که آن را می‌توان با محور اطول (A) و محور اصغر (B) بیضی به کمک رابطهٔ زیر بیان کرد (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

$$OS = e \times OP = e \times OA \quad \text{یا} \quad e = \frac{OS}{OP} \quad \text{و} \quad e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$



شکل ۹ـ۶ خروج از مرکز مدار زمین

حرکت انتقالی زمین برخلاف جهت حرکت عقربهٔ ساعت و در مدت ۳۶۵ شبانه‌روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه انجام می‌گیرد. یک سال برابر با $۳۶۵\frac{۱}{۴}$ روز خورشیدی خواهد بود. در نتیجه در هر ۴ سال، $\frac{۱}{۴}$ روز با داشتن یک سال

1. Perihelion
2. Aphelion

کبیسه، که برابر با ۳۶۶ روز است، جبران می‌شود. زمین با سرعت ۲۹/۹ کیلومتر بر ثانیه در مدت یک سال شمسی، ۹۳۷ میلیون کیلومتر را به دور خورشید می‌پیماید. فاصلهٔ متوسط زمین تا خورشید $۱۴۹/۶\times۱۰^{۶}$ کیلومتر، فاصلهٔ حضیض خورشیدی ۱۴۷×۱۰^{۶} کیلومتر و فاصلهٔ اوج خورشیدی ۱۵۲×۱۰^{۶} کیلومتر است (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

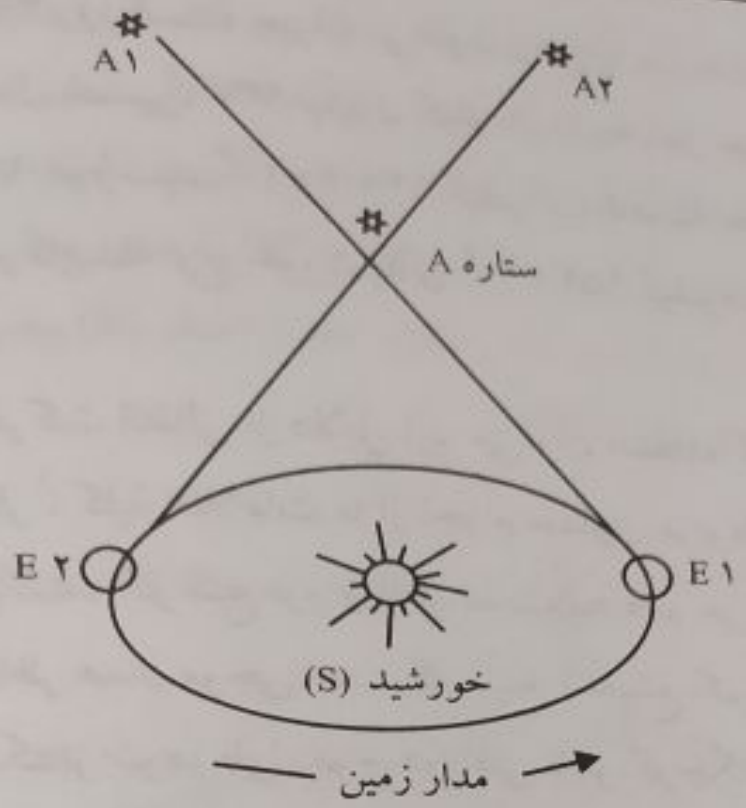
برای اثبات حرکت انتقالی از دلایل زیر می‌توان استفاده کرد:

۱. پدیدهٔ دوپلر[1]: کلیهٔ اطلاعات ما از اجرام سماوی مربوط به نور یا امواجی است که تشعشع می‌کنند. اگر منبع نور و ناظر نسبت به هم حرکت نداشته باشند، طول موج دریافتی ناظر همان موجی است که منبع تشعشع کرده است. اگر جرم سماوی به ناظر نزدیک‌تر شود، طول موج دریافتی ناظر کوچک‌تر (به سوی طیف آبی) و اگر جرم سماوی از ناظر دور شود، طول موج دریافتی بزرگ‌تر (به سوی طیف قرمز) می‌شود. دوپلر برای اولین بار رابطهٔ بین این تغییرات را طبق فرمول زیر نشان داد که در آن $\Delta\lambda$ تغییر طول موج، λ طول موج تابشی، V سرعت ناظر و منبع نسبت به هم و C سرعت نور است.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=\frac{V}{C}$$

با مطالعهٔ نور یک ستاره در مدت یک‌سال، متوجه می‌شویم که جهت جابه‌جایی دوپلری خطوط طیفی تغییر می‌کند. بدین ترتیب که در زمانی از سال (هنگامی که زمین در نقطهٔ A قرار دارد، زمین و ستاره از هم دور می‌شوند) خطوط طیفی به سوی ناحیهٔ قرمز طیف و ۶ ماه بعد (زمانی که زمین در نقطهٔ B قرار دارد، زمین و ستاره به هم نزدیک می‌شوند) به سوی ناحیهٔ آبی طیف تغییر مکان می‌دهد. این جابه‌جایی خطوط طیفی از حرکت زمین حول خورشید حاصل می‌شود (شکل ۱۰ـ۶).

1. Doppler



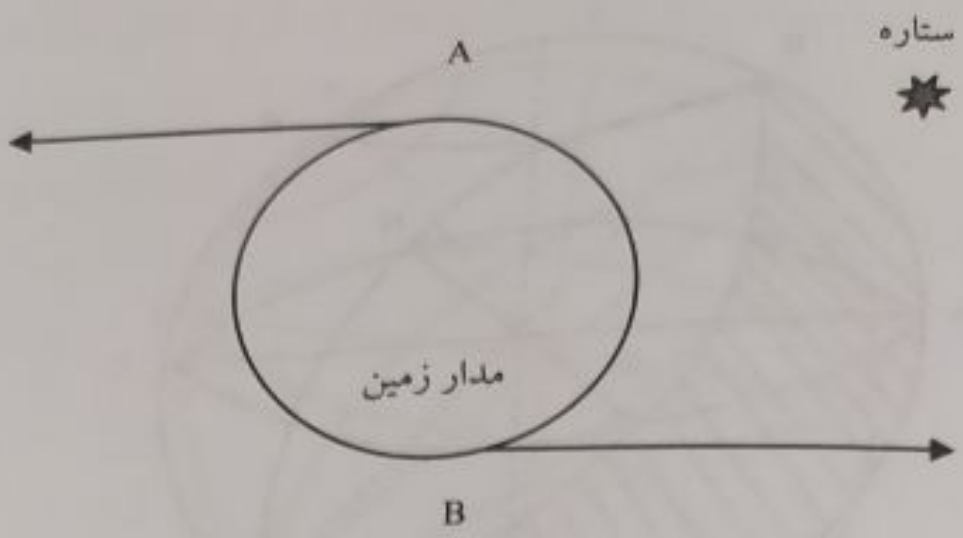
شکل ۱۰ـ۶ استفاده از تغییر خطوط طیفی نور ستارگان برای اثبات حرکت انتقالی

۲. تغییر مکان ظاهری اجرام سماوی (پیدایش اختلاف منظر[1]): یکی دیگر از دلایل اثبات حرکت انتقالی زمین پیدایش اختلاف منظر برای اجرام سماوی نزدیک است. اگر جرم سماوی نزدیک را در طول مدت یک سال رصد کنیم، متوجه می‌شویم که محل آن‌ها نسبت به ستارگان بسیار دور تغییر می‌کند. چنان‌که در (شکل ۱۱ـ۶) مشاهده می‌شود، اگر ستارهٔ A، هنگامی که زمین در نقطهٔ E۱ مدارش قرار دارد، رصد شود، در نقطهٔ A۱ کرهٔ سماوی دیده می‌شود. ۶ ماه بعد که زمین نصف مدارش را می‌پیماید و به نقطهٔ E۲ می‌رسد، ستاره در نقطهٔ A۲ کرهٔ فلکی مشاهده می‌شود. بنابراین، حرکت انتقالی زمین حول خورشید باعث تغییر مکان ظاهری اجرام سماوی روی کرهٔ سماوی می‌شود (هاشمی، ۱۳۶۷).

۳. بر اساس قانون گرانش، چون زمین ۱ میلیون و ۳۰۰ هزار مرتبه از خورشید کوچک‌تر است، لذا جسم کوچک‌تر باید به دور جسم بزرگ‌تر گردش کند.

۴. اختلاف مدت شبانه‌روز خورشیدی ظاهری در طول سال به دلیل حرکت انتقالی زمین است.

1. Paralex



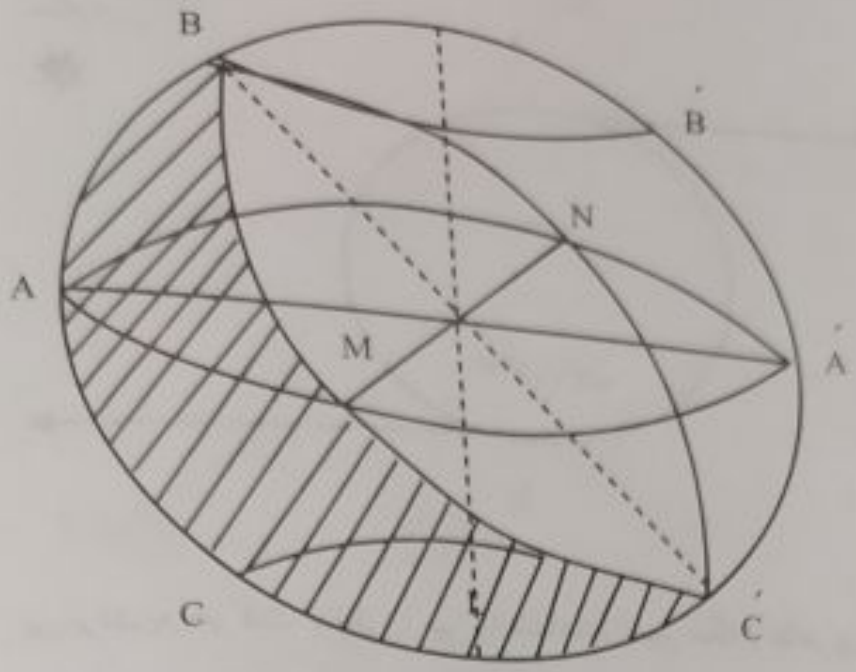
شکل ۱۱ـ۶ پی بردن به حرکت انتقالی زمین با مشاهدهٔ تغییر مکان ظاهری اجرام سماوی

۵. علت اختلاف طول مدت شبانه‌روز خورشیدی ظاهری و نجومی حرکت انتقالی زمین است و به همین دلیل شبانه‌روز خورشیدی ظاهری ۴ دقیقه بلندتر از شبانه‌روز نجومی است.

۶ـ۴ـ۴ نتایج حرکت انتقالی زمین

الف) اولین نتیجهٔ حرکت انتقالی زمین: اختلاف طول مدت شب و روز

به دلیل فاصلهٔ زیاد خورشید از زمین، تابش خورشید موازی است و زمین را به دو نیم‌کرهٔ تاریک و روشن تقسیم می‌کند که مرکز آن‌ها را دایرهٔ روشنایی گویند. موقعی که میل آفتاب ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه بالای دایرهٔ استوا (مدار رأس‌السرطان) است، دایرهٔ روشنایی از مدار ۶۶ درجه و ۶۶ دقیقه می‌گذرد. در شکل ۱۲ـ۶ اگر BMCN، دایرهٔ روشنایی باشد، در این صورت BB′ (در قطب شمال) روز، و CC′ شب است. در مدار AA′ (دایرهٔ استوا) نیمی روز و نیمی دیگر شب است. تغییر طول مدت شب و روز در روزهای مختلف سال به دلیل عرض جغرافیایی و میل آفتاب است که خود به علت انحراف محور زمین نسبت به عمود صفحهٔ مدار آن است (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

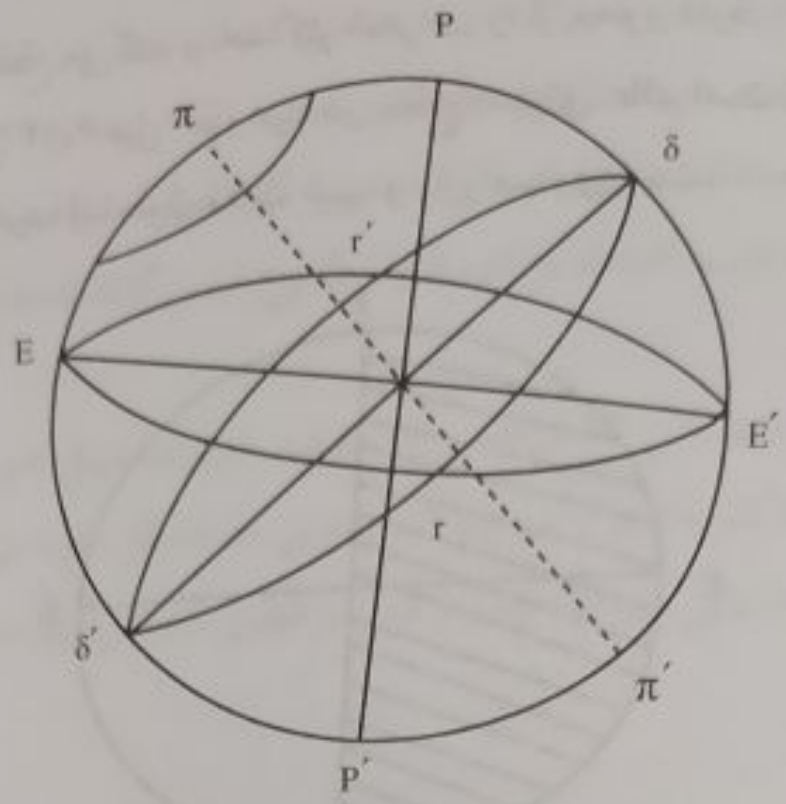


شکل ۱۲ـ۶ وضعیت دایرهٔ روشنایی

دایرةالبروج با استوای عالم در دو نقطه γ′ و γ یکدیگر را قطع می کنند. γ را اعتدال بهاری و γ′ را اعتدال پاییزی و قطر ππ′ را خط اعتدالین می گویند. دو نقطهٔ دیگر δ و δ′ را، که هریک به فاصلهٔ ۹۰ درجه از دو نقطهٔ اعتدالین واقع‌اند، انقلابین گویند. نقطه‌ای که در شمال استوای عالم قرار گرفته، انقلاب تابستانی و نقطه‌ای را که در جنوب واقع است انقلاب زمستانی گویند و خط ππ′ را که از مرکز دایرةالبروج بر صفحهٔ آن عمود می‌شود محور دایرةالبروج و دو نقطه π′ و π را قطبین آن گویند. واضح است که فاصلهٔ زاویه‌ای ۲ نقطهٔ p و π مساوی با میل دایرةالبروج نسبت به استوای عالم برابر با ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است (شکل ۱۳ـ۶).

اعتدالین: به محل برخورد (تلاقی) استوای عالم با دایرةالبروج اعتدالین[1] گویند. محلی که خورشید در روز اول فروردین (۲۱ مارس) هر سال از آن نقطه عبور می کند اعتدال بهاری[2] و محلی که خورشید در روز اول مهرماه

1. Equinoxs
2. Vernal Equinox



شکل ۱۳ـ۶ چهار نقطهٔ اصلی دایرةالبروج بر روی کرهٔ سماوی

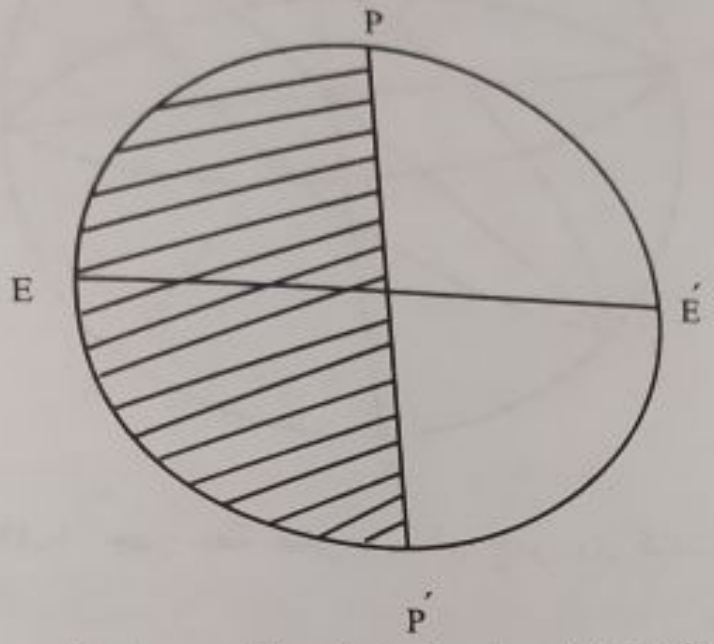
(۲۳ سپتامبر) هر سال از آن عبور می‌کند اعتدال پاییزی[1] گویند. اعتدال بهاری درواقع موضعی از خورشید است؛ وقتی که استوای سماوی، ضمن حرکت به سمت شمال، اولین روز بهار را مشخص می‌کند و اعتدال پاییزی زمانی است که، ضمن حرکت به سوی جنوب، از استوای سماوی می‌گذرد و اولین روز پاییز را نشان می‌دهد.

انقلابین[2]: روی دو نقطه از مدار زمین، زاویهٔ میل خورشید یا δ به بیشترین مقدار می‌رسد که این دو نقطه را انقلاب تابستانی و زمستانی می‌گویند. انقلاب تابستانی و زمستانی شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین نقطهٔ روی دایرةالبروج است که خورشید در مسیر حرکت ظاهری سالانه‌اش به ترتیب در بلندترین و کوتاه‌ترین میل خود قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، خورشید ۲۳/۵ درجه در شمال و یا جنوب استوای سماوی واقع می‌شود. در این دو موقع، دایرهٔ روشنایی، محور زمین را با زاویهٔ ۲۳

1. Autummal Equinox
2. Solstices

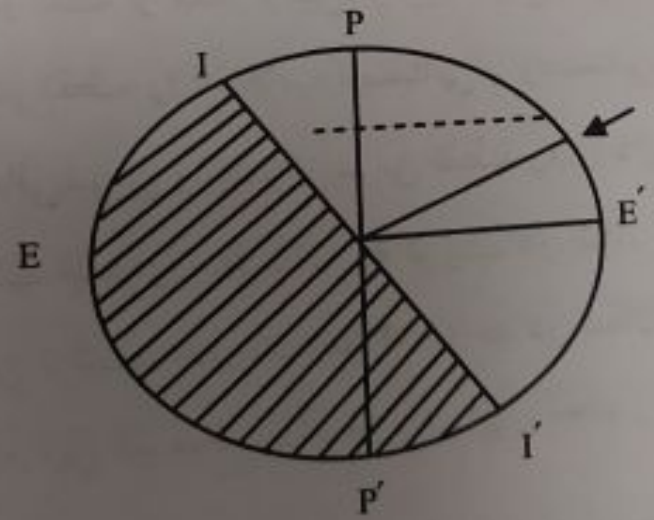
درجه و ۲۷ دقیقه قطع می کند و حداکثر انحراف را از محور دارد.

۱. در شکل ۱۴ـ۶ میل خورشید در سطح استوای عالم است و دایرهٔ روشنایی نیز از قطبین می گذرد، لذا طول مدت شب و روز مساوی است.



شکل ۱۴ـ۶ وضعیت دایرهٔ روشنایی در اعتدالین

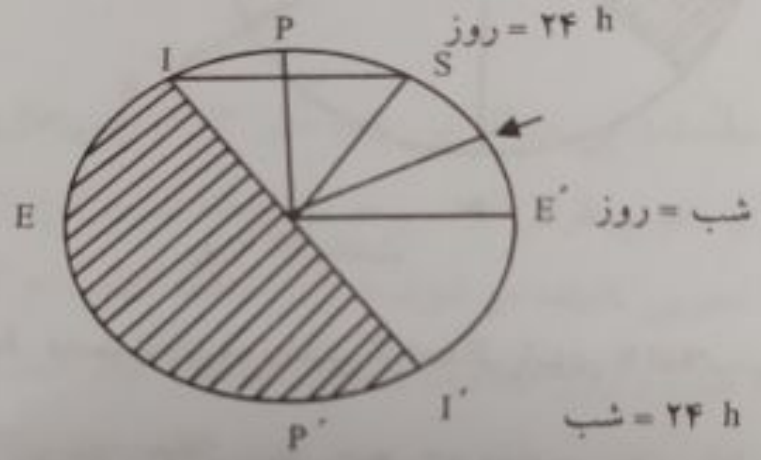
۲. بین اعتدال بهاری و انقلاب تابستانی، زاویهٔ میل خورشیدی یا δ از صفر تا ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی افزایش می‌یابد (شکل ۱۴ـ۶). در نیم کرهٔ شمالی روزها بلندتر از شب‌ها است. با افزایش زاویهٔ میل خورشید، بر مدت روز (در نیم کرهٔ شمالی) افزوده و از مدت شب کاسته می‌شود. در مدار ۹۰ درجه شمالی پیوسته



شکل ۱۵ـ۶ وضعیت دایرهٔ روشنایی بین اعتدال بهاری و انقلاب تابستانی

روز است و خورشید غروب نمی کند. در همین زمان، روز در نیم کرهٔ جنوبی کوتاه‌تر از شب است و هرچه زاویهٔ میل خورشید به ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی نزدیک‌تر می‌شود، مدت روز در نیم کرهٔ جنوبی کوتاه‌تر می‌شود. در مدار ۹۰ درجه جنوبی پیوسته شب است و خورشید طلوع نمی کند (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

۳. در انقلاب تابستانی ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه = زاویهٔ میل خورشید، روز در نیم کرهٔ شمالی به حداکثر بلندی و در نیم کرهٔ جنوبی به حداقل خود می‌رسد. در تمام قسمت‌های عرقچین شمالی، پیوسته روز و در عرقچین جنوبی، پیوسته شب است (شکل ۶ـ۱۶).



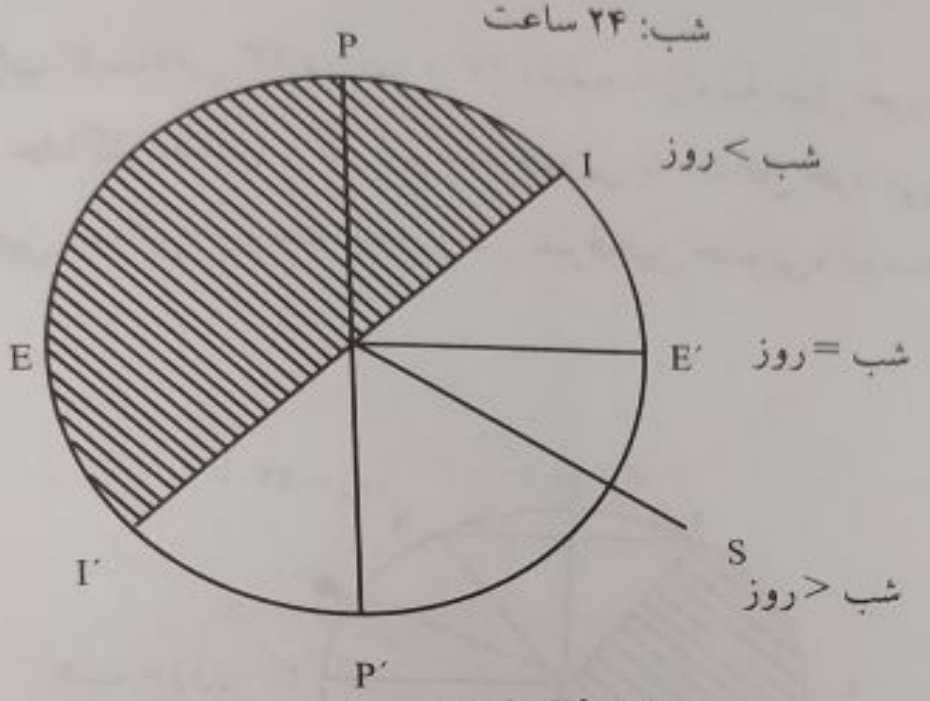
شکل ۱۶ـ۶ وضعیت دایرهٔ روشنایی در انقلاب تابستانی

۴. از انقلاب تابستانی تا اعتدال پاییزی، زاویهٔ میل خورشید از ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه تا صفر درجه کاسته می‌شود. روز در نیم کرهٔ شمالی بلندتر از شب و در نیم کرهٔ جنوبی کوتاه‌تر از شب است. با کاهش زاویهٔ میل خورشید مدت روزها در نیم کرهٔ شمالی کاهش و در نیم کرهٔ جنوبی افزایش می‌یابد.

۵. در اعتدال پاییزی زاویهٔ میل خورشید و مدت روز و شب در تمام نقاط زمین برابر است.

۶. از اعتدال پاییزی تا انقلاب زمستانی، زاویهٔ میل خورشید از صفر درجه تا

۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه جنوبی کاسته می‌شود. در نیم کرهٔ شمالی روز کوتاه‌تر از شب است و به‌تدریج کوتاه‌تر می‌شود. در شمال مدار ۹۰ درجه شمالی پیوسته شب است (شکل ۱۷ـ۶). در نیم کرهٔ جنوبی روز بلندتر از شب است و به‌تدریج بلندتر می‌شود. در جنوب مدار ۹۰ درجه نیز پیوسته روز است.



شکل ۱۷ـ۶ وضعیت دایرهٔ روشنایی از اعتدال پاییزی تا انقلاب زمستانی

۷. در انقلاب زمستانی ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه = زاویهٔ میل خورشید، روز در نیم کرهٔ شمالی به حداقل و در نیم کرهٔ جنوبی به حداکثر بلندی خود می‌رسد. در تمام عرقچین شمالی پیوسته شب است و در عرقچین جنوبی پیوسته روز است.

۸. از انقلاب زمستانی تا اعتدال بهاری، زاویهٔ میل خورشید از ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه جنوبی به طرف مدار صفر درجه (استوا) افزایش می‌یابد. روز در نیم کرهٔ شمالی، در حالی که کوتاه‌تر از شب است، بلندتر می‌شود و در نیم کرهٔ جنوبی، در حالی که بلندتر از شب است، کوتاه می‌شود.

ب) دومین نتیجهٔ حرکت انتقالی زمین: ***ایجاد مناطق آب و هوایی***

یکی دیگر از نتایج حرکت انتقالی زمین ایجاد مناطق آب و هوایی است. از این نظر،

جغرافی‌دانان زمین را به ۳ منطقهٔ زیر تقسیم کرده‌اند که ویژگی‌های هریک از نظر طول مدت شب و روز عبارت‌اند از:

۱. **منطقهٔ استوایی (حاره):** این منطقه بین مدارهای رأس‌السرطان و رأس‌الجدی (۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه) در شمال و جنوب استوا واقع شده است. زاویهٔ میل آفتاب در این منطقه به قائم نزدیک‌تر است و خورشید هنگام ظهر دوباره از نقطهٔ اوج خود می‌گذرد، ولی در طول سال، در روی این مدارها، خورشید فقط یک بار در سال عمودی می‌تابد. چون میزان انرژی دریافتی از خورشید در این منطقه بیش از سایر مناطق است، به آن منطقهٔ حاره (گرم) می‌گویند. اختلاف طول مدت شب و روز در آن بسیار اندک است به طوری که در روی استوا شب و روز در تمام طول سال برابر است و هرچه از استوا دور شویم اختلاف طول شب و روز زیادتر می‌شود.

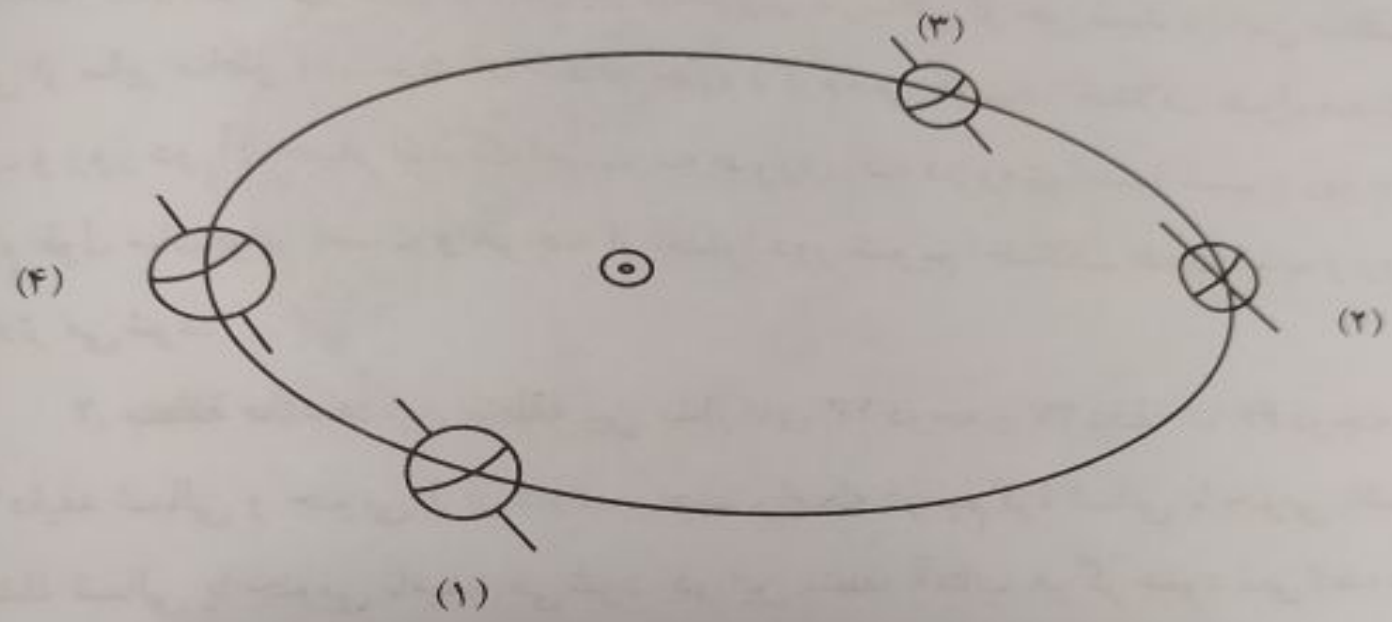
۲. **منطقهٔ معتدله:** این منطقه بین مدارهای ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۶۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و جنوبی قرار دارد. برحسب اینکه در نیم‌کرهٔ شمالی یا جنوبی باشد، معتدلهٔ شمالی یا جنوبی نامیده می‌شود. در این منطقه آفتاب هرگز عمود نمی‌تابد، در نتیجه طول مدت شب و روز متفاوت و از ۲۴ ساعت کمتر است.

۳. **منطقهٔ قطبی:** این منطقه بین عرض‌های ۶۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۹۰ درجهٔ شمالی و جنوبی قرار دارد که به مناطق قطبی شمال و جنوب تقسیم می‌شود. به دلیل میل زیاد خورشید و ضخامت بیشتر جو اثر پرتوهای خورشید در این منطقه بسیار اندک است، لذا تغییرات فصلی زیادی ایجاد نمی‌کند. ارتفاع خورشید در بالای افق کم است؛ بنابراین، طولانی شدن روزها گرمای کمی ایجاد می‌کند (عدالتی و فرخی، ۱۳۸۰).

ج) سومین نتیجهٔ حرکت انتقالی زمین: ایجاد فصل‌ها

پدیدهٔ ایجاد فصل‌ها نتیجهٔ حرکت زمین به دور خورشید و انحراف سطح استوا از سطح مداری آن است. در شکل ۱۸ـ۶ چهار نقطه از مدار گردش انتقالی زمین نشان

داده شده است. در نقطهٔ ۱ خورشید در استوای سماوی در نقطهٔ اعتدال بهاری است؛ در نتیجه، تمام عرض‌های جغرافیایی، ۱۲ ساعت تمام، نور خورشید را دریافت می‌کنند. همین طور که زمین در امتداد مدارش حرکت می‌نماید، به نظر می‌رسد که خورشید در شمال کرهٔ سماوی حرکت می‌کند و به بزرگ‌ترین زاویهٔ میل شمالی خود (۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه) در نقطهٔ ۲ انقلاب تابستانی در تاریخ ۲۱ ژوئن (اول تیرماه) می‌رسد.



شکل ۱۸ـ۶ مدار گردش انتقالی

در این حال، در نیم‌کرهٔ شمالی خورشید بیش از ۱۲ ساعت بالای افق است و اشعهٔ آن گرمای تابستانی را ایجاد می‌کند. در حالی که در نیم‌کرهٔ جنوبی خورشید کمتر از ۱۲ ساعت بالای افق است و اشعهٔ آن به طور مایل به زمین می‌تابد و فصل سرما را ایجاد می‌کند. در نقطهٔ اعتدال پاییزی خورشید دوباره در استوای سماوی قرار می‌گیرد، ولی به طرف جنوب حرکت می‌کند و به بزرگ‌ترین زاویهٔ میل جنوبی خود (۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه جنوبی) در انقلاب زمستانی می‌رسد. در این حال، تمایل اشعهٔ خورشید در نیم‌کرهٔ جنوبی کمتر از نیم‌کرهٔ شمالی است. زمستان نیم‌کرهٔ شمالی منطبق بر تابستان نیم‌کرهٔ جنوبی است. نقاط ۱، ۲، ۳، و ۴ در شکل معرف ابتدای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز، و زمستان در نیم‌کرهٔ شمالی‌اند. به علت اثر

پوششی جو زمین حداکثر درجهٔ حرارت در موقعی که زمین در نقاط ۳ و ۴ است ایجاد نمی‌شود، بلکه با تأخیری تقریباً ۲ ماهه همراه است. شروع بهار با مشاهدهٔ زاویهٔ میل خورشید تعیین می گردد؛ در این حال، خورشید در حین عبور از استوا از شمال به جنوب به نقطهٔ اعتدال بهاری می‌رسد و زاویهٔ میل آن صفر است (استروو و دیگران، ۱۳۷۲).

طول مدت فصل‌ها به علت شکل بیضی مدار زمین و قرار داشتن خورشید در یکی از کانون‌های بیضی، با یکدیگر مساوی نیست. طول مدت فصل‌ها، در حال حاضر، به شرح ذیل است:

۱. فصل بهار مدت ۹۲/۷۸ شبانه‌روز؛

۲. فصل تابستان مدت ۹۳/۶۵ شبانه‌روز؛

۳. فصل پاییز مدت ۸۹/۸۳ شبانه‌روز؛

۴. فصل زمستان مدت ۸۸/۹۹ شبانه‌روز.

فاصلهٔ زمین تا خورشید، در موقعیت انقلاب تابستانی، حدود ۵۰۰ هزار کیلومتر دورتر از انقلاب زمستانی است، اما چرا به رغم آنکه زمین در تابستان از خورشید دورتر است، هوا گرم‌تر می‌باشد؟ دوری و نزدیکی از خورشید، به علت فاصلهٔ کم دو کانون، تأثیر چندانی در این مورد ندارد، به طوری که در نزدیک‌ترین نقطه، انرژی گرمایی فقط ۷ درصد بیشتر است. از طرفی، هرچه پرتو خورشید به طور عمود یا نزدیک به عمود بتابد، مقدار انرژی دریافتی از خورشید بیشتر است و چون در فصل تابستان زاویهٔ میل پرتوهای خورشیدی نسبت به خط قائم کم می‌شود، زمین گرمای بیشتری دریافت می کند (نیم کرهٔ شمالی). در زمستان، به دلیل تابش مایل پرتوهای خورشیدی و عبور آن‌ها از قشر ضخیم‌تری از جو، مقدار زیادی از انرژی گرمایی در جو پراکنده می‌شود و به زمین نمی‌رسد. نتیجه آنکه، به علت افزایش طول مدت روز و تابش عمودی خورشیدی فصل تابستان، در هر دو نیم کره، گرم‌تر از فصل زمستان خواهد بود. اما چرا طول مدت فصل‌ها در دو نیم کره برابر نیست؟ پاسخ این است که سرعت حرکت زمین به دور خورشید در پاییز و زمستان (۳۰/۳ km/s) اندکی بیشتر از

سرعت زمین در بهار و تابستان است (۲۹/۳ km/s). به طور کلی، مقدار حرارتی که هر قسمت از سطح زمین در هر ثانیه دریافت می کند متناسب با کسینوس زاویهٔ میان خط قائم آن قسمت و شعاع تابش نور و مدت تابش است.

د) چهارمین نتیجهٔ حرکت انتقالی: اختلاف توزیع گرمای خورشید

گرمای خورشید از استوا تا قطب به طور مساوی پخش نمی‌شود. خورشید در روز اول تابستان بر فراز مدار رأس‌السرطان و در روز اول زمستان بر فراز مدار رأس‌الجدی قرار می گیرد و تابش آن عمودی است. البته هنگام ظهر خورشید بر مدار رأس‌الجدی عمود می‌تابد و در نیم کرهٔ شمالی از مدار قطبی (۶۶ درجه و ۳۳ دقیقه) تا نقطهٔ قطب (۹۰ درجه)، ۲۴ ساعت کامل در تاریکی مطلق فرو می‌رود و پرتوهای خورشید به آنجا نمی‌رسد که بدان شب طولانی قطبی گویند. زمانی که خورشید بر نقاط واقع بر روی مدار رأس‌السرطان عمود می‌تابد (اول تابستان) زاویهٔ تابش خورشید بر مدار قطبی ۴۷ درجه و بر نقطهٔ قطبی، ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است. در نتیجه، به اندازهٔ ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه از سمت راست نقطهٔ قطب شمال نیز روشن می‌شود.

به عبارت دیگر، در نیم کرهٔ شمالی خورشید به مدت ۶ ماه همیشه در بالای افق است و ۲۴ ساعت به پرتوافشانی خود ادامه می‌دهد، حتی در نیمه‌شب نیز این پرتوافشانی ادامه دارد و به این پدیده خورشید نیمه‌شب گفته می‌شود. طول مدت روز و دوام روشنایی از مدار قطبی تا نقطهٔ قطب از ۲۴ ساعت تا ۶ ماه به دلیل تمایل محور زمین نسبت به دایرةالبروج تغییر می کند (جدول ۳ـ۶).

جدول ۳ـ۶ طول مدت روز و دوام روشنایی

عرض جغرافیایی	دوام مدت روشنایی خورشید	عرض جغرافیایی	طول مدت روشنایی خورشید
۱۷°	۱۳ ساعت	۶۶°۲۱′	۳۰ روز
۴۹°	۱۶ ساعت	۷۱°۱۲′	۷۵ روز
۶۶°۳۳′	۲۴ ساعت	۹۰°	۶ ماه

۵-۴-۶ حرکت تقدیمی[1] و رقص محوری زمین[2]

محور چرخشی زمین در فضا ثابت نیست و چرخش آن مخروطی‌شکل است. بنابراین، حرکت تقدیمی زمین مانند حرکت فرفرهٔ در حال چرخش است که هنگام چرخش ۲ نیرو بر آن اثر دارند: ۱) نیروی گریز از مرکز که در اثر چرخش محوری به وجود می‌آید. ۲) نیروی گرانش که از پایین به طور قائم بر جسم تأثیر می‌گذارد. تا هنگامی که فرفره چرخش سریع دارد، نیروی گریز از مرکز بر نیروی گرانش غلبه می‌کند و محور چرخش حین حرکت به طور قائم قرار می‌گیرد، اما وقتی که از سرعت آن کاسته شد، گرانش آن را به سوی پایین می‌کشد و محور از حالت عمود خارج می‌شود و انحراف پیدا می‌کند و سرانجام، فرفره از حرکت باز می‌ایستد. تفاوت حرکت زمین با فرفره در این است که انحراف محور زمین حدود ۲۳/۵ درجه ثابت است، ولی محور زمین، حین حرکت در فضا، تغییر مسیر می‌دهد، یعنی هر ۲۵۸۰۰ سال یک بار مسیر دایره‌ای به شعاع ۲۳/۵ درجه را می‌پیماید؛ این حرکت تقدیمی نام دارد. در نتیجهٔ این حرکت، در آینده راستای ستارهٔ قطبی دیگر مرجع مناسبی برای تعیین شمال جغرافیایی نخواهد بود.

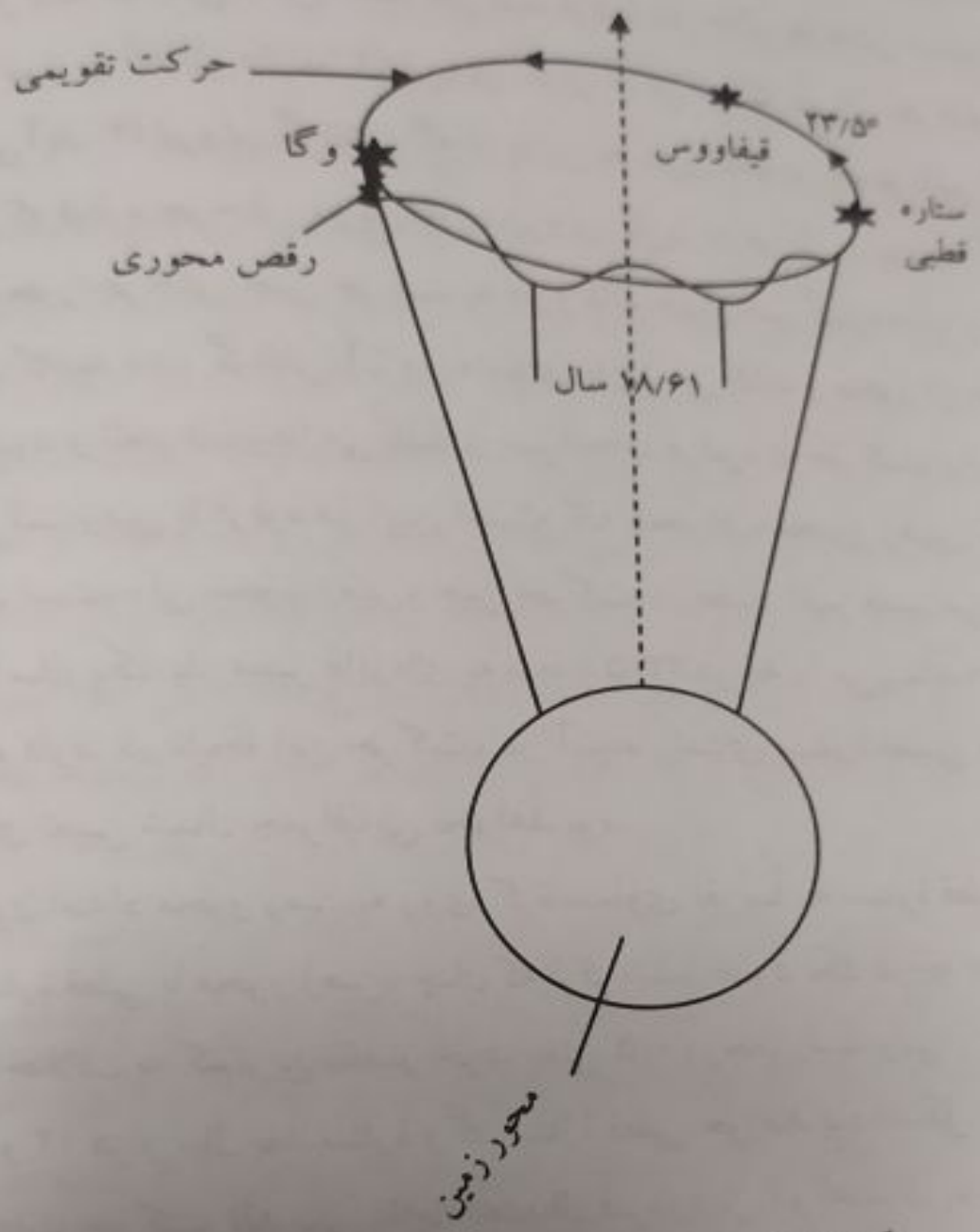
اکنون امتداد محور زمین به روی کرهٔ سماوی تقریباً به ستارهٔ قطبی می‌رسد. اختلاف ستارهٔ قطبی با محور زمین، چنان‌که ذکر شد، حدود یک درجه است. در سال ۲۰۱۵ این اختلاف به کم‌ترین مقدار خود، یعنی ۰/۵ درجه، رسید ولی ۵۵۰۰ سال بعد قیفاووس[3] و ۱۲ هزار سال بعد ستارهٔ وگا[4] ستارهٔ قطبی خواهند بود (شکل ۱۹-۶).

به علت حرکت تقدیمی نقاط اعتدال فروردین γ و اعتدال پاییزی Ω نیز در فضا تغییر می‌کنند و این تغییر حرکت تقدیمی اعتدالین را سبب می‌شود.

نیروی گرانش ماه و خورشید (به‌ویژه ماه که به زمین نزدیک‌تر است) در برآمدگی استوایی زمین اثر کرده، مسیر حرکت محور زمین را در فضا، به جای دایره، سینوسی (∿∿) می‌کند. این حرکت رقص محوری نام دارد. دورهٔ رقص

1. Precession
2. Nutation
3. Alpha Cephei
4. Vega

محوری حدود ۱۸/۶۱ سال یک بار است؛ نتیجه آنکه، حرکت واقعی محور زمین ترکیبی از دو حرکت فوق است (هاشمی، ۱۳۶۷).



شکل ۱۹ـ۶ نمایش حرکت تقدیمی و رقص محوری

۵ـ۶ ماه[1]، تنها قمر شناخته‌شدهٔ زمین

ماه، که بیش از هر جرم آسمانی دیگر، دیدگان زمینیان را به خود مشغول کرده است، قطر کمی بیش از $\frac{1}{4}$ قطر کرهٔ زمین (۳۴۷۶ km) دارد و نسبت به جثهٔ مادر

1. The Moon

خویش، یعنی زمین، یکی از بزرگ‌ترین قمرهای منظومهٔ خورشیدی به شمار می‌رود. در منظومهٔ خورشیدی فقط ۵ قمر بزرگ‌تر از ماه وجود دارند که ۳تای آن‌ها به مشتری، یکی به زحل و دیگری به نپتون، یعنی ۳ غول منظومهٔ خورشیدی، که هر کدام به تنهایی چند ۱۰۰ برابر قمرهای خویش‌اند، تعلق دارد. لذا، می‌توان زمین و ماه را سیارات دوقلو[1] نامید. با این حال، بین این دو سیاره تفاوت‌های فراوانی وجود دارد.

بعد از خورشید، ماه مؤثرترین جرم آسمانی بر زمین است. فاصلهٔ متوسط ماه از زمین ۳۸۴ هزار کیلومتر است (در حضیض یا نزدیک‌ترین موقعیت نسبت به زمین ۳۵۶ هزار و ۴۱۰ کیلومتر و در اوج ۴۰۶ هزار و ۶۷۹ کیلومتر). این فاصله ظاهراً فاصله‌ای طولانی است، اما در مقایسه با فاصلهٔ زهره و مریخ، که بعد از ماه نزدیک‌ترین اجرام شناخته‌شده سماوی به زمین هستند، ماه واقعاً به زمین بسیار نزدیک است.

برای ساکنان زمین سابقهٔ شناخت ماه به روزگاران گذشته باز می‌گردد. چهرهٔ ماه و عوارض عمدهٔ آن را حتی با چشم معمولی و غیرمسلح هم می‌توان دید. گالیله نخستین ستاره‌شناسی است که در سال ۱۶۱۰ میلادی به طور جدی روی ماه کار کرد و سعی بر آن داشت تا بلندی کوه‌های ماه را به کمک سایهٔ آن‌ها اندازه‌گیری کند. نخستین عکس کرهٔ ماه در سال ۱۸۴۰ به وسیلهٔ ج. و. دراپر[2] تهیه شد و از آن به بعد فن عکاسی در شناسایی و تهیهٔ نقشه‌های کرهٔ ماه به خدمت درآمد و اطلس‌های عکسی فراوانی تهیه شد و در دسترس قرار گرفت. تا سال ۱۹۵۹، که نخستین سفینهٔ بدون سرنشین به فضا فرستاده شد، تهیهٔ نقشه‌های مقیاس بزرگ، که به نمایش جزئیات کوچک چهرهٔ ماه قادر باشد، امکان‌پذیر نبود (مور و هانت، ۱۳۷۰).

مهنوردهای امریکایی اوربیترز[3] که در سال‌های ۱۹۶۶ و ۱۹۶۸ به فضا فرستاده شدند، در فاصلهٔ نزدیکی پیرامون ماه به گردش درآمدند و هزاران عکس روشن و

1. Binary Planet
2. J.W. Draper
3. Orbiters

دقیق به زمین مخابره کردند که بعدها در فرودهای موفقیت‌آمیز آپولو[1] استفاده شد. پیاده شدن سرنشینان سفینهٔ آپولو ۱۱ در ۲۰ ژوئیه ۱۹۶۹ بر روی ماه مهم‌ترین دوره در تاریخ ماه محسوب می‌شود. طی این سفر نمونهٔ سنگ‌ها و اطلاعات جدید فراوانی از این طریق به دست آمد، گرچه هنوز ناشناخته‌ها در این زمینه بسیارند.

۱ـ۵ـ۶ ناهمواری‌ها و عوارض سطح ماه

در سطح کرهٔ ماه عوارض و پدیده‌های متعددی، از قبیل دشت‌های خاکستری‌رنگ، که به رنگ تیره ملاحظه می‌شوند، رشته‌کوه‌ها، بلندی‌های منفرد و همچنین گودال‌های عمیقی، به وسیلهٔ چشم غیرمسلح، به صورت نواحی تاریک و روشن، قابل مشاهده است. نواحی تاریک بزرگ‌تر، از قدیم به اسم ماریا[2]، به معنی دریا، نامیده شده‌اند. اکنون می‌دانیم که در ماه آب وجود ندارد و ناحیهٔ ماریا خشک و تقریباً هموار و مسطح است و تیره‌تر از سایر قسمت‌ها به نظر می‌رسد. بیشتر این عوارض سطح ماه را به نام‌های فیلسوفان و منجمان مشهور نام‌گذاری کرده‌اند.

تقریباً سراسر سطح ماه را گودال‌ها و حفره‌های بزرگی فرا گرفته است. در رابطه با منشأ حفره‌ها و گودال‌های سطح ماه ۲ فرضیه مطرح شده است. یکی از فرضیه‌ها تشکیل حفره‌ها را به فعل و انفعالات آتشفشانی نسبت می‌دهد و دیگری ایجاد آن‌ها را در اثر برخورد شهاب‌ها به سطح ماه می‌داند.

ماه از نظر شرایط جوی دنیای کاملاً متفاوتی دارد. از آنجایی که هم اندازهٔ آن و هم جرم آن کم است، لذا با میدان جاذبهٔ نسبتاً ضعیف خود قادر به نگهداری جو در پیرامون خودش نیست. شتاب ثقل در سطح ماه فقط $\frac{۱}{۶}$ شتاب ثقل در سطح زمین است.

بررسی‌های به عمل آمده به‌وسیلهٔ مهنوردهای آپولو گویای جو بسیار رقیقی است که تراکم آن $۱۰^{-۴}$ بار کمتر از تراکم جو زمین است. جو ماه شامل اندکی هلیوم هیدروژن، نئون، و آرگون است (مور و هانت، ۱۳۷۰).

1. Apollo
2. Maria

ماه با سرعت حدود یک کیلومتر بر ثانیه در مدت ۲۷۳/۲۱۷ شبانه‌روز زمین را یک بار دور می‌زند که به آن پریود نجومی[1] گفته می‌شود و آن عبارت است از فاصلهٔ زمانی که ماه به نقطهٔ شروع حرکت خود باز می‌گردد.

پریود (دوره) هلالی[2] ماه یعنی فاصلهٔ زمانی بین دو هلال ماه متوالی که برابر $۲۹\frac{۱}{۲}$ شبانه‌روز است. پریودهای نجومی و هلالی دو روز با یکدیگر اختلاف دارند و این بدان علت است که در حالی که ماه به دور زمین می‌چرخد، سیستم ماه زمین نیز به دور خورشید می‌چرخد. اگر، در حالت مقارنه، ماه و خورشید در یک محل بر روی کرهٔ سماوی، مثلاً در نقطهٔ اعتدال بهاری، دیده شوند $۲۷\frac{۱}{۳}$ روز بعد گرانیگاه[3] سیستم ماه ـ زمین، زاویه‌ای را برابر ۲۷ درجه به دور خورشید طی خواهد کرد و ماه دومرتبه در نقطهٔ اعتدال بهاری قرار خواهد گرفت، اما ماه باید تقریباً ۲۷ درجهٔ دیگر بپیماید تا در حالت مقارنه با خورشید واقع گردد. بنابراین، پریود هلالی ماه از پریود نجومی آن به اندازهٔ طول زمانی (یا کمی بیشتر از زمانی) که باید ۲۷ درجه بپیماید زیادتر است (استروو و دیگران، ۱۹۷۲).

مدت چرخش ماه حول محورش برابر با مدت گردش آن به دور زمین است. به بیان دیگر، یک شبانه‌روز ماه با سال آن برابر است. به همین دلیل است که همواره یک طرف ماه رو به زمین است و همچنین به علت کند بودن حرکت وضعی و رقیق بودن جو ماه دمای سطح آن در روز تا ۳۷۳ درجه و در شب تا ۱۰۰ درجهٔ کلوین می‌رسد (ملک‌پور، ۱۳۶۴).

۲ـ۵ـ۶ نظریه‌های پیدایش ماه

در مورد پیدایش ماه نظریه‌های مختلفی به شرح ذیل مطرح شده است.

۱. نظریهٔ اشتقاقی[4] که اولین‌بار در سال ۱۸۸۰ به وسیلهٔ جرج داروین، کیهان‌شناس بریتانیایی، بیان گردید. بر اساس این نظریه، نیروهای جزر و مدی ناشی

1. Sideral Month
2. Lunar Month
3. Bary Center
4. Fission

از جاذبهٔ خورشید باعث شده است که قسمتی از کرهٔ زمین جدا و به فضا پرتاب گردد. این نظریه را دانشمندانی چون رینگوود (در سال ۱۹۶۰)، اکیف (در سال‌های ۱۹۶۶ و ۱۹۶۹)، و وایز (در سال‌های ۱۹۶۳ و ۱۹۶۹) مجدداً احیا کردند که بر اساس نظریه‌های آنان اشتقاق ماه از زمین هنگام جدا شدن ناگهانی هسته و گوشتهٔ زمین صورت گرفته است.

۲. نظریهٔ سیارهٔ دوتایی که در سال ۱۹۵۴ کوپیر مطرح کرد. بر اساس این نظریه، زمین و ماه به صورت یک سیستم دوتایی از مادهٔ واحد و در مجاورت یکدیگر تشکیل شدند.

۳. نظریهٔ انفرادی یوری در سال ۱۹۶۰ که بر اساس آن ماه بازمانده‌های گرد و غبار (نبولا) اولیه‌ای است که در فضای منظومهٔ خورشیدی پراکنده بوده است.

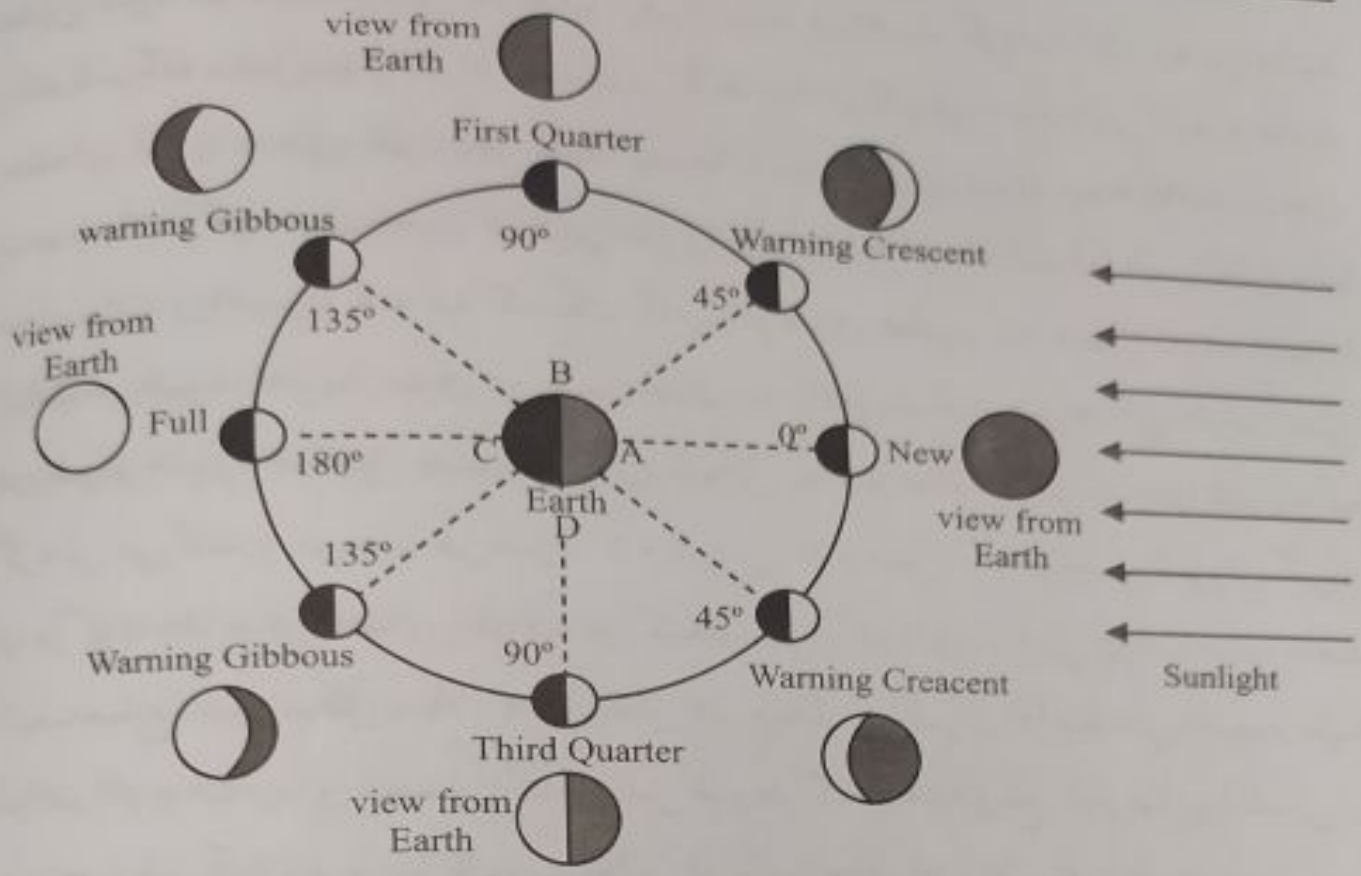
۴. سرانجام نظریهٔ حلقه‌ای اپیک که در سال ۱۹۵۵ مطرح شد و در سال ۱۹۶۶ رینگوود این نظریه را به صورت کامل‌تری بیان کرد. بنا بر نظریهٔ این دانشمند، در مراحل آخر تشکیل زمین، اتمسفر متراکمی در اطراف آن وجود داشت که حرارت آن به حدی بود که قسمتی از مواد سیلیکاتهٔ موجود در آن تبخیر گردید و هنگامی که خورشید به مراحل فعالیت شدید خود رسید، این اتمسفر تا حدودی پراکنده و این پراکندگی و انبساط سبب سرد شدن و در نتیجه تشکیل ذرات سیلیکاته شد. ذرات فوق حلقهٔ دور زمین را تشکیل دادند و از آنجا که این حلقه به حالت ناپایدار بود، بعد باعث تشکیل ماه گردید.

با نتایج تحقیقات آپولو ۱۱ و ...، بر هریک از نظریه‌های فوق ایرادهایی وارد است که به ذکر آن‌ها نمی‌پردازیم. جدیدترین نظریه را دکتر ریچارد درزن، از محققان دانشگاه ایندیای امریکا، در سال ۱۹۸۶ به این شرح مطرح کرد: «زمین در حالی که هنوز به صورت نیمه‌مذاب در حال گردش بوده با یک جسم عظیم یا کرهٔ دیگر برخورد می‌کند و این اتفاق حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش روی داده است و اگر چنین بوده باشد، زمین به راحتی این ضربه را تحمل کرده و چیزی از زمین کنده نشده است که بعدها ماه را به وجود آورد، اما در عین حال،

همین ضربه موجب گردش سریع‌تر زمین شد و باعث گردید که زمین مانند یک دستگاه سانتریفیوژ مواد مذاب را از هستهٔ مرکزی خود دور کند و مانند حلقه‌ای آن را به دور خود بچرخاند. بعدها به‌تدریج این مواد نیمه‌جامد سخت شده و با تمرکز حول محور دیگری ماه را به وجود آورده است». این نظریه با محاسبات ریاضی، که به کمک کامپیوترهای عظیم به عمل آمده است، اثبات می‌شود. نظریهٔ فوق در عین حال با واقعیت نیز هماهنگی دارد. زمین در اثر برخورد با این جسم کروی شکل با سرعت بسیار زیادی شروع به گردش می‌کند و موجب می‌شود که ذراتی از زمین، به موجب نیروی گریز از مرکز، جدا و در فضای اطراف پراکنده شود. ذره‌ای از این ذرات نیمه‌جامد (نیمه‌مایع) به شکل ماه به حیاتش در مدار دیگری ادامه می‌دهد و بقیهٔ ذرات کوچک‌تر در فضا پراکنده می‌شوند که به‌تدریج غبارهای فضایی را به وجود می‌آورند و یا جذب یکی از مدارهای اطراف خورشید می‌شوند. همچنین، بنابر مطالعات به عمل آمده، ذخایر آهن کرهٔ ماه به مراتب کمتر از زمین است و این خود از دیگر دلایل صحت نظریهٔ این دانشمند امریکایی است. چون زمین، در حالی که به دور خود می‌چرخد، عناصر سبک‌تر را به طرف فضای خارج پرتاب می‌کند و عناصر سنگین‌تر، چون آهن، در هستهٔ مرکزی زمین باقی می‌ماند.

۳ـ۵ـ۶ حرکت‌های سالانهٔ ماه به دور خورشید

اگر حرکت زمین به دور خورشید را با حرکت ماه به دور زمین ترکیب نماییم، ماه یک حرکت سالانه روی مدار مارپیچی به دور خورشید خواهد داشت (شکل ۲۰ـ۶). همچنین، کرهٔ ماه در حرکت به دور زمین نسبت به خورشید دو حالت پیدا می‌کند که بدان مقارنه و مقابله گویند. مقارنه هنگامی است که ماه و خورشید در برابر یکدیگر قرار گیرند و در یک امتداد رؤیت شوند. مقابله زمانی است که زمین بین ماه و خورشید قرار گیرد.



شکل ۲۰ـ۶ حرکت سالانهٔ ماه به دور زمین و خورشید

در صورتی که زمان حرکت انتقالی کرهٔ ماه را به دور زمین با خورشید یا یک ستارهٔ ثابت دیگر اندازه‌گیری کنیم، ۲ نوع دوران برای ماه خواهیم داشت:

۱. دوران اعتدالی ماه عبارت است از دو اقتران متوالی ماه با خورشید، که بدان ماه قمری یا دورهٔ هلالی ماه گویند و زمان آن برابر است با ۲۹/۵ روز؛

۲. دوران نجومی ماه، معرف دو اقتران متوالی ماه با ستارهٔ ثابت انتخابی و زمان آن مساوی با ۲۷ روز و ۷ ساعت و ۴۷ دقیقه است.

۴ـ۵ـ۶ حالات مختلف ماه[1]

کرهٔ ماه، چون مانند زمین از خورشید کسب نور می‌کند، در حرکت انتقالی خود به دور زمین، طبق موقعیت‌هایی که نسبت به خورشید و زمین دارد، نیم کره‌ای از آن

1. Phases of the Moon

همیشه مقابل زمین است. از لحاظ روشنایی به شکل‌های مختلفی ظاهر می‌گردد که به آن حالات مختلف ماه یا اهلهٔ قمر می‌گویند. این حالات از روی فاصلهٔ زاویه‌ای کرهٔ ماه نسبت به خورشید یا اختلاف طول آسمانی ماه و خورشید، که بین صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می‌کند، قابل توجیه است (حریریان، ۱۳۷۰).

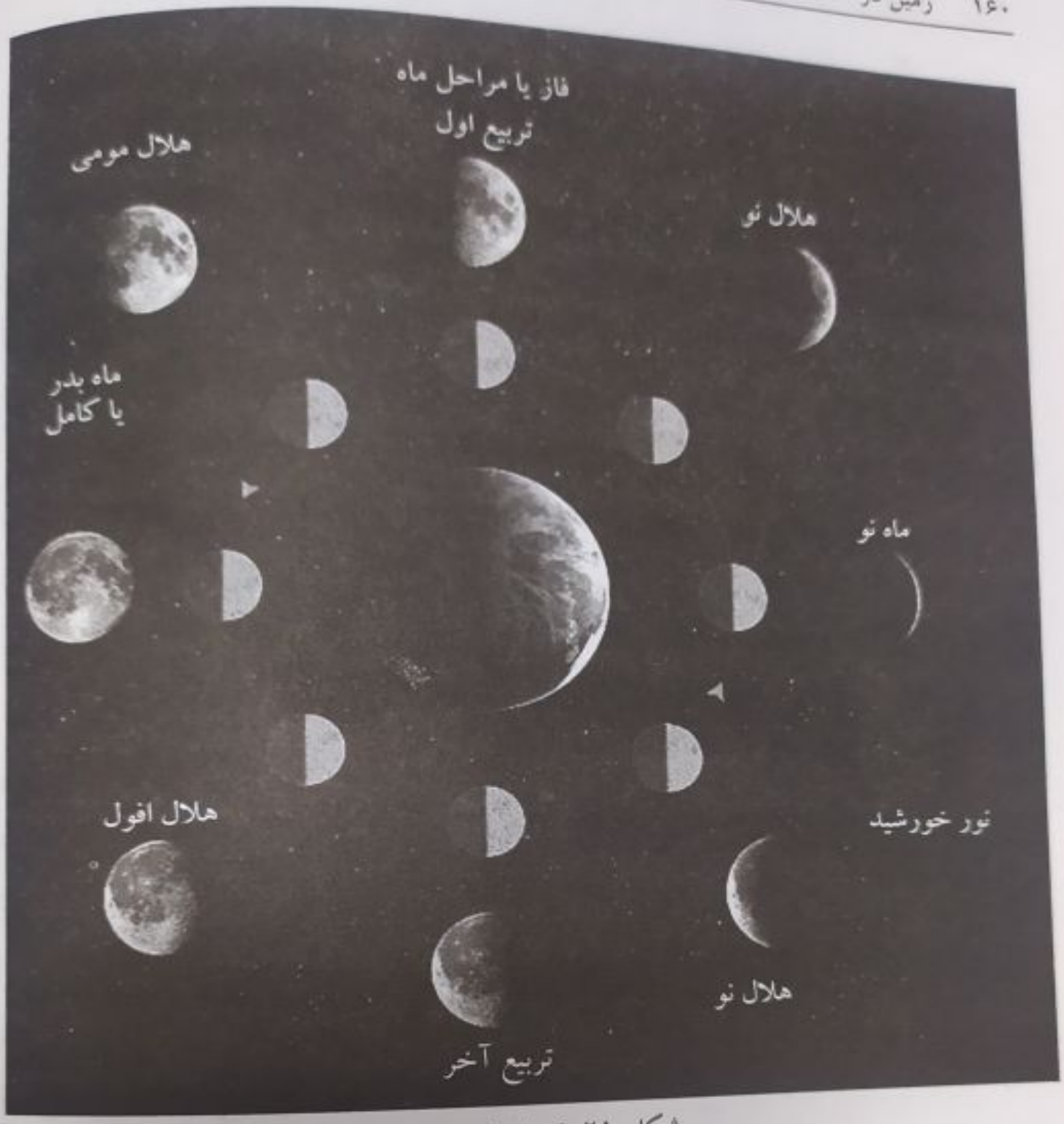
۱. وقتی که ماه و خورشید در یک زمان به نصف‌النهاری مساوی برسند، یا ماه در حالت مقارنه باشد، نیم‌کرهٔ مرئی آن برای ما کاملاً تاریک خواهد بود؛ در این حالت گویند ماه در محاق قرار گرفته است.

۲. بعد از آنکه ماه ۴۵ درجه از مدار ۳۶۰ درجه را طی کرد، ربع نیم‌کرهٔ مرئی ماه، که به سمت ما می‌باشد، روشن است. این قسمت روشن به صورت هلالی، که تحدب آن به سمت خورشید است، مشاهده می‌شود؛ به این حالت ماه هلال می‌گویند.

۳. در اختلاف طول ۹۰ درجه بین ماه و خورشید، یعنی زمانی که خط واصل بین زمین و خورشید و ماه زاویهٔ قائمه‌ای می‌سازد که زمین در رأس این زاویه قرار دارد، نیمی از کرهٔ ماه روشن و تحدب آن به سمت خورشید است. این حالت را تربیع اول گویند و برابر با ۷ یا ۸ روز بعد از گذشت هلال ماه است.

۴. وقتی که ماه و خورشید در حالت مقابله قرار گرفتند، یعنی اختلاف طول بین ماه و خورشید به ۱۸۰ درجه رسید، نیم‌کرهٔ مرئی ماه کاملاً روشن و به صورت قرص تمام دیده می‌شود که مقارن با روز ۱۴ و ۱۵ ماه است. این حالت را بدر گویند (شکل ۲۱ـ۶).

۵. ماه در ادامهٔ حرکت خود به دور زمین در وضعی قرار می‌گیرد که اختلاف طول ماه و خورشید به ۲۷۰ درجه می‌رسد. بنابراین، برای بار دوم، خط واصل بین زمین و خورشید و زمین و ماه زاویه قائمه‌ای تشکیل می‌دهد که زمین مجدداً در رأس این زاویه قرار داشته و نیمی از کرهٔ ماه روشن و تحدب قسمت روشن باز به طرف خورشید است. این حالت را تربیع دوم نام نهاده‌اند (حدود شب‌های ۲۲ یا ۲۳ ماه).



شکل ۲۱ـ۶ اهلهٔ قمر

۶. بعد از تربیع دوم، نیمهٔ روشن ماه به‌تدریج ضعیف می‌شود تا جایی که ربع نیم کرهٔ ماه به صورت هلالی درمی‌آید و تحدبی به سمت خورشید دارد (شب‌های ۲۶ یا ۲۷ ماه). چند روز بعد، که ماه یک دور کامل دور کرهٔ زمین را طی کرد و دوباره در وضع مقارنه با خورشید قرار گرفت، حالت محاق تجدید خواهد شد؛ این حالت در هر ماه برای کرهٔ ماه صورت می‌گیرد (حریریان، ۱۳۷۰).