

صلى الله عليه وآله وسلم

نجوم توصیفی

مقدمه:

تشکر: تقدیم:

فهرست مطالب :

مقدمه

فصل اول : نقشه ی آسمان

اهداف فصل

جایگاه ما در فضا

مقیاس های نجومی

آسمان شب

صور فلکی و آسمان شب

تغییرات آسمان: در طول یک شب و از شبی تا شب دیگر

حرکات روزانه ستارگان و ارتباط آن با چرخش زمین

تغییرات آسمان شب در طی یک سال و ارتباط آن با حرکت مداری زمین

کره سماوی

دستگاه های مختصات سماوی

فصول

منشأ پیدایش فصول

حرکت خورشید روی کره ی سماوی (پیدایش فصول)

اعتدالین و انقلابین

شبانه روز خورشیدی و نجومی

حرکت تقدیمی

جدول صور فلکی

فصل دوم: حرکت ماه و گرفت ها

اهداف فصل

جدول ویژگی های ماه

حرکت ماه

فازها (اهله)ی ماه

ماه هلالی و ماه نجومی

تک رخ بودن ماه

گرفت ها

ماه گرفتگی:

خسوف نیم سایه ای

خسوف کلی

خسوف جزئی

خورشید گرفتگی

کسوف کلی:

کسوف جزئی

کسوف حلقوی

بسامد گرفت ها

فصل سوم: سیارات

اهداف فصل

حرکات مستقیم و بازگشتی سیارات

مدل زمین مرکزی

مدل خورشید مرکزی

دوره های تناوب سیارات

جدول: دوره تناوب هلالی و نجومی

جدول: فاصله میانگین سیارات از خورشید

ویزگی های سیارات منظومه شمسی

تقسیم بندی بر اساس مدارهای سیارات

تقسیم بندی بر اساس خصوصیات فیزیکی

میدان مغناطیسی

سرعت فرار

جدول: تفاوت سیارات مشتری گون و زمین گون

جدول: هفت قمر غول پیکر

جدول: داده های مداری سیارات زمین گون

جدول: داده های مداری سیارات مشتری گون

جدول: داده های فیزیکی سیارات زمین گون

جدول: داده های فیزیکی سیارات مشتری گون

جدول: مشخصات برخی از قمرها

دسته بندی تعدادی از اجسام کوچکی که حول خورشید حرکت مداری دارند:

۱- سیارک ها

۲- اجسام فرا نپتونی

جدول: هفت تا از بزرگ ترین اجسام فرا نپتونی

دنباله دارها و شهاب سنگ ها

دهانه های برخورد

فصل چهارم: سیاره ما زمین

اهداف فصل

جدول ویژگی های زمین

منابع انرژی کره زمین

دمای سطحی زمین و اثرات گلخانه ای

اثر گلخانه ای

جدول: ترکیبات شیمیایی جوّ برای سه سیاره خاکی

ساختار درونی زمین

جدول: ساختار درونی زمین

جوّ زمین

ساختار جوّ

چرا آسمان آبی است؟

معرفی بعضی از اثرات جوّی:

۱- خاموشی

۲- چرا ابرها سفید هستند؟

۳- چرا ستاره ها چشمک می زنند؟

۴- غروب واقعی و غروب ظاهری چیست؟

مغناطیس سپهر زمین

کمربندهای وان آلن

شفق قطبی

منشأ میدان مغناطیسی زمین

جزر و مد

تغییر شکل گرانشی

اثرات جزر و مدها بر چرخش زمین

اثرات جزر و مدها بر چرخش ماه

فصل پنجم: خورشید ستاره مادر

اهداف فصل

ویژگی های خورشید

جدول: داده های خورشید

درخشندگی

ساختار کلی خورشید

جدول: مدل استاندارد خورشیدی

بررسی ساختار درونی خورشید با استفاده از زلزله شناسی خورشیدی

انتقال انرژی از هسته خورشید به سطح آن

ساختار درونی خورشید

جو خورشید

جدول: ترکیبات خورشید

فام سپهر

تاج خورشیدی

باد خورشیدی

مغناطیس خورشیدی:

لکه های خورشیدی

میدان مغناطیسی خورشید

چرخه ی خورشیدی

خورشید فعال:

نواحی فعال

خورشید در پرتوهای ایکس

تغییرات تاج خورشیدی

انرژی خورشیدی

تولید انرژی خورشیدی

همجوشی هیدروژن (زنجیره پروتون- پروتون)

انرژی تولید شده در زنجیره پروتون- پروتون

مشاهده نوترینوی خورشیدی

جدول: ثابت های فیزیکی

خود آزمایی

واژه نامه

فصل اول:

نقشه ی آسمان

اهداف فصل:

با مطالعه این فصل قادر خواهید بود :

- جایگاه زمین را در فضا توضیح دهید.
- واحد های مختلف نجومی را بیان کنید و ارتباط آنها با یکدیگر را به دست آورید.
- توصیف کنید چگونه خورشید، ماه و ستارگان با تغییر موقعیت شان از شبی تا شبی دیگر و از ماهی تا ماهی دیگر در آسمان ظاهر می شوند.
- علت حرکت ظاهری زمین و ماه بر حسب حرکت واقعی آنها را بیان کنید.
- شبانه روز خورشیدی و نجومی و تفاوت آنها را بیان کنید.
- توضیح دهید فصل ها چگونه ایجاد می شوند.
- حرکت تقدیمی زمین را توصیف کنید.

جایگاه ما در فضا:

امروزه می دانیم که زمین یک سیاره ی خاص نبوده و ما در جای منحصر به فرد و بی نظیری از کیهان (مانند مرکز آن) زندگی نمی کنیم. در واقع، هیچ مرکزیتی برای عالم وجود ندارد و تمام ناظرها در هر نقطه یکسان در نظر گرفته می شوند (اصل کوپرنیکی).

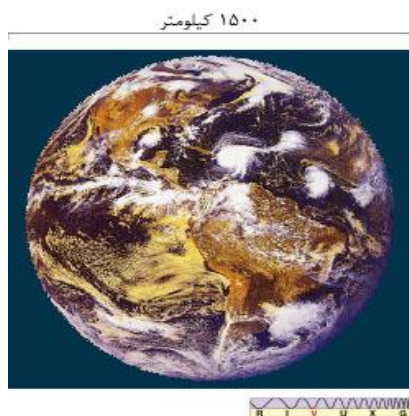
با توجه به رصدهای نجومی در دهه های اخیر، دیگر این واقعیت اثبات شده که ما بر روی سیاره ای زندگی می کنیم که یکی از هشت سیاره ی شناخته شده ای است که به دور خورشید می گردد. خورشید، ستاره ای است که در بازوی سوم کهکشان راه شیری قرار دارد و این کهکشان یکی از میلیاردها کهکشانی است که در سرتاسر کیهان وجود دارند. برای درک ارتباط بین این اجرام به شکل های ۱ تا ۴ مراجعه و سپس جایگاه آنها را در شکل ۵ پیدا کنید.

علم نجوم یا ستاره شناسی از هزاران سال پیش شروع شده و به عنوان یک علم توصیفی به شمار می رود که حرکات خورشید، ماه، سیارات، و ستارگان را مورد بررسی قرار می دهد. برابراتین کلمه ستاره شناسی، کلمه **astronomy** ترکیب **astro+nomy** به معنی قوانین ستاره ها است و یک علم کاملاً تخصصی است.

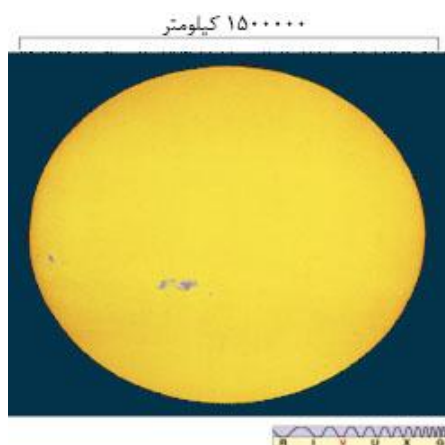
علم نجوم گرچه از قدیمی ترین علوم شناخته شده و مورد علاقه ی بشر بوده است، اما با پیشرفت علوم دیگر به خصوص فیزیک، ریاضیات و تکنیک های اندازه گیری و مشاهده، این علم نیز توسعه یافته و از محدود علمی است که در سطح بالایی از ارتباط با فیزیک، ریاضیات، شیمی، زمین شناسی، زیست شناسی و علوم مهندسی قرار دارد. برای فهم پدیده های نجومی و علت وقوع آنها ملزم به درک وسیعی از علم فیزیک می باشیم، از این رو بیشتر ستاره شناسان را اختر فیزیکدان می نامند. در واقع می توان چنین نوشت: فیزیک + نجوم = اخترفیزیک.

نکته جالب توجه آن است که وقتی بخواهیم آسمان را از نظر علمی بررسی کنیم از یک طرف در حوزه ی کیهان شناسی با بزرگ ترین ابعاد و مقیاس ها سر و کار داریم و از طرف دیگر در مباحث مطرح در جهان اولیه یا موضوعات اختر فیزیکی مرتبط با تحولات درون ستارگان، با کوچک ترین ابعاد و مقیاس ها (فیزیک هسته ای و فیزیک ذرات بنیادی) درگیر هستیم. امروزه، قلب ستارگان و کیهان اولیه به عنوان آزمایشگاهی برای آزمودن نظریه های مطرح در فیزیک هسته ای و فیزیک ذرات بنیادی در نظر گرفته می شوند. البته تذکر این نکته مهم است که مطالعات نجومی چه در حوزه مباحث نظری و چه در ارتباط

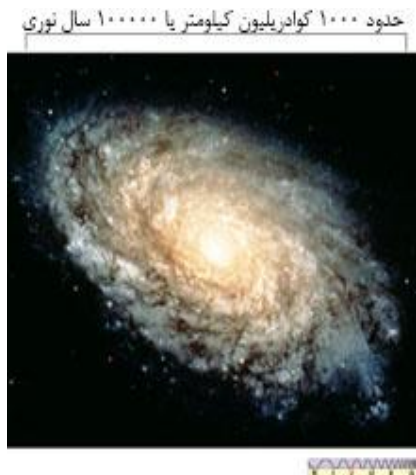
با تکنیک های تجربی دیگر محدود به گستره ی طول موج های طیف بینایی نبوده بلکه از یک طرف نجوم رادیویی (طول موج های بلند تر از پهنای بینایی) و از طرف دیگر نجوم اشعه ی ایکس و اشعه ی گاما (طول موج های بسیار ریز و بنابراین انرژی های بالا) از شاخه های شناخته شده نجوم هستند و بخش قابل توجهی از فعالیت های علمی و پژوهشی را در بر دارند.



شکل 1 زمین: سیاره ی زمین غالباً به صورت یک جسم جامد است با این همه در اقیانوس ها و مرکز آن مایع و اتمسفر آن شامل گاز می باشد. به وضوح شما می توانید قاره های آمریکای شمالی و جنوبی را در شکل پیدا کنید.



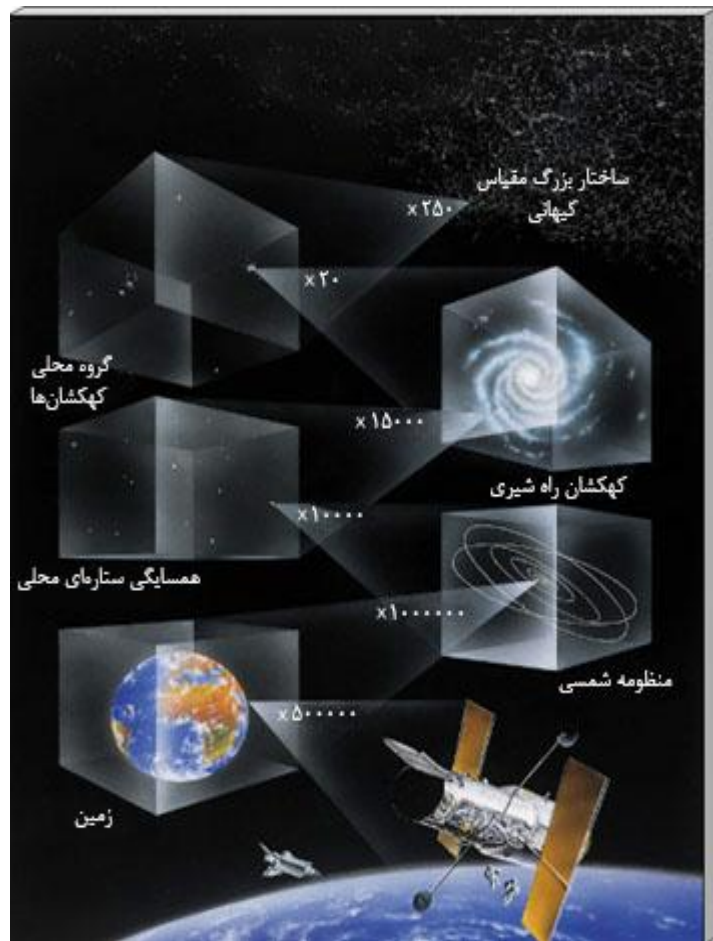
شکل 2 خورشید: خورشید ستاره است- یک گوی گازی بسیار داغ بسیار بزرگ تر از زمین، که به وسیله گرانش خودش به هم نگه داشته شده است.



شکل ۳ کهکشان: یک کهکشان نوعی شامل صدها میلیارد ستاره می باشد که ناحیه وسیع بین ستاره ها را فضای خالی تشکیل می دهد. کهکشانی که در شکل می بینید در مجموعه ی اشیاء کاتالوگ نجومی ثبت شده است. به اختصار آن را NGC4414 می گوئیم. خورشید ما یک ستاره نسبتاً معمولی در لبه ی کهکشان راه شیری می باشد.



شکل ۴ خوشه کیهانی: عکس بالا یک خوشه ی کهکشانی را نشان می دهد که یک میلیون سال نوری از زمین فاصله دارد. هر کهکشان شامل صدها بیلیون ستاره و احتمالاً سیارات و موجودات زنده است.



شکل ۵ اندازه و مقیاس: شکل مقیاس های مختلف را درون مکعب ها نمایش می دهد. در قسمت پایین تصویر فضا پیما و فضانوردان در مدار زمین نشان داده شده اند. در این مناظر به صورت تصاعدی در هر یک از پنج مکعب رسم شده از پایین به بالا به ترتیب زمین، سیستم سیارات، ستارگان همسایه، کهکشان راه شیری و نزدیک ترین خوشه ی کهکشانی بزرگنمایی شده اند. مکعب بالایی توزیع کهکشان ها در جهان را در مقیاسی از صدها میلیون سال نوری نشان می دهد. اعداد داده شده نیز تقریباً افزایش مقیاس در تصاویر را نشان می دهند.

مقیاس های نجومی:

گستره ی مقیاس های تا کنون شناخته شده در علوم طبیعی بین 10^{-16} متر (۱/ فرمی) تا 10^{25} متر می باشد که مقیاس های نجومی را در گستره 10^8 متر تا 10^{25} متر می توان در نظر گرفت.

با توجه به فواصل بزرگ بین سیاره ها و فواصل بسیار بزرگ تر بین ستاره ها و کهکشان ها، منجمان از واحد نجومی برای اندازه گیری فواصل نجومی استفاده می کنند. هنگامی که ستاره شناسان از فواصل درون منظومه شمسی استفاده می کنند واحد طولی به نام واحد نجومی (AU) استفاده می کنند که معادل فاصله ی میانگین بین زمین و خورشید است.

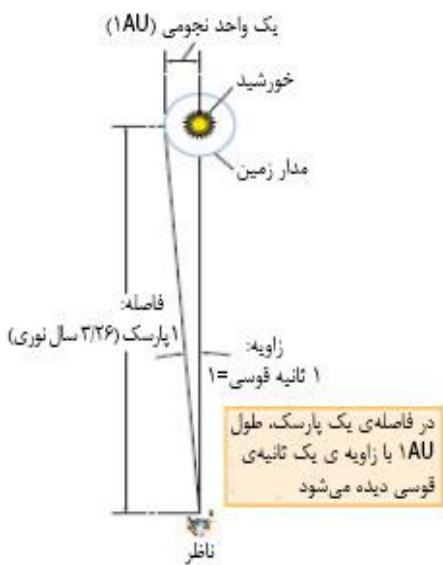
$$1AU = 1.496 \times 10^8 km$$

به این ترتیب فاصله ی میانگین بین خورشید و مشتری $5/2 AU$ می باشد. ستاره شناسان برای بیان فاصله ی ستارگان، از واحد دیگری به نام سال نوری استفاده می کنند. سال نوری مسافتی است که نور در یک سال می پیماید. از طرفی بسیاری از

منجمان ترجیح می دهند که از واحد دیگری به نام پارسک استفاده کنند. فاصله ای که از آن یک واحد نجومی با زاویه ی یک ثانیه قوسی دیده شود یک پارسک نامیده می شود (شکل ۶).

$$1pc = 3.09 \times 10^{13} km = 3.26 ly$$

به عنوان مثال فاصله ی زمین تا نزدیک ترین ستاره به خورشید پروکسیما قنطورس ۴,۲ سال نوری معادل با ۱/۳ پارسک است ستاره شناسان معمولاً برای بیان فاصله های دورتر از واحدهای کیلو پارسک Kpc و مگا پارسک Mpc استفاده می کنند.



شکل ۶ پارسک: پارسک واحد طولی است که منجمان از آن استفاده می کنند و برابر با ۳/۲۶ سال نوری است. پارسک فاصله ای است که یک واحد نجومی (عمود بر خط دید ناظر) با زاویه ی یک ثانیه ی قوسی دیده می شود.

آسمان شب:

اگر در یک شب تاریک (آسمان بدون ماه) و از یک مکان مناسب، با چشم غیر مسلح ستاره قطبی را در آسمان پیدا کنید و این رصد ساده خود را تا صبح ادامه دهید، حتماً به نتایج زیر خواهید رسید:

- محل ستاره ی قطبی در آسمان یک محل ویژه است. زیرا ستارگان در مسیرهای دایره ای و پادساعتگرد، به دور نقطه ی شمالی آسمان (محل ستاره قطبی) در حال حرکت هستند.
- ستارگانی که نزدیک به این نقطه هستند در طول شب غروبی ندارند، ولی ستارگان دوردست از این نقطه از شرق افق شما طلوع و در غرب، غروب می کنند.

اگر مشاهدات خود را تا ساعات ابتدایی روز ادامه دهید خواهید دید که:

- با طلوع خورشید از شرق افق، ستارگان به تدریج در آسمان محو می شوند.

- خورشید نیز مانند ستارگان از شرق طلوع و در غرب غروب می کند.

اگر مشاهدات خود را با چشم غیر مسلح در شب های دیگر نیز تکرار کنید می توانید به سؤالات زیر پاسخ دهید:

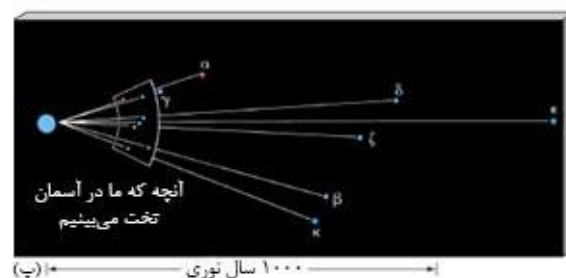
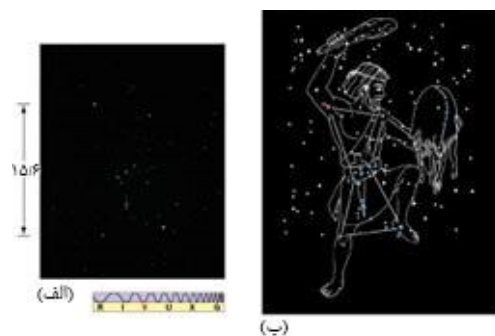
- چرا در یک شب و در یک زمان آسمان مکان های مختلف با هم متفاوت است؟
- چرا آسمان در شب های مختلف از سال، برای یک مکان با هم فرق دارد؟
- چرا بعضی از ستارگان همیشه در آسمان شب دیده می شوند ولی بعضی از آنها فقط در ایامی از سال قابل رؤیت هستند؟
- و شاید ده ها سؤال دیگر.....

برای پاسخ به این سؤالات ابتدا باید چگونگی حرکت زمین در آسمان و همچنین مکان دقیق ستارگان (از جمله خورشید) را نسبت به زمین مورد مطالعه قرار دهید.

صور فلکی و آسمان شب:

اگر در یک شب صاف و تاریک به آسمان نگاه کنید ممکن است تصور کنید که هزاران ستاره می بینید. در واقع چشم غیر مسلح در حدود ۳۰۰۰ ستاره مشاهده می کند. این تعداد تقریباً نیمی از ستارگانی است که قابل رؤیت می باشد. این بدان خاطر است که در یک زمان نیمی از آسمان در زیر افق دید شما قرار دارد. بنابراین چشم انسان بدون وسیله کمکی می تواند در حدود ۶۰۰۰ ستاره را ببیند. مردمان قدیم با مشاهده قسمتهای مختلف از آسمان، چنین تصور می کردند که این هزاران ستاره اشکالی را بنا کرده اند. این مجموعه از اشکال که هنوز هم مورد توجه ی ستاره شناسان است، صور فلکی نام دارند.

بر اساس یک سنت تاریخی و مطابق ایده ی پیشینیان، ستاره ها درون صورت های فلکی گروه بندی می شوند. بیشتر این صورت های فلکی مربوط به نیم کره شمالی آسمان هستند. این بدان خاطر است که بیشتر مردم کره ی زمین در این نیم کره ساکن هستند و اکثر مناطق نیم کره ی جنوبی را آب ها پوشانده است (البته در نیم کره ی جنوبی نیز صورت های فلکی زیادی وجود دارد که در قرن اخیر شناسایی شده اند). در دیدگاه باستانی، این اشکال را به شکل افسانه هایی مانند جبار (شکارچی شب) یا ثور (گاو نر) و... در نظر می گرفتند. اسامی تعدادی از صور فلکی نظیر جبار (شکل ۷) از داستان های افسانه ای و یا خرافات مربوط به عهد باستان می آید. اگر چه ممکن است در بعضی از موارد شباهت هایی بین اسامی مربوطه با شکل آنها وجود داشته باشد ولی گاهی هم هیچ ارتباطی میان آنها نیست.



شکل ۷ صورت فلکی جبار: (الف) شکل گروهی از ستارگان درخشان را که صورت فلکی جبار را تشکیل می دهند، نشان می دهد. (ب) ستارگان به هم متصل شده، الگوی ترسیم شده توسط یونانیان را نشان می دهد. شما به آسانی می توانید این صورت فلکی را به وسیله ی مشخص کردن خطی از ستارگان روشن در کمربند شکارچی پیدا کنید. (پ) ارتباط سه بعدی واقعی بین درخشان ترین ستارگان (حروف یونانی نشان دهنده ی درخشان ترین ستارگان هستند.) مسافت ها توسط فضاییمای هیپارخوس در اوایل سال ۱۹۹۰ تعیین شده اند. (S. Westphal)

غالباً صورت های فلکی را به شکل پیکرواره در نظر می گیریم که اسکلت بندی آنها شامل خطوطی است که ستاره های درخشان را به هم وصل می کنند (شکل ۸). این پیکرواره ها شامل تعداد زیادی ستاره است که برای دیدن آنها به تلسکوپ نیاز داریم. امروزه ستاره شناسان (بر اساس تصمیم انجمن بین المللی ستاره شناسان) صورت های فلکی را در ۸۸ ناحیه در نظر گرفته اند که مجموع این نواحی آسمان را کاملاً می پوشانند. به عبارتی دیگر، کره ی آسمان به ۸۸ قاره تقسیم می شود. یک ویژگی مهم ستارگان این است که تقریباً موقعیت های ثابتی را نسبت به یکدیگر دارند، بنابراین صور فلکی (از درون) با زمان تغییر نمی کنند.



شکل ۸ صور فلکی نزدیک به جبار: شکل تعدادی از صور فلکی نزدیک به صورت فلکی جبار را نشان می دهد (همه ی صور فلکی با حروف بزرگ نشان داده شده اند) ستارگان مهم با حروف کوچک نشان داده شده اند. ۸۸ صورت فلکی کل آسمان را می پوشاند به طوری که هر شیء نجومی درون یکی از صور فلکی قرار دارد.

یکی از روش های پیدا کردن مسیر در آسمان استفاده از صور فلکی در شب های مختلف است. برای مثال، دو ستاره ی روشن در پایین ملاقه مربوط به دب اکبر را به وسیله ی خط راست به سمت دم صورت فلکی دب اصغر در نظر بگیرید (شکل ۹)، محل تقاطع این خط با دم دب اصغر ستاره ی جدی را قطع می کند. این ستاره را ستاره قطبی شمال نیز گویند. به دلیل آنکه این ستاره تقریباً بالای قطب شمال زمین قرار گرفته است، بنابراین شما به راحتی مسیر شمال را یافته اید.



شکل ۹ دب اکبر به عنوان راهنما: ستاره ی قطبی از هر جای نیم کره ی شمالی و در هر شب سال دیده می شود. این نقشه نشان می دهد که چگونه می توان از دب اکبر برای نشان دادن ستاره ی قطبی استفاده کرد. نقشه ی بالا، آسمان را در ساعت ۱۱ بعد از ظهر در اول آگوست (۱۰ مرداد) بر مبنای ساعت تابستانی نشان می دهد. به علت حرکت مداری زمین به دور خورشید همین منظره را می توان در جولای (۱۰ تیر) ساعت ۱ صبح و در اول سپتامبر (۱۰ شهریور) ساعت ۹ بعد از ظهر دید. فاصله ی زاویه ای ستاره قطبی و سماک اعزل ۱۰۲ درجه است.

تغییرات آسمان: در طول یک شب و از شبی تا شب دیگر

اگر بلافاصله بعد از تاریک شدن هوا به آسمان نگاه کنید و صور فلکی قابل رؤیت در آن شب را مورد توجه قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که این اشکال بعد از گذشت چند ساعت تغییر موقعیت محسوسی خواهند داشت. اگر دوباره در هنگام صبحدم آسمان را رصد کنید، در می یابید که بعضی از ستارگانی که در ابتدای شب از شرق طلوع کرده بودند، اکنون در غرب افق دید شما در حال غروب هستند. به علاوه تعدادی صور فلکی جدید طلوع می کنند. این حرکات ستارگان را حرکت روزانه می نامند.

اگر رصد خود را در شب بعد تکرار کنید، متوجه خواهید شد که حرکت آسمان در بالای سر شما در این شب بسیار شبیه (ولی نه کاملاً یکسان) با شب قبل است. صورت های فلکی مشاهده شده با یک تفاوت جزئی زمانی یعنی در حدود ۴ دقیقه زودتر، دوباره از شرق به آسمان می آیند و در غرب غروب می کنند.

اگر مشاهده خود را یک ماه بعد تکرار کنید، صورت های فلکی مشاهده شده در یک زمان خاص (مثلاً نصف شب) به طور قابل توجهی با ماه قبل فرق می کند و اگر باز شش ماه بعد رصد خود را تکرار کنید، خواهید دید که تقریباً کل صور فلکی مشاهده شده با قبل تفاوت چشم گیری دارد. بعد از گذشت یک سال آسمان شکل خودش را تکرار خواهد کرد.

حرکات روزانه ی ستارگان و ارتباط آن با چرخش زمین:

زمین در هر ۲۴ ساعت یک دور به دور خودش و در امتداد محور شمالی جنوبی چرخش می کند. این حرکت پادساعتگرد، چرخش وضعی نامیده می شود. زمین در ضمن این چرخش، یک گردش سالیانه نیز به دور خورشید از غرب به شرق آسمان دارد که حرکت مداری نامیده می شود. برای درک صحیح از حرکات روزانه ی ستارگان باید به این نکته توجه داشته باشید که در هر لحظه از ۲۴ ساعت، یک طرف زمین که رو به روی خورشید قرار دارد روز، و طرف مقابل شب است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ روز و شب در زمین: در هر لحظه، خورشید نیمی از زمین را روشن می کند. با چرخش زمین از غرب به شرق آسمان، مکان ما از نیمه کره ی تاریک (شب) به نیمه کره ی روشن (روز) و بالعکس حرکت می کند. عکس توسط فضاپیمای گالیله ی در سال ۱۹۹۲ گرفته شده است. (JPL/NASA)

با توجه به حرکت وضعی این طور به نظر می رسد که ستارگان (و همچنین خورشید و ماه) از دید ناظر زمین از قسمت شرق آسمان بالا می آیند (طلوع) و از سمت غرب پایین می روند (غروب).



شکل ۱۱ چرا آسمان در طول یک شب تغییر می کند: حرکت روزانه ی ستارگان، خورشید و ماه نتیجه ای از چرخش زمین است. (الف) شکل زمین را از بالای قطب شمال نشان می دهد، ساعت محلی برای ناظری که در کالیفرنیا زندگی می کند هشت بعد از ظهر است و صورت فلکی دجاجة بالای سر او دیده می شود. (ب) چهار ساعت بعد، زمین یک ششم دور کامل به سمت شرق چرخیده است و از نظر ناظر زمینی کره ی آسمان به اندازه ی یک ششم دور کامل، به غرب چرخیده است. در این زمان برای شخصی در کالیفرنیا نیمه شب است و صورت فلکی إمراةالمُستسله دقیقاً در بالای سر ناظر دیده می شود.

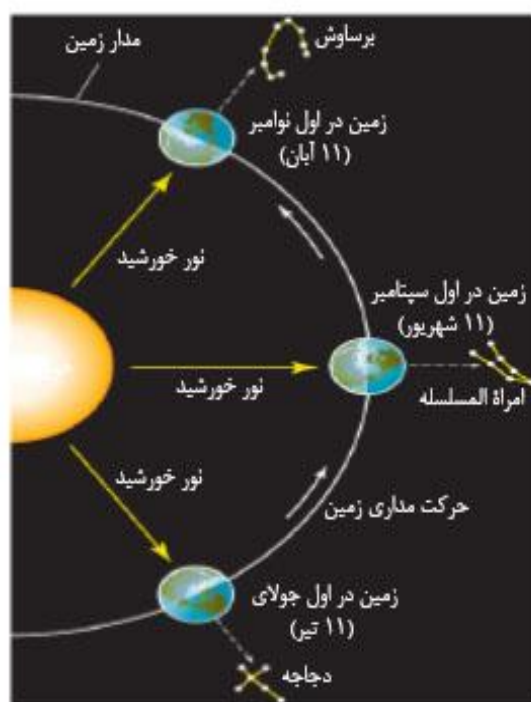
شکل ۱۱ حرکات روزانه ی ستارگان را توضیح می دهد. در شکل (الف) آسیا در موقعیت روز و در همان ساعات، اروپا و شمال آمریکا در موقعیت شب قرار دارند. شکل (ب)، زمین را چهار ساعت بعد نشان می دهد که ساکنان اروپا در قسمت روشن زمین قرار گرفته اند (خورشید برای آنها طلوع کرده) و ساکنان آلاسکا در شمال آمریکا از نواحی روشن زمین به نواحی تاریک رفته اند (خورشید در این نواحی غروب کرده است). برای شخصی که از کالیفرنیا (شکل الف) به آسمان نگاه می کند حدود ساعت هشت شب در بالای سرش صورت فلکی دجاجة را می بیند. همین شخص چهار ساعت بعد در بالای سرش صورت فلکی إمراةالمُستسله را مشاهده می نماید.

به طور کلی می توان گفت که چون زمین (در شب) از غرب به شرق در حال چرخش به دور خود می باشد از دید ناظر زمین چنین به نظر می رسد که کل آسمان در بالای سر ناظر در خلاف جهت (شرق به غرب) در حال چرخش است. در واقع علت حرکات روزانه ی ستارگان (همچنین ماه و خورشید) در آسمان چرخش زمین به دور خود است.

تغییرات آسمان شب در طی یک سال و ارتباط آن با حرکت مداری زمین:

در قسمت های قبل دیدیم که علاوه بر حرکات روزانه ی ستارگان، اشکال صور فلکی مشاهده شده در آسمان به آرامی و در طول یک سال نیز تغییر می کند. این پدیده به خاطر گردش زمین در مدار خود به دور خورشید رخ می دهد. در طول یک

سال (۳۶۵ $\frac{1}{4}$ روز) زمین یک دور کامل مدارش را طی می کند و در نتیجه این حرکت قسمت تاریک زمین به تدریج قسمت های مختلف آسمان را طی می کند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ چرا آسمان شب در طی یک سال تغییر می کند: همان طور که زمین به دور خورشید می گردد، شبانگاه زمین به سمت بخش های مختلفی از آسمان حرکت می کند. به این دلیل ستارگان خاصی که شما در آسمان شب می بینید، در زمان های مختلف سال متفاوت اند. شکل نشان می دهد که برای ناظری که در وسط نیم کره ی شمالی زندگی می کند در ماه های مختلف کدام صورت فلکی نیم شب محلی بالای سر او قرار دارد. بهترین زمانی که شما می توانید صورت فلکی امراة المسلسله را ببینید اواخر سپتامبر (شهریور) است.

همان طوری که در شکل مشاهده می کنید ناظری که از قسمت شمال کره ی زمین و در نیمه شب، به آسمان نگاه می کند در اواسط ماه تیر، صورت فلکی دجاجة را درست در بالای سر خود مشاهده می کند. همین ناظر در همان ساعات اما در اواسط شهریور صورت فلکی امراة المسلسله و در اواسط آبان صورت فلکی حوت را می بیند. به این ترتیب اگر ناظر حرکت ستاره ی خاصی (مثلاً شعرای یمانی) را در هر شب دنبال نماید، مشاهده می کند که هر ستاره در هر شب حدوداً چهار دقیقه زودتر از شب قبل طلوع می کند یا به طور معادل در هر ماه دو ساعت زودتر طلوع خواهد کرد.

کره ی سماوی:

امروزه واضح است که، ستارگان در فواصل متفاوتی نسبت به ما قرار دارند. با این حال این تفاوت فواصل با چشم غیر مسلح قابل مشاهده نیست. بنابراین منجمان قدیم بر این عقیده بودند که تمام ستارگان به یک فاصله از زمین قرار دارند. آنها تصور

می کردند که ستارگان بر رویه ی داخلی یک کره ی بزرگ به مرکزیت زمین واقع شده اند که آن را کره ی سماوی می نامیدند. در این تصویر کره خاکی ما، ثابت و بدون حرکت تصور می شد و در عوض کره ی سماوی در مدت ۲۴ ساعت یک دور کامل به دور زمین گردش می کرد که جهت این چرخش در خلاف جهت چرخش زمین از شرق به غرب (ساعتگرد) می باشد (شکل ۱۳).

امروزه می دانیم که این مدل زمین مرکزی که صرفاً با مشاهدات چشم غیر مسلح سازگار است یک مدل نادرست است. در واقع، حرکات ستارگان نتیجه ی چرخش زمین به دور خود و گردش به دور خورشید است. به علاوه با پیشرفت روشهای تعیین فواصل ستارگان و همچنین استفاده از تلسکوپ های قوی مشاهده می شود که بعضی از ستارگان که زمانی تصور می شد در یک فاصله ثابت نسبت به ما هستند، هزاران سال نوری از یکدیگر فاصله دارند.



شکل ۱۳: کره ی سماوی که در جهت پادساعتگرد می چرخد، تمام ستارگان آسمان را در بر می گیرد. ستاره ی قطبی در بالای آن و سیاره ی زمین، ساکن و در مرکز قرار گرفته است (تصویر غیر واقعی). مرکز کره ی سماوی و مرکز زمین بر هم منطبق می باشند. تصویر قطب شمال و جنوب کره ی زمین بروی کره ی سماوی، قطب شمال و جنوب سماوی نامیده می شود. استوای سماوی، تصویر استوای زمین روی کره ی سماوی است. (اگر بخواهیم تناسب را رعایت کنیم اندازه ی کره ی سماوی باید چند میلیون برابر زمین رسم شود).

مطابق شکل ۱۳ خصوصیات کره ی سماوی را به صورت زیر خلاصه می کنیم:

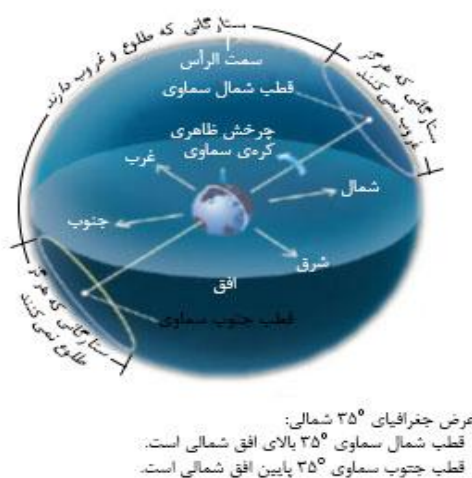
- تصویر قطب شمال و جنوب زمین روی کره ی سماوی را قطب شمال و جنوب سماوی می نامند.
- تصویر استوای زمین روی سطح داخلی کره ی سماوی را استوای سماوی می نامند.
- به محوری که از قطب شمال و جنوب سماوی می گذرد و بر استوای سماوی عمود است محور عالم می گویند.

در حال حاضر، ستاره قطبی (جدی) در صورت فلکی دب اصغر در نزدیکی قطب شمال سماوی قرار دارد و تنها یک درجه با آن فاصله دارد. جدی را ستاره شمال نیز می نامند.

یک ویژگی ستارگان آن است که تقریباً موقعیت های ثابتی نسبت به یکدیگر دارند (به همین خاطر منجمان قدیم به آنها ثوابت می گفتند) اما ستارگان از دید ناظر ساکن در زمین دارای حرکت هستند و موقعیت آنها روی کره ی سماوی تغییر می کند. در زیر با توجه به مفهوم کره سماوی طلوع و غروب ستارگان را توضیح می دهیم.

برای تمام ناظرهایی که در نیمه ی شمالی کره ی زمین قرار دارند (از جمله ناظری که در شکل 14 قرار دارد) قطب شمال سماوی همواره بالای افق قرار دارد. با چرخش زمین از غرب به شرق، از دید این ناظرها، کره ی سماوی از شرق به غرب حرکت خواهد کرد. ستارگانی که به اندازه ی کافی به قطب شمال سماوی نزدیک هستند حول این نقطه چرخش می کنند و هرگز طلوع و غروب ندارند. این گروه از ستارگان را دور قطبی می نامند. برای مثال ستاره جدی برای ساکنان نیم کره ی شمالی یک ستاره دور قطبی است که در تمام ساعت های شب و در تمام شب های سال در آسمان دیده می شود. از طرف دیگر ستارگانی که نزدیک به قطب جنوب سماوی قرار دارند همیشه زیر افق دید ناظری که در قطب شمال است قرار دارد و هیچ گاه دیده نمی شود. به غیر از این دو گروه، بقیه ستارگان از شرق طلوع و در غرب غروب می کنند.

توجه شود که تعداد ستارگانی که دور قطبی هستند و همچنین تعداد ستارگانی که از دید یک ناظر دیده نمی شوند، بستگی به عرض جغرافیایی ناظر دارد. مثلاً ناظرانی که در عرض 35° شمالی قرار دارند برای آنها ستارگانی که نزدیک قطب شمال آسمان قرار دارند دور قطبی هستند و ستارگانی که نزدیک قطب جنوب هستند هرگز دیده نمی شوند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ نمایی از عرض جغرافیایی 35° درجه ی شمالی: برای ناظری در عرض جغرافیایی 35° درجه ی شمالی (تقریباً تهران، لس آنجلس، آنتالتا، توکیو) قطب شمال سماوی همیشه 35° درجه بالای افق است. ستاره های 35° درجه ی قطب شمال سماوی، ستاره های دور قطبی هستند که در طول شب دایره هایی دور قطب شمال سماوی ترسیم می کنند و در همه ی شب های سال بالای افق هستند ستاره های عرض 35° در جه قطب جنوب سماوی همیشه در زیر افق هستند و از این عرض دیده نمی شوند. ستاره های بین این دو، در شرق طلوع و در غرب غروب می کنند.

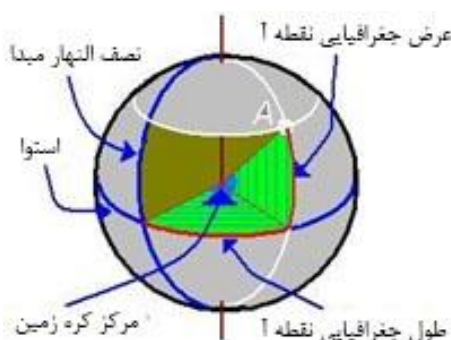
برای ناظرهایی که در نقطه ی مشخصی از کره ی زمین ایستاده اند ستارگان با زاویه ی مشخص و یکسانی (با توجه به موقعیت ناظر) از شرق به غرب کره ی سماوی حرکت می کنند. برای تصور این حرکت به این نکته توجه داشته باشید که

ستارگان روی کره ی سماوی در مسیر های دایره ای موازی با استوای سماوی در طول شب حرکت می کنند. مثلاً اگر در قطب شمال زمین قرار داشته باشید جایی که ستاره ی جُدی بالای سر شما باشد، در این شرایط ستارگانی را می بینید که موازی افق شما حرکت خواهند کرد (شکل ۱۵ الف). به عبارت دیگر زاویه ی حرکت آنها نسبت به افق شما صفر درجه است. در موقعیت بعد اگر روی استوا ایستاده باشید ستارگانی را می بینید که عمود به افق شما بالا می آیند و سپس موازی با خط دید به پایین می روند. در این حالت زاویه بین حرکت و افق 90° است (شکل ۱۵ ب). برای هر نقطه ی دیگر از زمین بین استوا و قطب، ستارگان با زاویه ای بین صفر تا 90° طلوع می کنند. این زاویه بستگی به عرض جغرافیایی ناظر خواهد داشت (شکل ۱۵ پ).



شکل ۱۵ حرکت ظاهری ستارگان در عرض های جغرافیایی مختلف: با چرخش زمین ستارگان در مسیرهای موازی با استوای سماوی به دور ما می گردند. (الف) در قطب شمال (عرض جغرافیایی 90°) ستارگان موازی افق حرکت می کنند. (ب) در استوا (عرض جغرافیایی صفر درجه) ستاره ها در مسیرهای عمودی طلوع و غروب می کنند. (پ) همان طور که این عکس برداری بلند مدت نشان می دهد در اغلب نقاط روی زمین، طلوع و غروب ستارگان با زاویه ای نسبت به افق انجام می شود که به عرض جغرافیایی وابسته است.

دستگاه مختصات سماوی:



شکل ۱۶ طول و عرض جغرافیایی: عرض جغرافیایی نقطه ی آ، فاصله ی شمالی یا جنوبی آن را از استوا نشان می دهد. طول جغرافیایی نقطه ی آ، زاویه ای است که آن نقطه با نصف النهار مبدأ می سازد.

قبل از این که دستگاه مختصات سماوی را توضیح دهیم به معرفی طول و عرض جغرافیایی می پردازیم. سیستم طول و عرض جغرافیایی اولین بار توسط هیپارخوس ستاره شناس یونانی در دو قرن قبل از میلاد پیشنهاد داده شد.

خط استوا دایره عظیمه ای است که کره زمین را به دو نیم کره ی شمالی و جنوبی تقسیم کرده و بر محور دوران آن عمود است. هر دایره ی موازی با خط استوا مدار نامیده می شود. زاویه ی میان یک مدار انتخابی و خط استوا که راس آن در مرکز زمین است عرض جغرافیایی نقاط روی آن مدار را توصیف می کند. تمام نقاط روی یک مدار انتخابی دارای عرض یکسانی هستند (شکل ۱۶).

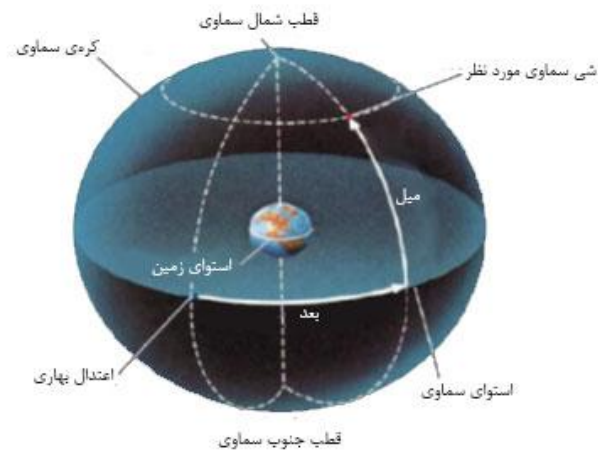
هر نیم دایره ای که قطب شمال زمین را به قطب جنوب آن متصل کند نصف النهار نامیده می شود. نصف النهاری که از میان رصدخانه ایمپریال در گرینویچ انگلستان می گذرد، به عنوان نصف النهار مبدأ شناخته می شود. زاویه ی میان یک نصف النهار انتخابی و نصف النهار مبدأ طول جغرافیایی نقاط روی آن را تعیین می کند (شکل ۱۶).

به عنوان مثال تمام نقاط روی خط استوا در عرض جغرافیایی 0° قرار دارند و برای قطب شمال و جنوب زمین عرض جغرافیایی به ترتیب $+90^\circ$ و -90° می باشد. طول جغرافیایی برای قطب شمال و جنوب زمین صفر درجه است.

برای مشخص کردن مکان اجرام سماوی از دستگاه مختصات سماوی استفاده می شود که در آن صفحه ی استوای سماوی صفحه ی اصلی و امتداد قطب شمال و جنوب سماوی (محور عالم) امتداد اصلی است. به نصف النهاری را که از نقطه اعتدال بهاری می گذرد نصف النهار سماوی گویند. در این دستگاه مکان هر شی در کره ی سماوی با دو زاویه میل و بعد معین می گردد (شکل ۱۷).

میل مشابه ی عرض جغرافیایی زمین تعریف می شود با این تفاوت که در این جا صفحه ی اصلی، صفحه ی استوای سماوی می باشد و بر حسب درجه و اجزای آن بیان می شود. مطابق شکل ۱۸ از استوا تا قطب شمال سماوی به $+90^\circ$ درجه تقسیم می شود و تا قطب جنوبی سماوی به -90° درجه تقسیم می شود.

مشابه با طول جغرافیایی زمین، زاویه ی پاد ساعتگرد بین یک نقطه از آسمان و نقطه ی اعتدال بهاری را بعد می نامند و بر حسب ساعت (h) و اجزای آن (دقیقه و ثانیه) بیان می شود مطابق شکل ۱۸ استوای سماوی به ۲۴ ساعت تقسیم می شود یعنی هر ۱۵ درجه معادل یک ساعت است و نقطه اعتدال بهاری به عنوان مبدأ (h) انتخاب می شود.



شکل ۱۷ بعد و میل ستارگان: میل هر شیء عبارت است از زاویه ی شمالی (+) یا جنوبی (-) آن با استوای سماوی. بعد هر شیء عبارت است از زاویه ی آن نسبت به نقطه ی اعتدال بهاری.



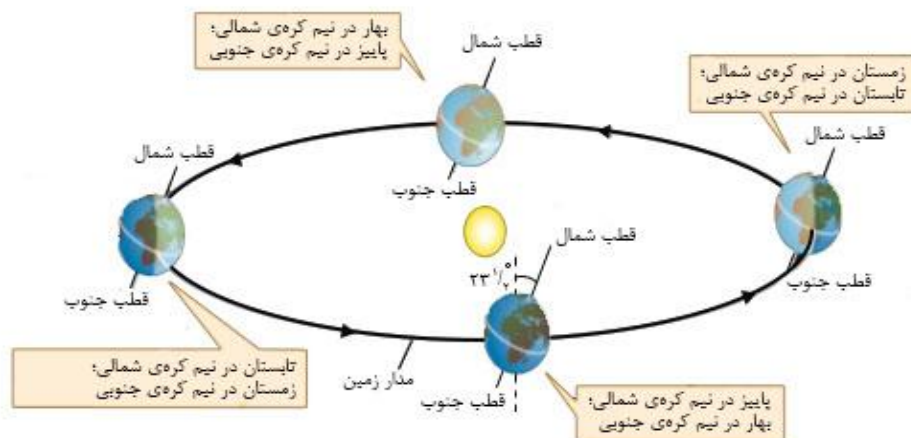
شکل ۱۸ اجزای میل و بعد: در شکل تقسیم بندی میل و بعد نشان داده شده است. میل بر حسب درجه و اجزای آن، در حالی که بعد بر حسب ساعت و اجزای آن بیان می شود.

فصول:

همان طور که اشاره گردید، زمین علاوه بر چرخش به دور خود که هر ۲۴ ساعت یک بار رخ می دهد، در مدار حرکت خود به دور خورشید نیز هر $365 \frac{1}{4}$ روز یک بار گردش می کند. یکی از نتایج این گردش پیدایش فصول برای نقاط مختلف کره ی زمین است.

چرا این فصول به وجود می آید؟ به علاوه چرا نیم کره های شمالی و جنوبی زمین در یک زمان مشخص، فصول متفاوتی را تجربه می کنند؟

منشأ پیدایش فصول:



شکل ۱۹ فصول: انحراف محور چرخش زمین به اندازه $23/5$ درجه نسبت به محوری که بر صفحه ی حرکت مداری زمین عمود است. قطب شمال زمین رو به قطب شمال سماوی است و زمین همان طور که به دور خورشید می گردد این وضعیت را حفظ می کند. بنابراین روشنایی خورشید و طول روز در هر نقطه از زمین در الگویی منظم در طول سال تغییر می کند و این منشاء ایجاد فصل هاست.

اشتباهی که عامه ی مردم می کنند این است که علت پیدایش فصل ها را تفاوت فاصله خورشید تا زمین می دانند. مثلاً گمان می کنند در تابستان خورشید به زمین نزدیک تر و در زمستان دورتر می شود و حال آن که مدار حرکت زمین به دور خورشید به دایره نزدیک است و در طول یک سال فقط حدود سه در صد تغییر می کند. در واقع دلیل پیدایش فصول این است که محور چرخش زمین به دور خود (محور شمال- جنوب) بر مدار گردش زمین به دور خورشید عمود نیست، بلکه این محور به اندازه $23\frac{1}{2}^{\circ}$ از حالت عمودی منحرف گردیده است و زمین در کل زمان گردش خود به دور خورشید این زاویه را حفظ می کند (شکل ۱۹). این انحراف علاوه بر این که موجب پیدایش فصول در نواحی مختلف زمین می شود، موجب اختلاف بین فصل ها در نیم کره ها ی شمالی و جنوبی نیز می گردد.

در مدت زمانی که زمین در سمت چپ مدار گردش خود به دور خورشید قرار دارد (شکل ۱۹)، نیم کره ی شمالی به سمت خورشید متمایل می گردد. در این موقعیت با چرخش زمین به دور خود، نقاطی که در نیم کره ی شمالی قرار گرفته اند بیش از نیم روز (۱۲ ساعت) در معرض نور خورشید قرار می گیرند. بنابراین برای این نواحی مدت روز بیش از شب خواهد بود. به عبارت دیگر ساکنان این مناطق فصل تابستان را می گذرانند.

توجه کنید که گرمای فصل تابستان تنها بدین خاطر نیست که طول روز بیشتر از شب است، بلکه علت مهم تر، مربوط به این واقعیت می شود که خورشید در تابستان بالاتر (عمودی تر) از زمستان به زمین می تابد (شکل ۲۰ الف). در همین ایام از سال در نیم کره ی جنوبی طول روز کوتاه تر از شب می باشد. خورشید در آسمان پایین تر بوده و در نتیجه نور آن مایل به زمین می تابد. در این ایام ساکنان نیم کره ی جنوبی زمستان را می گذرانند (شکل ۲۰ ب).



الف) وضعیت خورشید در تابستان



ب) وضعیت خورشید در زمستان

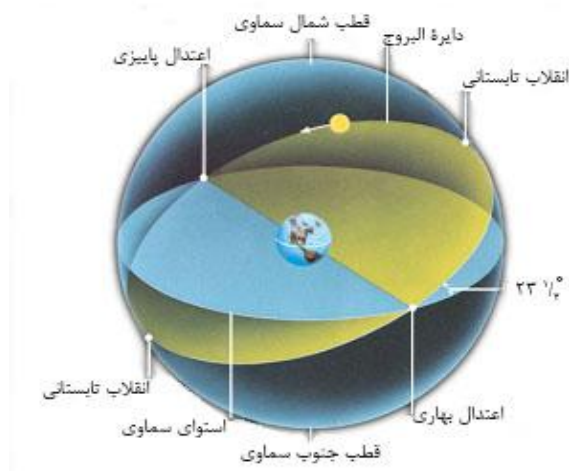
شکل ۲۰ انرژی خورشیدی در تابستان و زمستان: در زمان های مختلف سال، نور خورشید زاویه های متفاوتی با سطح زمین می سازد. (الف) در تابستان نور خورشید بر سطح زمین متمرکز شده (زاویه ی بزرگتری نسبت به سطح زمین) و طول روزها بلند تر و گرمای زمین افزایش می یابد. (ب) در زمستان تمرکز نور خورشید بر سطح زمین کم تر (زاویه ی کوچک تری نسبت به سطح زمین)، روز ها کوتاه تر و گرمای زمین کم تر است. این دلیلی بر پایین بودن دما در زمستان است.

بعد از گذشت شش ماه ، زمین بر روی مدارش به دور خورشید دقیقاً نقطه ی مقابل حالت قبل است (سمت راست شکل ۱۹). در این موقعیت فصول برعکس می شوند (زمستان در نیم کره ی شمالی و تابستان در نیم کره ی جنوبی).

همان طوری که از شکل مشاهده می شود در ایام بهار و پاییز دو نیم کره ی شمالی و جنوبی تقریباً به طور مساوی نور از خورشید دریافت می کنند و در نتیجه در ابتدای این فصول، طول روز و شب برای تمام ساکنان کره ی زمین تقریباً برابر است.

حرکت خورشید روی کره ی سماوی:

اگرچه همه ستارگان آسمان نسبت به یکدیگر ساکن هستند، اما خورشید بر روی کره ی سماوی دارای حرکت است (البته از دید ناظر زمینی). حرکت (ظاهری) خورشید طی یک سال اثری به صورت یک مدار بسیار نزدیک به دایره بر روی کره ی سماوی به جای می گذارد که دایرة البروج نامیده می شود. دایرة البروج تحت زاویه ی 23.5° نسبت به خط استوای سماوی مایل شده است. به علت این که خورشید (ظاهراً) در مدت $365 \frac{1}{4}$ روز یک دور کامل (یعنی 360°) به دور زمین می گردد بنابراین در هر روز تقریباً 1° (به طور دقیق 0.98°) بر روی دایرة البروج حرکت می کند. جهت این حرکت از غرب به شرق کره ی سماوی و در خلاف جهت حرکت ظاهری ستارگان است. (شکل ۲۱)



شکل ۲۱ دایره البروج ، **اعتدالین و انقلابین**: مسیر ظاهری سالانه ی خورشید روی کره ی سماوی دایره البروج نامیده می شود که نسبت به استوای سماوی ۲۳٫۵ درجه انحراف دارد. دایره البروج استوای سماوی را در دو نقطه که اعتدالین نامیده می شود قطع می کند. شمالی ترین نقطه در دایره البروج انقلاب تابستانی و جنوبی ترین نقطه انقلاب زمستانی نامیده می شود. در شکل، موقعیت ظاهری خورشید در ۱ آگوست (۱۰ مرداد) نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که ماه و سیارات هم نزدیک به دایره البروج حرکت می کنند. با بررسی حرکت های سیارات منظومه ی شمسی و اقمار آنها، مشخص می شود که مسیر حرکت سالیانه ی این اجرام در کمربندی به پهنای حداکثر $9^{\circ} \pm$ حول دایره البروج می باشد که این کمربند را منطقه البروج می نامند. پیشینیان، صور فلکی را در این منطقه به دسته هایی به نام بروج تقسیم می کردند. قرار گرفتن خورشید در طول سال در هر یک از این برج ها معیاری برای تقویم نویسی (برج های سال) است. دوازده صورت فلکی معروف در منطقه البروج عبارتند از حمل، ثور، جوزا، خرچنگ، اسد، سنبله، میزان، عقرب، قوس، جدی، دلو و حوت (شکل ۲۲).



شکل ۲۲ منطقه البروج: این نما تصویری از تغییرات آسمان شب را در زمانی که زمین به دور خورشید می‌گردد، نمایش می‌دهد. آن چه که در این جا رسم شده، سمت تاریک زمین است که در زمان های مختلف سال با صور فلکی مختلف رو به رو می‌شود. ۱۲ صورت فلکی (همان ۱۲ برج) در این جا نامگذاری شده اند که منطقه البروج را تشکیل می‌دهند.

اعتدالین و انقلابین:

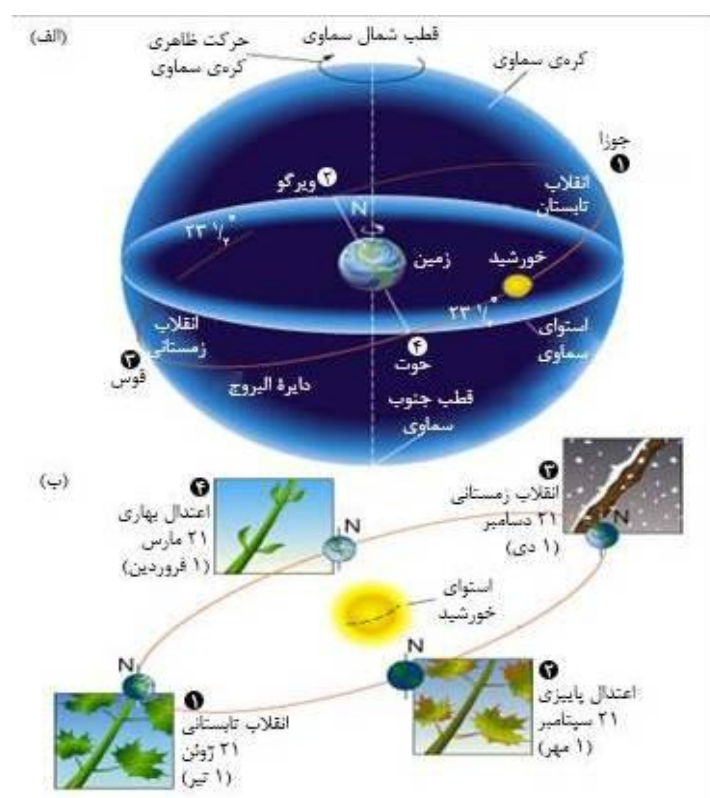
خورشید در طی مسیر سالانه ی خود روی دایره البروج، استوای سماوی را در دو نقطه موسوم به اعتدالین (اعتدال بهاری و پاییزی) قطع می‌کند. هنگامی که زمین در این نقاط (که دقیقاً نقاط مقابل یکدیگر بر روی کره ی سماوی هستند) قرار می‌گیرد، مدت زمان روز و شب برای تمام ساکنان آن حدوداً ۱۲ ساعت خواهد بود (شکل ۲۳).

موقعیت خورشید بر روی کره ی سماوی در لحظه ی شروع بهار را نقطه ی اعتدال بهاری می‌گویند. دراول فروردین هر سال (۲۱ مارس) خورشید حرکت خود را به سمت شمال کره ی سماوی از این نقطه (واقع در برج حوت) شروع می‌کند و این آغاز فصل بهار برای ساکنان نیم کره ی شمالی زمین خواهد بود.

در اول مهر (۲۲ سپتامبر) خورشید از نقطه ی اعتدال پاییزی ادامه مسیر خود را به سمت جنوب کره ی سماوی ادامه می‌دهد که این حرکت، آغاز فصل پاییز را برای ساکنان نیم کره ی شمالی به همراه خواهد داشت. چون برای ساکنان نیم کره ی جنوبی فصول سال متفاوت است، بنابراین این نقاط به ترتیب، آغاز فصل پاییز و بهار برای آنها خواهد بود.

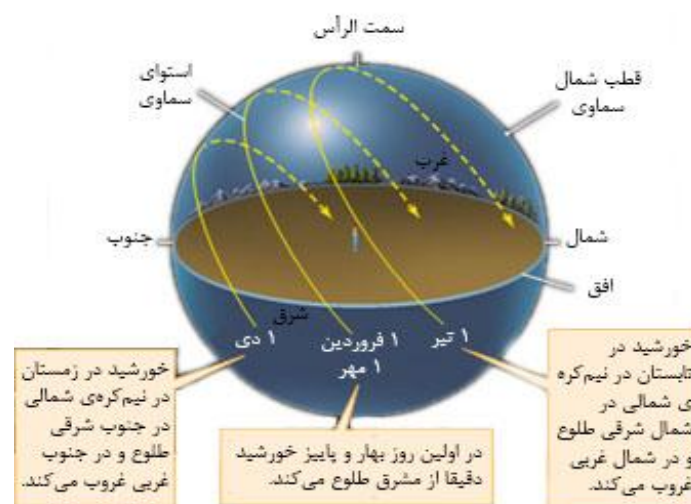
مطابق شکل ۲۳ در آغاز بهار خورشید به نیم کره ی شمالی وارد می‌شود و هنگامی که در شمالی ترین حالت خود نسبت به محور استوای سماوی قرار گیرد، در نقطه انقلاب تابستانی واقع شده است و این زمانی است که خورشید در برج جوزا قرار دارد. در این نقطه خورشید حرکت خود به سمت شمال کره را متوقف می‌کند و این آغاز فصل تابستان برای ساکنان نیم کره

ی شمالی خواهد بود. مطابق شکل در نقطه ی اعتدال بهاری زاویه ی میل خورشید صفر است و در طول بهار این مقدار زیاد می شود تا در اول تیر (۲۱ ژوئن) به بیشترین مقدار خود یعنی 23.5° برسد. پس از آن دوباره زاویه میل کاهش می یابد تا اینکه در ابتدای پاییز یعنی نقطه اعتدال پاییزی (واقع در برج سنبله)، خورشید وارد نیم کره ی جنوبی سماوی می شود و پس از آن در طول پاییز و زمستان میل آن منفی خواهد بود. در ابتدای زمستان میل خورشید به کم ترین مقدار خود می رسد. به این نقطه در کره ی سماوی که در برج قوس واقع است نقطه ی انقلاب زمستانی می گویند. این مکان دقیقاً مقابل نقطه ی انقلاب تابستانی در کره ی سماوی واقع شده است که در آن خورشید در جنوبی ترین مکان خود نسبت به استوای سماوی قرار دارد (۲۹ آذر برابر با ۲۱ دسامبر). پس از آن خورشید دوباره در کره ی سماوی به سمت نقطه ی اعتدال بهاری پیش می رود.



شکل ۲۳ (الف) مسیر ظاهری خورشید روی کره ی سماوی را نشان می دهد. فصول، نتیجه ای از تغییر ارتفاع خورشید در کره سماوی است. در انقلاب تابستانی (شماره ۱) خورشید در بالاترین نقطه ی آسمان است و بلندترین روزها را داریم. (در نیم کره ی شمالی). نقطه ی تقاطع دایرة البروج با استوای زمین و اعتدال پاییزی (شماره ۲) و بهاری (شماره ۴) نامیده می شود. در این نقاط طول روز و شب مساوی است. شکل (ب) ارتباط واقعی با چرخش زمین را نشان می دهد. انقلاب تابستانی (شماره ۱) مطابق با نقطه ای روی مدار زمین است که نقاط قطب شمال سیاره رو به خورشید است عکس این مطلب در مورد انقلاب زمستانی (شماره ۳) برقرار است.

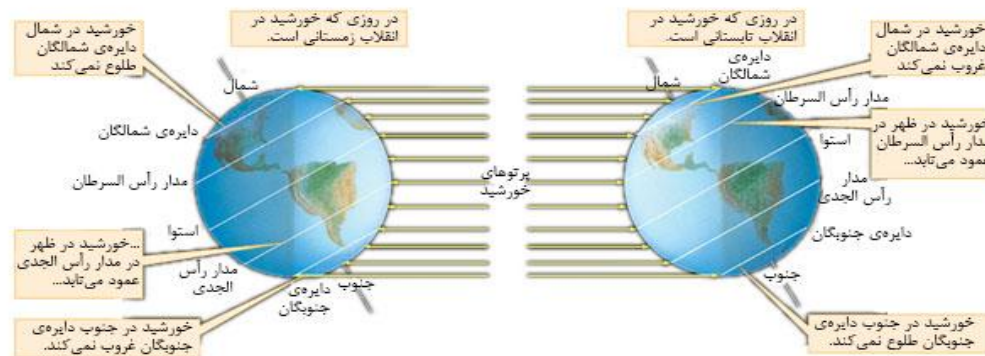
به علت حرکت آهسته ی خورشید در طول سال بر روی کره ی سماوی، مسیر روزانه ی حرکت خورشید در آسمان (ناشی از چرخش زمین به دور خود) در فصول مختلف دارای تغییراتی می باشد. مسلماً طلوع و غروب خورشید از شرق به غرب خواهد بود، اما نسبت به افق هر شخص، خورشید مسیرهای مختلفی را بر روی کره ی سماوی طی می کند. شکل ۲۴ مسیر ظاهری حرکت خورشید را برای شخصی که در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ی شمالی قرار گرفته و برای چهار زمان متفاوت سال را نشان می دهد.



شکل ۲۴ مسیر روزانه ی خورشید در آسمان: مسیر ظاهری خورشید را در طول روز در چهار زمان متفاوت نشان می دهد. مشابه شکل ۱۴ این عکس برای ناظری در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ی شمالی رسم شده است.

همانطوری که دیدیم هنگامی که انحراف $23\frac{1}{2}^{\circ}$ زمین، به سمت خورشید باشد ساکنان نیم کره ی شمالی فصل تابستان را می گذرانند (سمت چپ شکل ۱۹). بر عکس، هنگامی که این انحراف از خورشید دور شود (سمت راست شکل ۱۹)، ساکنان فصل زمستان را پشت سر می گذرانند. در فصل زمستان خورشید برای ساکنان نیم کره ی شمالی، از جنوب شرق، طلوع می کند و در جنوب غرب، غروب می نماید. در این فصل طول شب بیشتر از روز خواهد بود. در فصل زمستان (که انحراف زمین از خورشید دور است) هر چه که به قطب شمال زمین نزدیک می شویم روزها کوتاه تر و شب ها بلند تر خواهند بود (سمت چپ شکل ۲۵). در واقع، در هر جایی داخل زاویه ی $23\frac{1}{2}^{\circ}$ نسبت به شمال زمین (یا به عبارت دیگر عرض های جغرافیایی بزرگ تر از $66\frac{1}{2}^{\circ}$) خورشید حداقل برای یک روز از سال به طور کامل زیر افق قرار دارد. به عبارت دیگر طول شب ۲۴ ساعت خواهد بود. دایره ای در اطراف زمین که عرض جغرافیایی آن $66\frac{1}{2}^{\circ}$ است را دایره شمالگان

گویند. دایره ی متناظر با آن را که پیرامون قطب جنوب می باشد دایره ی جنوبگان می نامند. این دایره در عرض جغرافیایی $66\frac{1}{2}^{\circ}$ - قرار دارد. (شکل ۲۵)



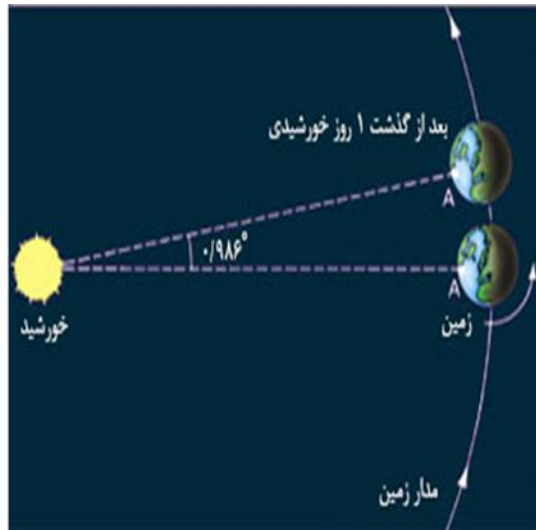
شکل ۲۵ مدارها و دایره ها: چهار عرض جغرافیایی مهم زمین دایره ی شمالگان (66.5° درجه ی شمالی)، مدار رأس السرطان (23.5° درجه ی شمالی)، مدار رأس الجدی (66.5° درجه ی جنوبی) و دایره ی جنوبگان (66.5° درجه ی جنوبی). این شکل وضعیت این چهار عرض جغرافیایی را وقتی خورشید در (الف) انقلاب زمستانی و (ب) انقلاب تابستانی است، نشان می دهد.

شبانه روز خورشیدی و نجومی:

شبانه روز خورشیدی را زمانی تعریف می کنیم که خورشید دو بار از یک مکان در آسمان عبور می کند. این همان دوره زمانی است که در زندگی روزمره با آن آشنایی داریم و ۲۴ ساعت طول می کشد.

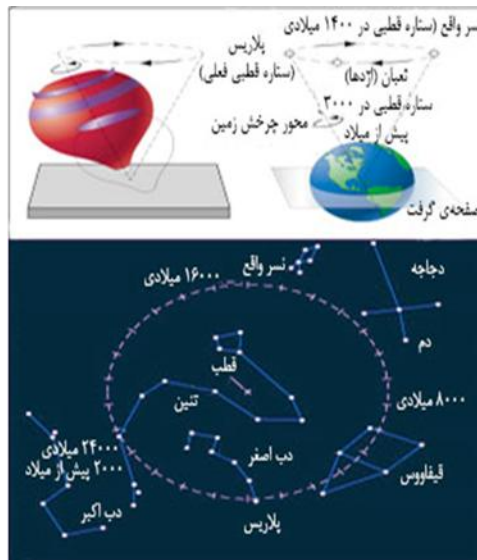
شبانه روز نجومی زمانی است که یک ستاره (دور دست) در آسمان موقعیت خود را تکرار کند و برابر است با ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۱۴ ثانیه (شکل ۲۶). با دانستن این مطلب که زمین به دور خورشید می گردد و هم زمان حول محور خود نیز می چرخد، اختلاف میان شبانه روز خورشیدی و نجومی به آسانی توضیح داده می شود. شبانه روز خورشیدی مدت زمان یک ظهر تا ظهر بعدی است. در این مدت زمین هم کمی در مدار خود به دور خورشید جا به جا می شود. از آن جا که زمین یک دایره (مداری 360° درجه) به دور خورشید را در یک سال (تقریباً ۳۶۵ روز) طی می کند، لذا در هر روز 0.986° درجه جابه جا می شود. هنگامی که معیار تعیین زمان ستارگان دور باشد (روز نجومی) این زاویه کوچک قابل اغماض است. اما در محاسبه روز خورشیدی حدوداً ۴ دقیق طول می کشد تا زمین با چرخش خود این زاویه را طی کند. به همین دلیل است که یک ستاره ی مشخص (در هر شب) ۴ دقیقه زودتر از شب قبل طلوع و غروب می نماید.

لازم به ذکر است که زمانی که خورشید طلوع می کند و به نصف مسیر می رسد را قبل از ظهر (PM) و پس از آن را بعد از ظهر (AM) می نامند.



شکل ۲۶: شبانه روز خورشیدی و نجومی: توجه کنید که شکل بالا با مقیاس درست ترسم نشده است (به واقع زاویه ی 1° بسیار کوچک تر از آن است که در شکل نمایش داده شده است).

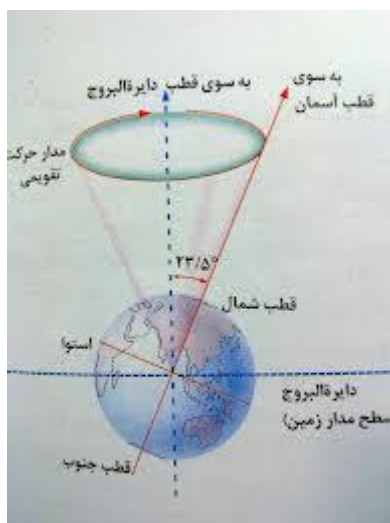
حرکت تقدیمی:



شکل ۲۷: حرکت تقدیمی: (الف) در حال حاضر جهت محور زمین تقریباً به سمت ستاره پلاریس است و حدوداً ۱۲۰۰۰ سال بعد در نیمه ی مسیر یک چرخه ی تقدیمی - به سمت ستاره وگا است که در آن زمان ستاره ی شمال خواهد بود. تقریباً ۵۰۰۰ سال قبل محور زمین دقیقاً به سمت ستاره تیوبان در صورت فلکی اژدها بود. (ب) دایره ی خط چین مسیر حرکت تقدیمی قطب شمال سماوی را در بین تعدادی از ستارگان قابل مشاهده ی شمالی نشان می دهد. هر علامت روی دایره یک بازه ی هزار ساله را نشان می دهد.

این حرکت به وسیله ی ستاره شناس یونانی هیپارخوس کشف شد. زمین یک کره ی کامل نیست و به میزان کمی در قطبین خود پهن شدگی دارد. بنابراین در ناحیه ی وسط خود، در امتداد استوا کمی برآمده است. این برآمدگی به خاطر چرخش

زمین و این واقعیت است که زمین به طور کامل صلب نمی باشد. در نتیجه قطر استوایی زمین در حدود ۴۳ کیلومتر بزرگ تر از قطر قطبی آن است (اختلافی در حدود ۰/۳۴ درصد).

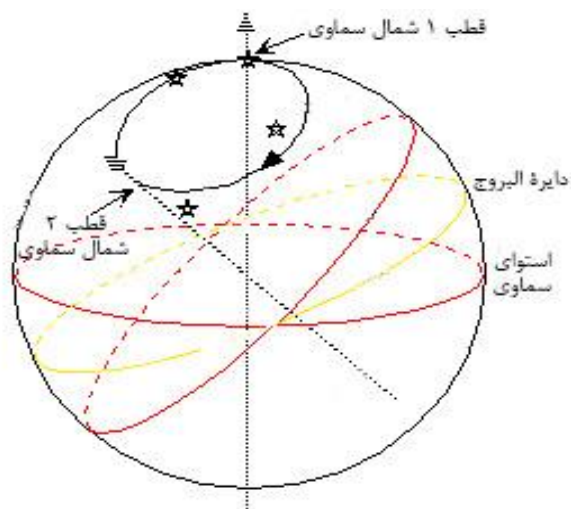


شکل ۲۸ حرکت تقدیمی: به علت انحراف محور چرخشی زمین، کشش گرانشی ماه و خورشید روی برآمدگی استوایی زمین باعث حرکت تقدیمی آن می شود. در حین حرکت تقدیمی زمین محور چرخش آن به آهستگی دایره ای را در آسمان ترسیم می کند مانند حرکت محور فرفره ی که در حال چرخش است.

به علت این که نیروی گرانش با افزایش فاصله ضعیف تر می شود، خورشید و ماه نیروهای گرانشی یکسانی بر زمین ندارند، به علاوه جاذبه ی آنها در ناحیه ی استوا بیشتر است تا در ناحیه ی قطبین، این تفاوت در نیروهای گرانشی اعمال شده بر زمین، به نیروهای جزر و مدی (در فصل ۴ به این موضوع خواهیم پرداخت) موسوم است. خورشید و ماه از طریق گشتاور نیروی گرانشی سعی دارند محور چرخش زمین را صاف کرده آن را در راستای محور مدار زمین قرار دهند. اما این گشتاور ها باعث می شوند که محور چرخش زمین حرکت تقدیمی به خود بگیرد. بنابراین زمین یک حرکت مخروطی شکل آرام را حول محور مداری خود انجام می دهد. اثر مشابه این حرکت تقدیمی را می توان با حرکت فرفره مقایسه کرد. فرفره اگر نچرخد گرانش آن را به پهلوی می اندازد. اما موقعی که فرفره می چرخد، گرانش باعث می شود که محور چرخش فرفره مسیر دایره ای بپیماید و حرکت تقدیمی انجام دهد (شکل ۲۷). حرکت تقدیمی زمین اثر بسیار کوچکی است. برای آن که محور زمین یک دور کامل بزند تقریباً ۲۶۰۰۰ سال لازم است. سرعت این حرکت ۵۰ ثانیه قوس در هر سال است.

در حال حاضر جهت محور زمین با اختلاف یک درجه به سمت ستاره ی جدی است. با گذشت زمان تا سال ۲۱۰۰ میلادی این زاویه کم تر می شود و آن وقت این مقدار به کمینه فاصله خود می رسد (در حدود ۲۷ دقیقه ی قوسی). تقریباً ۵۰۰۰ سال پیش محور زمین دقیقاً به سمت ستاره ی تیوبان در صورت فلکی اژدها بوده، این ستاره به وسیله ی مصریان باستان به عنوان ستاره ی قطبی مورد استفاده قرار می گرفته است. در ۶۰۰۰ سال بعد محور زمین به سمت ستاره ی آلدرامین در صورت فلکی قیفاووس و در ۱۲۰۰۰ سال بعد به سمت ستاره ی وگا در صورت فلکی شلیاق یا چنگ رومی خواهد بود. حرکت تقدیمی با ایستادن در قطب شمال زمین به سادگی قابل رؤیت است. در مکانی که شمال جغرافیایی آسمان درست در جهت

سمت الراس است می توان با گذشت زمان تغییرات مکانی ستاره ی قطبی را مشاهده کرد. (به عدد سال در گوشه ی چپ پایین شکل ۲۷ توجه نمایید.)



رد محور شمال جغرافیایی زمین نیز بر روی کره ی سماوی قابل مشاهده است (شکل ۲۸). دو وضعیت مختلف زمان حال و ۱۳۰۰ سال بعد در شکل نمایش داده شده است. به خاطر وجود حرکت تقدیمی محور زمین، جهت گیری استوای سماوی نیز تغییر می کند زیرا باید همواره بر محور زمین عمود باشد. این در حالی است که دایره البروج بر روی کره ثابت است. در نتیجه ی این امر، نقاط تقاطع ما بین استوای سماوی و دایره البروج (نقاط اعتدالین) در امتداد دایره البروج حرکت می کنند و مقدار سرعت این حرکت ۵۰ ثانیه قوسی در سال است (۳/۳- ثانیه بر سال). حرکت نقطه ی اعتدال بهاری با پیکان بر روی شکل نشان داده شده است. در حال حاضر نقطه ی اعتدال بهاری در صورت فلکی حوت (ماهی) قرار دارد. ۲۰۰۰ سال پیش این نقطه ی اعتدال بهاری در صورت فلکی حمل (بره) بوده در ۱۰۰۰ سال بعد این نقطه به سمت صورت فلکی دلو حرکت خواهد کرد. این حرکات استوای سماوی که وابسته به دایره البروج هستند را با نام حرکت تقدیمی نقاط اعتدالین معرفی می کنیم. آشکار است که این اثر نجومی به قدری آرام صورت می گیرد که مشاهده ی آن فقط با گذشت سالیان دراز ممکن است.

جدول صور فلکی:

صور فلکی	میل	بعد	صور فلکی	میل	بعد		
امراه المسلسله	Andromeda	+۴۰°	۱ ^h	بعد	صور فلکی	میل	بعد
تلمبه	Antila	-۳۵°	۱۰ ^h	عواء	Bootes	+۳۰°	۱۵ ^h
مرغ بهشتی	Apus	-۷۵°	۱۶ ^h	اسکنه	Caelum	-۴۰°	۵ ^h
دلو	Aquarius	-۱۵°	۲۳ ^h	زرافه	Camelopardus	-۷۰°	۶ ^h
عقاب-آکیلا	Aquila	+۵°	۲۰ ^h	سرطان	Cancer	+۲۰°	۹ ^h
مجمره-آتشدان	Ara	-۵۵°	۱۷ ^h	سگ های تازی	Canes Venatici	+۴۰°	۱۳ ^h
حمل -بره	Aries	+۲۰°	۳ ^h	کلب اکبر	Canis Major	-۲۰°	۷ ^h
کلب اصغر	Canis Minor	+۵°	۸ ^h	میکروسکوپ	Microscopium	-۳۵°	۲۱ ^h
جدی	Capricornus	-۲۰°	۲۱ ^h	تکشاخ	Monoceros	-۵°	۷ ^h
حمل-شاه تخته	Carina	-۶۰°	۹ ^h	ذبابه	Musca	-۷۰°	۱۲ ^h
ذات الكرسي	Cassiopeia	+۶۰°	۱ ^h	گونیا	Norma	-۵۰°	۱۶ ^h
قنطورس	Centaurus	-۵۰°	۱۳ ^h	اكتان	Octans	-۸۵°	۲۲ ^h
قیفاووس	Cepheus	+۷۰°	۲۲ ^h	حواء	Ophiuchus	۰°	۱۷ ^h
قیطس	Cetus	-۱۰°	۲ ^h	جبار-اوريون	Orion	+۵°	۵ ^h
حربا	Chamaeleon	-۸۰°	۱۱ ^h	طاووس	Pavo	-۶۵°	۲۰ ^h
پرگار	Circinus	-۶۰°	۱۵ ^h	فرس اعظم	Pegasus	+۲۰°	۲۲ ^h
حمامه	Columba	-۳۵°	۶ ^h	برساوش	Perseus	+۴۵°	۳ ^h
ذوائب برنيس	Coma Berenices	+۲۰°	۱۳ ^h	عنقا	Phoenix	-۵۰°	۱ ^h
اکلیل جنوبی	Corona Borealis	+۳۰°	۱۶ ^h	نقاش	Pictor	-۵۵°	۶ ^h
اکلیل شمالی	Corona Austrina	-۴۰°	۱۹ ^h	حوت	Pisces	+۱۵°	۱ ^h

۲۲ ^h	-۳۰°	Piscis Austrinus	حوت جنوبی	۱۲ ^h	-۲۰°	Corvus	غراب
۸ ^h	-۴۰°	Puppis	کشتیدم	۱۱ ^h	-۱۵°	Crater	باطیه
۹ ^h	-۳۰°	Pyxis	قطب نما	۱۲ ^h	-۶۰°	Crux	صلیب جنوبی
۴ ^h	-۶۰°	Reticulum	تور ماهیگیری	۲۱ ^h	+۴۰°	Cygnus	دجاجه طایر
۱۰ ^h	+۱۰°	Sagitta	سهام	۲۱ ^h	+۱۰°	Delphinus	دولفین
۱۹ ^h	-۲۵°	Sagittarius	قوس، رامی	۵ ^h	-۶۵°	Dorado	ماهی زرین
۱۷ ^h	-۴۰°	Scorpius	کژدم	۱۷ ^h	+۶۵°	Draco	تنین
۰ ^h	-۳۰°	Sculptor	حجار	۲۱ ^h	+۱۰°	Equuleus	قطعه الفرس
۱۹ ^h	-۱۰°	Scutum (Sobieski)	سپر (مویسکی)	۳ ^h	-۲۰°	Eridanus	نهر
۱۷ ^h	۰°	Serpens	جبه	۳ ^h	-۳۰°	Fornax	کوره
۱۰ ^h	۰°	Sextans	سکستان	۷ ^h	+۲۰°	Gemini	جوزا
۴ ^h	+۱۵°	Taurus	ثور	۲۲ ^h	-۴۵°	Grus	درنا
۱۹ ^h	-۵۰°	Telescopium	تلسکوپ	۱۷ ^h	+۳۰°	Hercules	جائی
۲ ^h	+۳۰°	Triangulum	مثلث	۳ ^h	-۶۰°	Horologium	به زانو نشسته
۱۶ ^h	-۶۵°	Triangulum Australe	سه گوش جنوبی	۱۰ ^h	-۲۰°	Hydra	هیدرا-شجاع
۰ ^h	-۶۵°	Tucana	توکان	۲ ^h	-۷۵°	Hydrus	نرمار
۱۱ ^h	+۵۰°	Ursa Major	دب اکبر	۲۱ ^h	-۵۵°	Indus	هندی
۱۵ ^h	+۷۰°	Ursa Minor	دب اصغر	۲۲ ^h	+۴۵°	Lacerta	چلیپاسه
۹ ^h	-۵۰°	Vela	شرع	۱۱ ^h	+۱۵°	Leo	اسد
۱۳ ^h	۰°	Virgo	سنبله-عذرا	۱۰ ^h	+۳۵°	Leo Minor	اسد اصغر
۸ ^h	-۷۰°	Volans	ماهی پرنده	۶ ^h	-۲۰°	Lepus	ارنب
۲۰ ^h	+۲۵°	Vupecula	ثعلب	۱۵ ^h	-۱۵°	Libra	میزان
۵ ^h	-۸۰°	Mensa	میز	۱۵ ^h	-۴۵°	Lupus	سبع
۱۹ ^h	+۴۰°	Lyra	شلیاق	۸ ^h	+۴۵°	Lynx	وشق

فصل دوم:

حرکت ماه و گرفت ها

اهداف فصل:

با مطالعه ی این فصل می توانید :

- فازها (اهله) ی ماه را شناخته و علت به وجود آمدن آنها را توضیح می دهید.

- با ماه هلالی و ماه نجومی و تفاوت آنها آشنا می شوید.
- تک رخ بودن ماه را توضیح دهید.
- نشان دهید که چطور حرکت نسبی زمین، خورشید و ماه منجر به پدیده گرفت می شود.
- با انواع گرفت آشنا می شوید.

جدول ۱: ویژگی های ماه

نیم محور مداری	348000 km
خروج از مرکز مداری	0.0549
فاصله متوسط از زمین	384400 km
کمترین فاصله از زمین (حضیض)	360300 km
بیشترین فاصله از زمین (اوج)	405500 km
سرعت مداری میانگین	1.02 km/s
دوره تناوب مداری نجومی	27.322 روز خورشیدی
دوره تناوب مداری هلالی	29.531 روز خورشیدی
تمایل مدار نسبت به دایره البروج	5.15°
بزرگترین قطر زاویه ای دیده شده از زمین	32.99
جرم	7.349×10^{22} kg
	زمین 0.012
شعاع استوایی	1739 km
	زمین 0.272
چگالی میانگین	3344 kg/m^3
	زمین 0.61
گرانش سطحی	1.62 m/s^2
	زمین 0.17
سرعت فرار	2.4 km/s

روز خورشیدی 27.3	دوره تناوب چرخشی نجومی
6.68°	تمایل استوا نسبت به مدار (انحراف محوری)
100 – 400 K	دمای سطحی
–	میدان مغناطیسی سطحی سراسری
–	جو

حرکت ماه:

ماه یکی از بزرگ ترین قمرهای منظومه ی شمسی و نزدیک ترین همسایه در فضا به زمین می باشد. این قمر آن قدر به ما نزدیک است که برخی عوارض سطحی اش را می توانیم با چشم غیر مسلح ببینیم. از دید ناظر زمینی بعد از خورشید، روشن ترین جسم در آسمان ماه است. اما این قمر روشن تفاوت هایی با زمین دارد. از جمله آنکه، ماه آب و همچنین جو ندارد. میدان مغناطیسی قابل توجهی از اطراف آن گزارش نمی شود. بر خلاف زمین، سطح ماه میلیون ها سال بدون تغییر مانده است.

این قمر درخشان، آسمان را با سرعت حدود ۱۲ درجه در روز طی می کند. به عبارتی ماه فاصله زاویه ای معادل با قطرش (۳۰ دقیقه قوسی) را در حدود یک ساعت می پیماید. برخی از ویژگی های ماه در جدول ۱ آمده است.

فاز ها (اهله) ی ماه :

همان طوری که در فصل های قبل عنوان شد، اگر چه ماه و خورشید مسیری را از غرب به شرق کره ی سماوی طی می کنند، اما زمان لازم برای این دو حرکت بسیار تفاوت دارد. خورشید یک سال طول می کشد که یک مسیر کامل را روی دایرة البروج طی کند، در حالی که ماه در حدود چهار هفته مسیر حرکت خود به دور زمین را می پیماید. در قدیم تصور می کردند که ماه و خورشید هر دو به دور زمین در حال گردش هستند اما امروزه می دانیم که تنها ماه به دور زمین می گردد و همزمان سیستم زمین- ماه به دور خورشید در حال گردش است. اگر از بالای قطب شمال زمین به سیستم زمین- ماه بنگریم، مشخص است که گردش ماه به دور زمین هم جهت با چرخش زمین و گردش آن به دور خورشید است (پاد ساعتگرد).

علاوه بر تفاوت ماه و خورشید به لحاظ حرکت، تابش آنها نیز از نظر ماهیت متفاوت هستند. نوری که از خورشید به ما می‌رسد از این ستاره تولید می‌گردد؛ به عبارت دیگر، خورشید جسم منیر است. در حالی روشنایی ظاهری ماه به دلیل بازتاب نور خورشید می‌باشد.



شکل ۱ زمین و ماه: شکل بالا در سال ۱۹۹۲ میلادی (۱۳۷۱ شمسی) توسط فضا پیمای گالیله در راه مشتری گرفته شده است. خورشید که سطح زمین و ماه را روشن کرده است، در سمت راست شکل و خارج از دید دوربین قرار داشته است. (NASA/JPL)

شکل ۱ تصویری از ماه و زمین را نشان می‌دهد. نور خورشید از سمت راست تابیده و بنابراین تنها نیمه‌ی راست این دو جسم را روشن کرده، پس طرف چپ آنها تاریک و غیر قابل دیدن است. مدار تقسیم کننده نیمه‌ی روشن و تاریک ماه را خط فاصل می‌نامند. نیم کره‌ی روشن ماه همواره رو به زمین قرار نمی‌گیرد بلکه با توجه به موقعیت نسبی خورشید، ماه و زمین، در هر شب کسره‌های متفاوتی از آن دیده می‌شود که به آنها فازها یا اهله‌ی ماه می‌گویند.

شکل ۲ ارتباط بین این فازها و موقعیت ماه در مدارش به دور زمین را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود، این فازها تشکیل یک چرخه می‌دهند. از دید ناظر زمینی مدت زمان لازم برای اینکه ماه این چرخه را کامل کند، ۲۹٫۵ روز خواهد بود که شروع آن از مقارنه (ماه نو) است. در این وضعیت (موقعیت ۱ در شکل) ماه نزدیک ترین فاصله را تا خورشید دارد و سمت تاریک آن رو به زمین بوده و در نتیجه غیرقابل مشاهده است. چون در این موقعیت ماه در امتداد خورشید قرار می‌گیرد، بنابراین هنگام طلوع خورشید، طلوع و هنگام غروب آن، غروب می‌نماید.



شکل ۲ اهله ی ماه: شکل ماه را در هشت موقعیت در مدارش نشان می دهد. در امتداد هر موقعیت تصویر ماه آن گونه که از زمین به نظر می آید دیده می شود. تغییرات اهله ماه به این علت است که با حرکت مداری ماه به دور زمین، ناظر زمینی در هر شب قسمتی از نیمه ی روشن ماه را مشاهده می کند. حدود ۲۹٫۵ روز طول می کشد تا ماه یک چرخه ی کامل از فاز هایش را طی کند. (عکسی از رصد خانه Yerkes و lick)

در شب های دیگر و با ادامه ی حرکت ماه به دور زمین، درصد بزرگتری از آن برای ما قابل رؤیت است. از لحظه مقارنه تا اولین وضعیتی که هلال آن قابل دیدن باشد (که قطعاً بستگی به موقعیت ناظر دارد) را حالت محاق ماه گویند که بحث های مفصل علمی و فقهی مربوط به خود را دارد. سه الی چهار روز بعد از مقارنه، ماه در موقعیت "۲" خواهد بود که آن را هلال افزایشی می نامند. در این وضعیت قسمت بیشتری از نیم کره روشن آن قابل رؤیت خواهد بود.

بر این اساس و بعد از یک هفته، ماه در موقعیتی قرار می گیرد که در آن نیمی از نیم کره ی روشن آن (یک چهارم از کل) قابل رؤیت است. این فاز را تربیع اول گویند (موقعیت ۳). در این نقطه ماه یک چهارم مسیر خود به دور زمین را طی کرده، و طلوع آن در ظهر و غروب آن در نیمه شب رخ می دهد. حدوداً چهار روز بعد، ماه به موقعیت "۴" خواهد رسید. این فاز را محذب افزایشی گویند.

دو هفته بعد از مقارنه، هنگامی که این قمر درخشان در نقطه مقابل خورشید نسبت به زمین قرار می گیرد (موقعیت ۵)، ناظر زمینی نیم کره کامل آن را مشاهده می کند. این فاز را اصطلاحاً ماه کامل (بدر) گویند. به علت آن که موقعیت ماه کامل در کره ی سماوی، نقطه ی مقابل خورشید است بنابراین هنگام غروب خورشید، طلوع و هنگام طلوع آن، غروب می کند. توجه شود که قسمت های روشن ماه، از زمان شروع مقارنه تا محذب افزایشی و حتی تا یک شب قبل از کامل شدن به سمت غرب آسمان است.

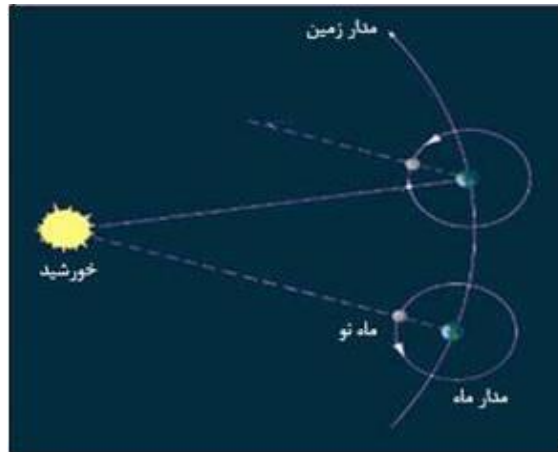
در دو هفته باقی مانده از چهار هفته ای که ماه مسیر خود را در کره ی سماوی کامل می کند، قسمت روشن آن که رو به شرق است، شروع به کاهش خواهد کرد. در این بازه زمانی، ماه به ترتیب در فازهای (۶) که هلال کاهشی، سپس (۷) که تربیع سوم و در پایان (۸) که ماه محدب کاهشی نام دارند، قرار می گیرد. در تربیع سوم، این قمر یک چهارم از مسیر را باید طی کند تا دوباره به نقطه اول خود یعنی حالت مقارنه باز گردد. و به این ترتیب یک چرخه از فاز ها را کامل کند. در تربیع سوم، ماه در نیمه شب طلوع و در ظهر غروب می کند.

چنان چه دیدیم در این چرخه دو تربیع داریم. تربیع اول زمانی که ماه از مقارنه به سمت بدر کامل حرکت می کند و تربیع سوم زمانی رخ می دهد که از بدر به حالت مقارنه بازمی گردد. به طور کلی زمانی که این قمر از مقارنه به سمت کامل شدن می رود، روشن تر شده، می گوئیم ماه در حال افزایش است و آن را ماه افزاینده می نامیم و زمانی که از بدر به فاز مقارنه می رود، روشنایی اش کم تر شده، می گوئیم در حال کاهش است و آن را در اصطلاح کاهنده می نامیم.

خلاصه آن که، قرص ماه همواره در آسمان وجود دارد ولی در هر شب تنها کسری از سطح آن قابل مشاهده است. واقعیت این است که، فازهای مختلف ماه طی روز هم بالای سر ما است اما به دلیل روشنایی خورشید مشاهده آن ها ممکن نیست. هر چه به سمت غروب خورشید پیش می رویم و آسمان تاریک تر می شود، رؤیت ماه راحت تر می گردد.

ماه هلالی و ماه نجومی:

مدت زمانی که طول می کشد تا ماه به موقعیت اولیه اش نسبت به ستارگان (دور و ثابت) برسد را ماه نجومی می گوئیم که معادل $29\frac{5}{3}$ شبانه روز است. در حقیقت این زمان همان دوره تناوب حرکت مداری ماه به دور زمین است. زمانی که طول می کشد تا ماه به حالت اولیه خود نسبت به ناظر زمینی برسد (برای مثال از بدر تا بدر) یا به عبارت دیگر زمان مورد نیاز برای طی یک چرخه ی کامل را، ماه هلالی می گوئیم که حدوداً برابر با $29\frac{5}{5}$ شبانه روز می باشد. به دلیل گردش زمین به دور خورشید ماه نجومی با ماه هلالی کوتاه تر متفاوت است (شکل ۳). با توجه به هم جهت بودن حرکت ماه به دور زمین و زمین به دور خورشید (از غرب به شرق) بیش از دو شبانه روز لازم است تا اختلاف موقعیت پیش آمده به دلیل حرکت زمین جبران شود و هلال (فاز) ماه تکرار شود. بنابراین ماه هلالی از نجومی به همین اندازه طولانی تر است.



شکل ۳: شکل تفاوت ماه نجومی و ماه هلالی را نشان می دهد.

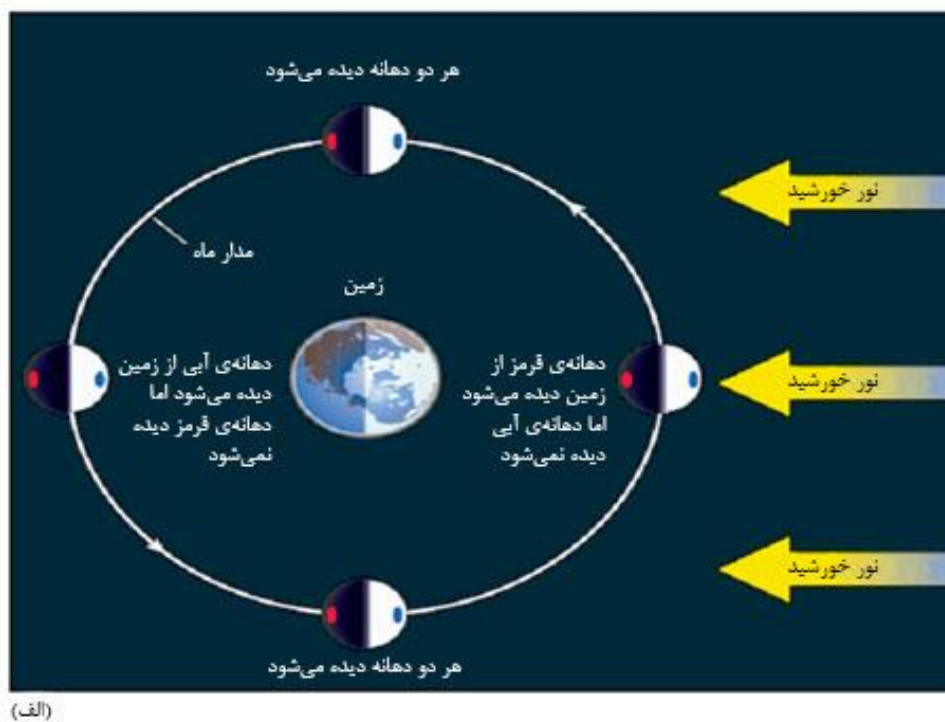
تک رخ بودن ماه:

اگر چه با حرکت ماه در مدارش به دور زمین فازهای گوناگون آن قابل رؤیت است، اما آن طرف از کره ی ماه که به سمت زمین است همواره ثابت می ماند. به عبارت دیگر از دید ناظر زمینی، ماه تک رخ است. بنابراین اگر با تلسکوپ به سطح آن نگاه کنید، همواره در شب های مختلف دهانه ها و کوه های مشابه را رصد خواهید کرد.

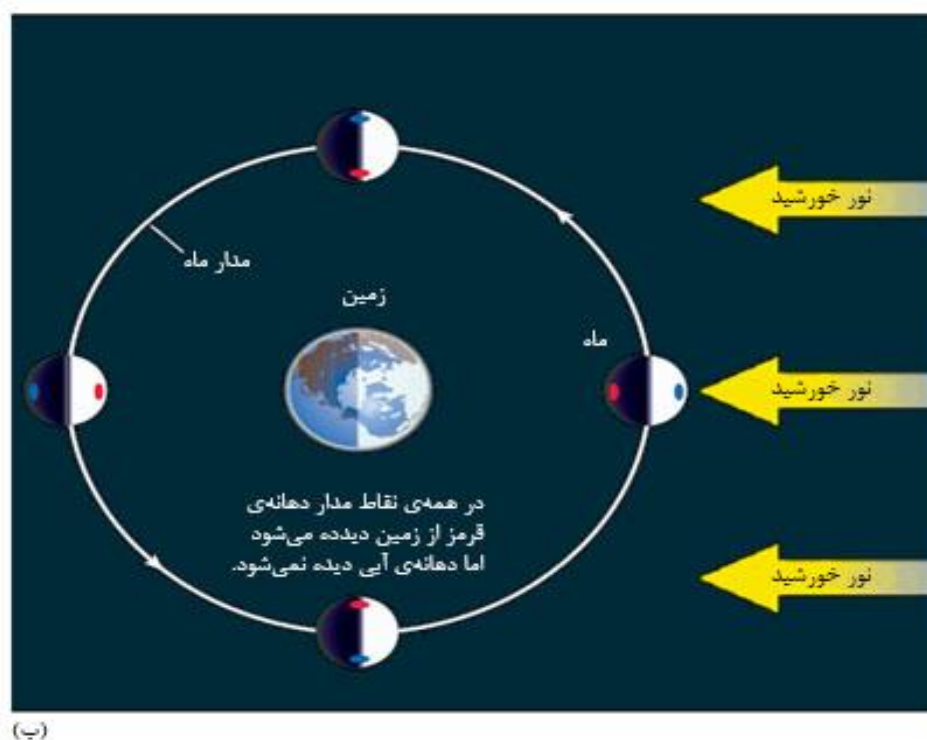
اما چرا ماه تک رخ است؟

در نگاه اول ممکن است به نظر آید که عدم چرخش این قمر به دور خود علت تک رخ بودن آن است . برای تجسم این وضعیت، شکل ۴ را در نظر بگیرید. این شکل ماه را در حال گردش به دور زمین در یک چرخه کامل و از دید ناظری نشان می دهد که در قطب شمال زمین قرار دارد. مشابه با دهانه های سطح ماه، دو دهانه، به رنگهای قرمز و آبی روی آن رنگ شده است. اگر چرخش به دور خود وجود نداشت (شکل الف-۴)، در بعضی از مواقع دهانه ی قرمز و در مواقع دیگر دهانه ی آبی رنگ قابل رؤیت بود. به عبارت دیگر، از دید ناظر زمینی در زمان های متفاوت قسمت های مختلفی از سطح دیده می شد، که این با واقعیت رصدی در تطابق نیست.

در واقع ماه با چرخش بسیار دقیق به دور خود باعث می شود که همواره یک روی آن به سمت زمین باشد. به این ترتیب که مدت زمان چرخش این قمر زیبا به دور خود، دقیقاً برابر زمان گردش کامل آن به دور زمین است. این پدیده چرخش همگام (همزمان) نام دارد. همان طوری که شکل ب-۴ نشان می دهد این پدیده باعث می شود که ماه همیشه تک رخ دیده شود. بدیهی است که در شب های مختلف مقادیر متفاوتی از این قسمت تک رخ توسط خورشید روشن می شود.



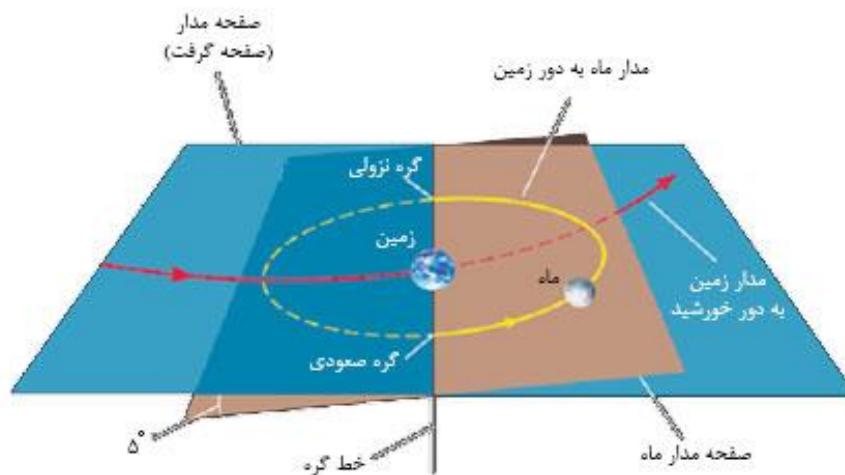
شکل ۴- ماه را در چهار نقطه در مدارش به دور زمین نشان می‌دهد شکل از نظر ناظری است که از بالای قطب شمال زمین است. (الف) مدل نادرست: اگر ماه نمی‌چرخید در یک زمان دهانه ی قرمز و در زمانی دیگر دهانه ی آبی دیده می‌شد. در یک گردش کامل ماه به دور زمین کل سطح ماه از دید ناظر زمینی قابل رؤیت بود. (ب) مدل درست: به علت این که مدت زمان چرخش دقیقاً برابر با زمان گردش کامل آن به دور زمین است ما تنها یک طرف ماه را می‌بینیم (چرخش همگام).



گرفت ها:

با توجه به آن که ماه به دور زمین در حال گردش است و همزمان هر دوی آنها حول خورشید نیز می گردند، بنابراین در پاره ای از اوقات این سه جسم در یک راستا قرار می گیرند. در چنین مواردی با توجه به موقعیت زمین و ماه نسبت به خورشید ممکن است سایه ی زمین روی ماه و یا سایه ی ماه بر روی زمین بیفتد. این پدیده را گرفت گویند.

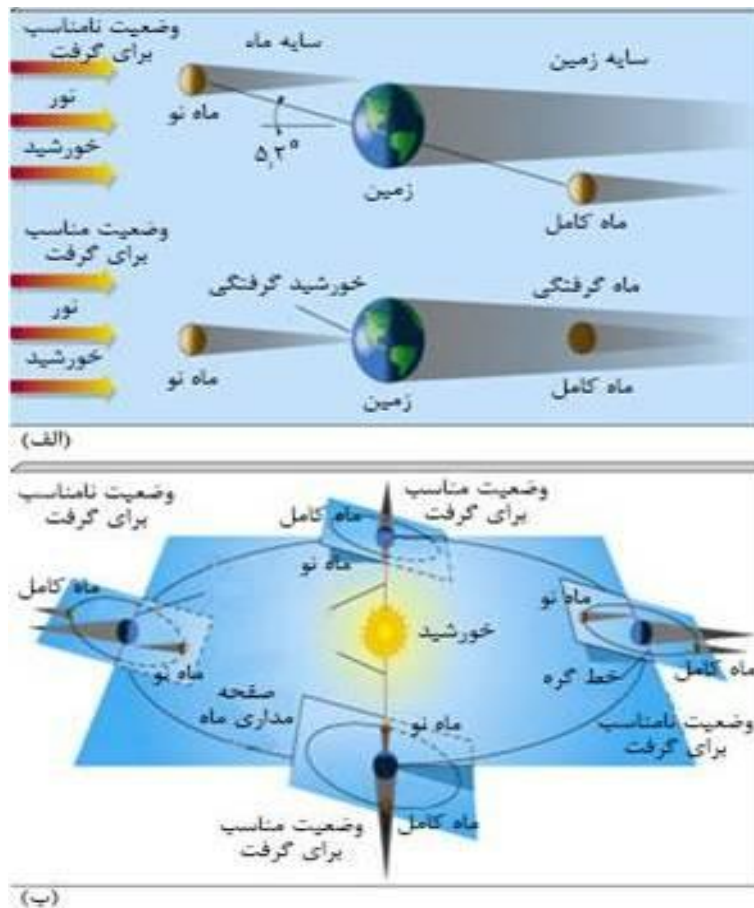
اگر صفحه ی مداری گردش ماه به دور زمین منطبق بر صفحه مداری زمین به دور خورشید (دایرة البروج) می بود، هر ۲۹/۵ روز، یک خورشید گرفتگی و یک ماه گرفتگی داشتیم. اما این دو صفحه با هم زاویه ای به اندازه ۵/۲ درجه می سازند و چنین است که غالباً ماه در بالا یا پایین دایرة البروج قرار می گیرد. در واقع محل تقاطع این صفحه، و صفحه ی مدار ماه به دور زمین یک خط است که به آن خط گره گفته می شود (شکل ۵). نقاطی که در آن صفحه ی دایرة البروج توسط مسیر ماه قطع می شود، بسته به این که ماه به سمت بالا یا پایین این نقاط حرکت کند، به ترتیب گره صعودی (شمالی) و گره نزولی (جنوبی) نامیده می شوند.



شکل ۵- انحراف مدار ماه: مدار گردش ماه به دور زمین (زرد) و مدار گردش زمین به دور خورشید (قرمز) نشان داده شده است. صفحه ی مدار ماه (رنگ قهوه ای) حدوداً ۵ درجه نسبت به صفحه ی مدار زمین (آبی) که به آن صفحه ی دایرة البروج گویند انحراف دارد. این دو صفحه همدیگر را در امتداد یک خط که خط گره نامیده می شود، قطع می کنند.

همان طوری که در شکل ۶ مشاهده می شود خط گره همواره از زمین می گذرد و جهت خاصی را در فضا اختیار می کند. اما شرایط گرفت وقتی فراهم می شود که خورشید و ماه همزمان در امتداد این خط و یا نزدیک به آن قرار داشته باشند. اگر جهت قرار گرفتن خط گره در فضا همیشه ثابت بود، در این صورت گرفت ها با فواصل زمانی مشخص و دقیق تکرار می شدند (هر شش ماه یک بار). اما واقعیت این است که به علت نیروی گرانشی که بین سیستم سه تایی: زمین، خورشید و ماه وجود دارد، جهت این خط به تدریج در حال تغییر می باشد. در نتیجه، خط گره چرخشی بسیار آرام و به سمت غرب خواهد داشت. از گذشته دور یکی از کارهای مهم منجمین محاسبه دقیق مقادیر این چرخش به منظور تعیین تاریخ و زمان دقیق گرفت ها بوده است.

دایرة البروج

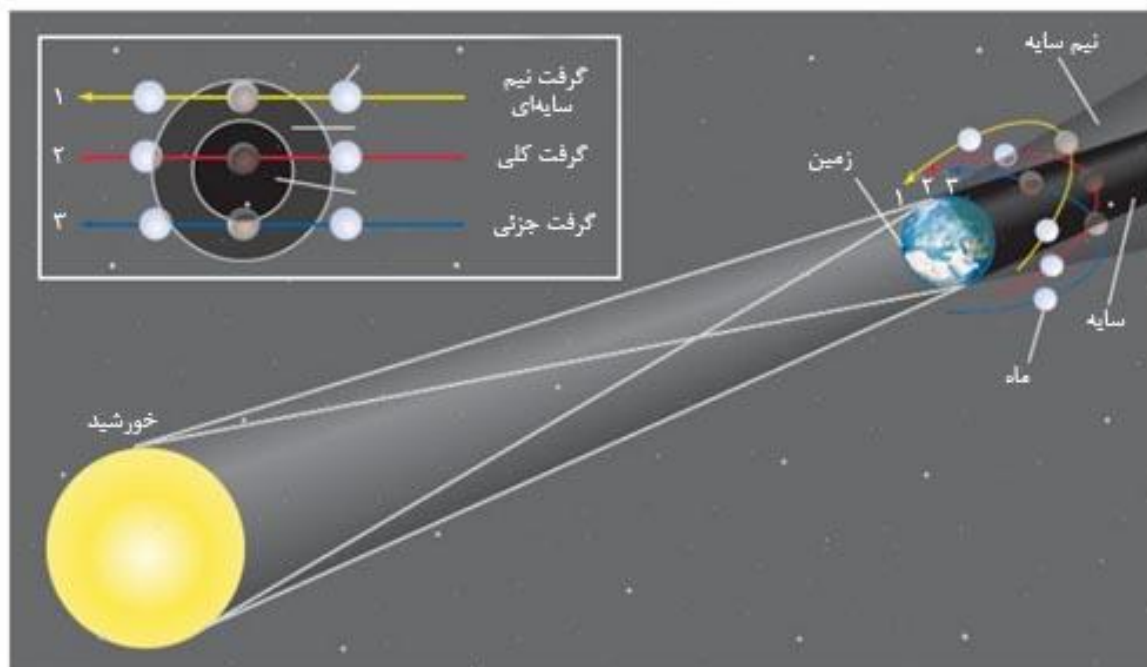


شکل ۶ - شرایط گرفت ها: گرفت ها زمانی اتفاق می افتند که خورشید و ماه هر دو به خط گره نزدیک یا روی آن باشند تنها در این موقع است که خورشید و زمین و ماه در امتداد یک خط قرار می گیرند. خورشید گرفتگی زمانی اتفاق می افتد که ماه خیلی به خط گره نزدیک و در ماه نو باشد؛ ماه گرفتگی فقط زمانی اتفاق می افتد که ماه خیلی نزدیک به خط گره و در ماه کامل باشد. اگر خورشید و ماه نزدیک به خط گره نباشند سایه ی ماه نمی تواند روی زمین و سایه ی زمین نمی تواند روی ماه بیفتد.

ماه گرفتگی:

ماه گرفتگی یا خسوف زمانی رخ می دهد که ماه از سایه ی زمین عبور کند. در این شرایط زمین باید بین خورشید و ماه قرار گیرد تا سایه اش روی ماه بیفتد. بدیهی است که این پدیده زیبای خلقت، هنگامی اتفاق می افتد که ماه در وضعیت کامل (بدر) قرار داشته باشد (شکل ۶).

مشخصات یک ماه گرفتگی بستگی مستقیم به چگونگی حرکت ماه از سایه زمین دارد. همان طوری که شکل ۷ نشان می دهد سایه زمین دو بخش مجزا دارد: سایه ی کامل و نیم سایه. اگر ناظری که روی ماه است در ناحیه سایه قرار گیرد هیچ قسمتی از خورشید را نمی بیند و اگر در نیم سایه واقع شود، برای این ناظر بعضی از قسمت های خورشید قابل رؤیت خواهد بود.



شکل ۷ سه نوع ماه گرفتگی: ساکنان شبانگاه زمین زمانی که ماه از سایه زمین عبور می کند ماه گرفتگی را مشاهده می کنند. در تمام سایه، خورشید به طور کامل توسط زمین پوشیده می شود. نیم سایه تاریکی کم تری دارد زیرا تنها بخشی از خورشید را زمین می پوشاند. سه مسیر حرکت ماه در شکل نشان داده شده است. مسیر یک: برای ماه گرفتگی نیم سایه ای (زرد رنگ)، مسیر دو : ماه گرفتگی کلی (قرمز رنگ) و مسیر سه: ماه گرفتگی جزئی (آبی رنگ). کادر سمت چپ همان سه مسیر بالا را، همراه با تمام سایه و نیم سایه که ماه از آن عبور می کند، از دید ناظر زمینی نشان می دهد.

خسوف نیم سایه ای:

هنگامی که ماه از نیم سایه ی زمین عبور کند (مسیر ۱)، ناظر زمینی خسوف نیم سایه ای را می بیند. در این نوع از گرفت، زمین تنها مانع از رسیدن قسمتی از نور خورشید خواهد شد. در نتیجه، ماه هنوز کامل دیده می شود ولی نور آن کم تر از حالت طبیعی خواهد بود. شاید در خسوف نیم سایه ای، بسیاری از مردم متوجه این گرفت نشوند.

خسوف کلی:

اگر ماه به طور کامل از سایه ی زمین عبور کند خسوف کلی رخ خواهد داد (مسیر ۲). در این وضعیت ناظر زمینی مشاهده می کند که سایه ی زمین که به دلیل کروی بودن آن هلالی شکل است روی سطح ماه شروع به حرکت کرده، به تدریج تمامی آن را در بر می گیرد و سپس در جهت مخالف، سطح را ترک می کند (شکل ۸).

توجه شود هنگامی که سایه تمام سطح را می پوشاند، ماه کاملاً تاریک نمی شود بلکه تقریباً قرمز تار دیده می شود. علت این قرمزی آن است که مقداری از نور خورشید از جو زمین عبور کرده و به ماه می رسد. (شکل ۸)



شکل ۸ خسوف کُلی: این شکل دنباله ای از نه عکس است که در طول سه ساعت در ماه گرفتگی ۳۰ دی ۱۳۷۹ شمسی گرفته شده است. ترتیب عکس ها از راست به چپ، ماه را در حال گذر از تمام سایه ی زمین نشان می دهد. در عکس وسط که هنگام خسوف کُلی گرفته شده به وضوح رنگ ماه مایل به قرمز است. (NASA)

خسوف جزئی:

معمولاً ماه، خورشید و زمین کاملاً هم خط نمی شوند، لذا ممکن است ماه به طور کامل از تمام سایه عبور نکند و تنها قسمتی از آن وارد این ناحیه شود (مسیر ۳). در این حالت خسوف جزئی خواهیم داشت که احتمال وقوع آن از خسوف کُلی بیشتر است.

به طور خلاصه ماه گرفتگی زمانی رخ می دهد که ماه نسبت به زمین در نقطه ی مقابل خورشید قرار داشته باشد (در حالت بدر). صرف نظر از نوع خسوف این پدیده برای تمام ساکنان کره ی زمین که ساعات شب را می گذرانند قابل رؤیت خواهد بود.

بیشترین مدت زمان ماه گرفتگی، هنگامی خواهد بود که ماه به طور مستقیم از مرکز سایه عبور نماید. با توجه به این که سرعت عبور ماه از سایه حدود یک کیلومتر بر ثانیه است، بنابراین یک ماه گرفتگی کُلی در حدود یک ساعت و چهل و دو دقیقه طول خواهد کشید. به طور میانگین دو یا سه ماه گرفتگی در هر سال اتفاق می افتد.

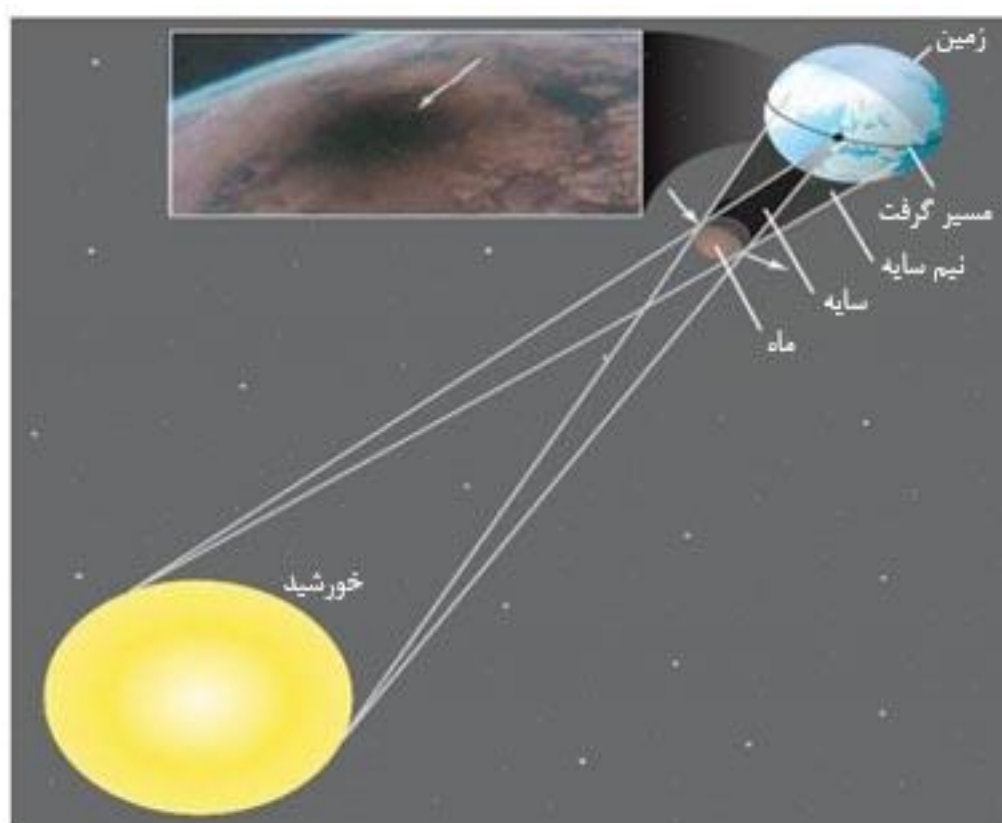
خورشید گرفتگی:

خورشید گرفتگی یا کسوف زمانی رخ می دهد که زمین از سایه ی ماه عبور کند. از دید ناظر زمینی، ماه از جلوی خورشید عبور می کند. این پدیده زمانی قابل رؤیت است که ماه بین زمین و خورشید قرار گیرد و به اندازه ای به دایرة البروج نزدیک شود که سایه اش به طور کامل یا جزئی روی زمین بیفتد. بنابراین خورشید گرفتگی تنها می تواند در شرایط ماه نو(مقارنه) رخ دهد.

کسوف کلی:

مسیر سایه ی ماه روی سطح زمین یک ناحیه ی مدور با عرض جغرافیایی مشخص تشکیل می دهد. چنانچه در این ناحیه قرار گرفته باشیم، می بینیم که خورشید کاملاً توسط ماه پوشیده شده و شاهد یک کسوف کلی خواهیم بود (شکل ۹).

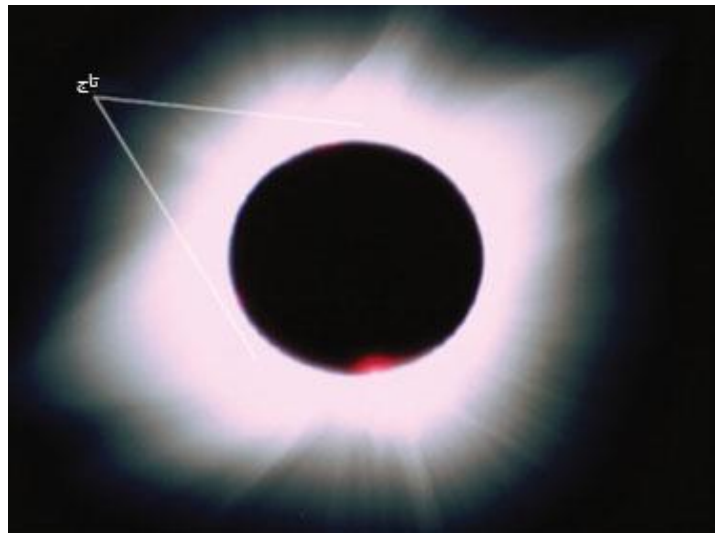
به علت آن که ماه و خورشید دارای قطر زاویه ای برابر (در حدود $0/5$ درجه) هستند، تنها نوک سایه ی کامل ماه به قسمت هایی از سطح زمین خواهد رسید. با چرخش زمین به دور خود، این سایه مسیری را در روی سطح زمین به جا خواهد گذاشت که به آن مسیر گرفت گویند. تنها ساکنان این نواحی خورشید گرفتگی کلی را مشاهده خواهند کرد (شکل ۹).



شکل ۹ هندسه ی خورشید گرفتگی: در طول خورشید گرفتگی کلی نوک سایه ی ماه به سطح زمین می رسد. همان طور که زمین و ماه به دور مدارشان می گردند نوک سایه ماه یک مسیر گرفت در امتداد سطح زمین بر جای می گذارد. مردمان درون مسیر گرفت همین طوری که نوک سایه ی ماه از روی آنها حرکت می کند یک خورشید گرفتگی کلی را می بینند. کسانی که در نیم سایه ی ماه قرار دارند شاهد یک خورشید گرفتگی جزئی هستند. عکس درون کادر از ایستگاه فضایی میر در یازده آگوست ۱۹۹۹ (۲۰ مرداد ۱۳۷۸) در خلال یک خورشید گرفتگی کلی گرفته شده است. نوک سایه ی ماه به صورت یک لکه روی سطح زمین به نظر می رسد.

کسوف کلی یک پدیده طبیعی و اگر بهتر بگوییم یکی از آیات الهی شگفت انگیز است. آسمان شروع به تاریک شدن کرده، دمای هوا کاهش یافته، بعضی از سیارات و یا ستارگان در آسمان دیده می شوند، پرندگان به لانه هایشان می روند و

جیرجیرک ها شروع به خواندن می کنند. برای چند دقیقه ماه کاملاً جلوی قرص خورشید را می گیرد و در این شرایط تاج خورشیدی که در شرایط معمولی به خاطر نور زیاد آن غیر قابل رؤیت است، قابل مشاهده خواهد شد (شکل ۱۰). توجه شود که در این موقع هرگز نباید مستقیم به خورشید نگاه کنیم، زیرا نور تاج که شامل طول موج های ماورای بنفش و ایکس است، وارد چشم شده و به سلول های بینایی آسیب جدی می رساند.



شکل ۱۰ تاج خورشیدی: وقتی قرص خورشید به وسیله ی ماه در طول گرفت تاریک می شود. این عکس به وضوح گسیل انرژی تابشی از تاج خورشیدی را نشان می دهد.

چرخش زمین به دور خود و گردش ماه به دور زمین باعث می شود که سایه ی ماه در امتداد مسیر گرفت، سرعتی بیش از ۱۷۰۰ کیلومتر بر ساعت و در جهت شرق داشته باشد. به علت این سرعت بالا یک کسوف کلی بیشتر از ۷,۵ دقیقه رخ نخواهد داد.

کسوف جزئی:

اطراف سایه ماه بر روی زمین ناحیه ای مشاهده می گردد که سایه کامل نیست و اصطلاحاً آن را نیم سایه می نامند. چنانچه هنگام کسوف در این قسمت قرار داشته باشیم، خورشید به طور جزئی تاریک شده و کسوف جزئی رخ می دهد. طبیعی است که نیم سایه ماه در مقایسه با سایه، قسمت های بیشتری از زمین را در بر می گیرد (شکل ۹). به همین دلیل ساکنان بیشتری از کره ی زمین شاهد خورشید گرفتگی جزئی خواهند بود. اگر شما در مسیر گرفت خورشید قرار داشته باشید می توانید خورشید گرفتگی جزئی را قبل و بعد از خورشید گرفتگی کلی مشاهده نمایید.

توجه شود که پهنای مسیر گرفت بستگی مستقیم به فاصله ی زمین و ماه دارد. واضح است که وقتی ماه در مدار گردش بیضی شکل خود کم ترین فاصله را از زمین دارد (نقطه حضیض)، این پهنای بیشترین مقدار خود را خواهد داشت. در این

شرایط نیم سایه ی ماه روی زمین در حدود ۷۰۰۰ کیلومتر یعنی دو برابر قطر ماه پهنا دارد، اما بیشینه قطر تمام سایه در حدود ۲۷۰ کیلومتر برآورد شده است. در بقیه حالات این مسیر باریک تر از این مقدار است.

کسوف حلقوی:

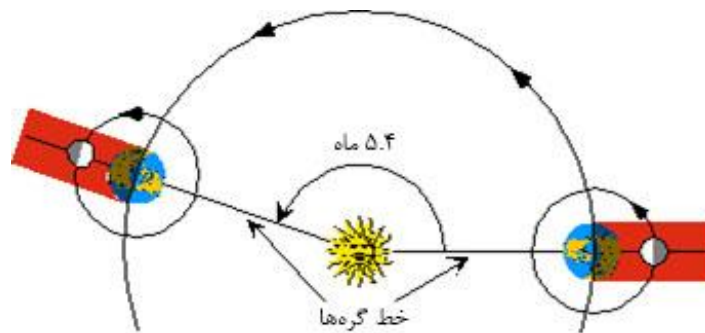
در بعضی از گرفت ها، سایه ی کامل ماه همه خورشید را نمی پوشاند. این شرایط در مواقعی رخ می دهد که این قمر در بیشترین فاصله ی خود تا زمین قرار دارد (نقطه اوج). در این حالت، یک حلقه ی روشن از خورشید اطراف ماه پیدا می شود. این نوع خورشید گرفتگی، کسوف حلقوی نام دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ خورشید گرفتگی حلقوی: شکل بالا نتیجه ی ترکیب ۶ عکس (۵ عکس از خورشید و عکس ششم منظره ای است که از تپه و آسمان گرفته شده است) است که در طلوع خورشید در کاستاریکا گرفته شده است که مراحل پیشروی گرفت حلقوی از خورشید را در ۲۴ دسامبر ۱۹۷۳ (۳ بهمن ۱۳۵۹) را نشان می دهد.

بسامد گرفت ها:

دانستیم که گرفت ها تنها زمانی رخ می دهد که ماه نزدیک به یکی از نقاط گره و در حالت مقارنه یا بدر است. خط گره مانند محور زمین حرکت نسبتاً آرامی در فضا دارد. اگر هیچ نیروی موثری وجود نداشت، خط گره باید هر ۶ ماه یک بار با خورشید هم خط می شد. اما نیروی گرانشی خورشید روی ماه موجب می شود که جهت گیری مداری ماه و بنابراین جهت گیری خط گره به آرامی با زمان تغییر کند و یا به عبارتی این خط، حرکت تقدیمی داشته باشد که اثر این حرکت طی یک دوره تقریباً ۱۹ ساله (بسیار قابل توجه تر از اثر حرکت تقدیمی زمین) رخ می دهد.



شکل ۱۲- اثر حرکت تقدیمی خط گرہ که باعث کاهش زمان بین دو گرفت می شود.

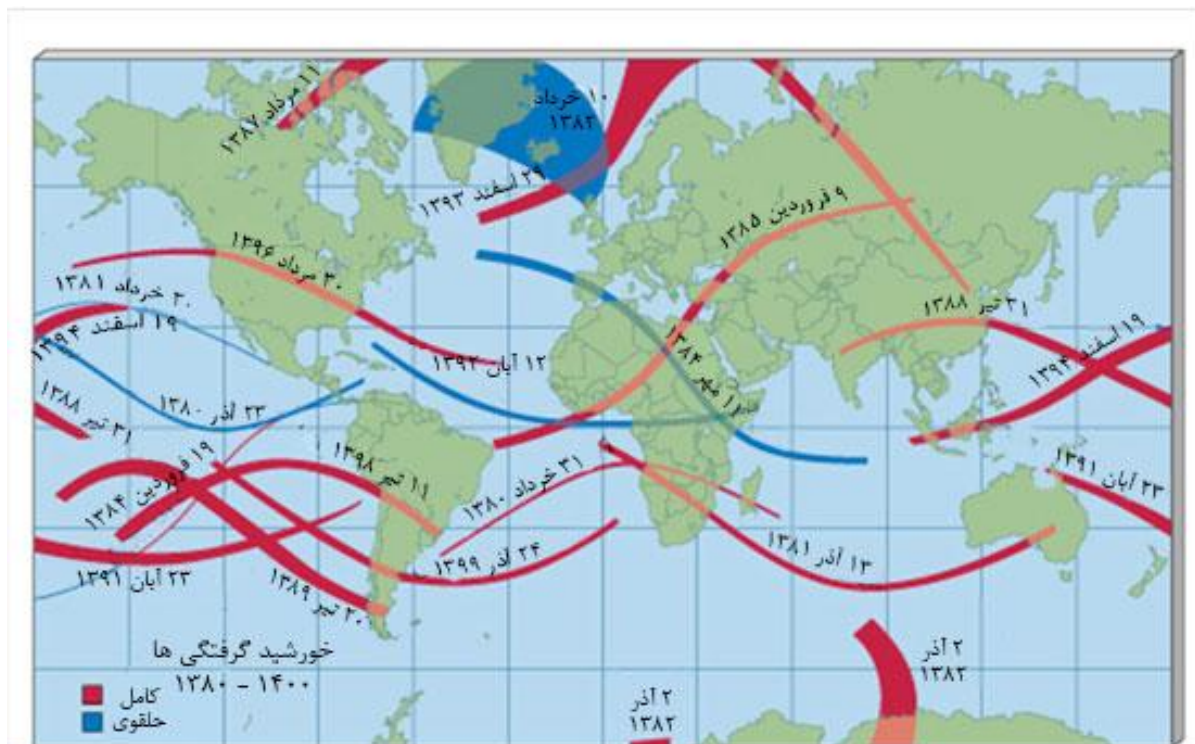
در اثر حرکت تقدیمی خط گرہ، زمان میان دو هم خطی به $5/4$ ماه کاهش می یابد (شکل ۱۲). بنابراین فصل گرفتگی که عبارت است از دو دوره هم خطی زمین، خورشید و ماه به تدریج در تقویم به پیش می رود و هر سال حدوداً ۱۹ روز زودتر رخ می دهد. این پدیده به عنوان عقب گردی خط گرہ شناخته می شود.

در سال ۱۹۹۱ میلادی (۱۳۷۰ ش) فصل گرفتگی در ژانویه و جولای (دی و تیر) بود. در ۱۱ جولای (۲۰ تیر) یک گرفت کامل اتفاق افتاد که ساکنان هاوایی، مکزیک و قسمت های مرکزی آمریکای جنوبی آن را مشاهده کردند. سه سال بعد در ۱۹۹۴ میلادی (۱۳۷۳ ش) فصل گرفتگی در می و اکتبر (اردیبهشت و مهر) بود. در ۱۰ می (۲۰ اردیبهشت) یک گرفتگی حلقوی قابل مشاهده در بسیاری از نقاط ایالات متحده ی آمریکا رخ داد. بعد از آن و در سال ۱۹۹۹ میلادی (۱۳۷۸ ش) فصل گرفتگی به فوریه و اوت (بهمن و مرداد) انتقال یافت و در ۱۱ اوت (۱ مرداد) بسیاری از مردم اروپا و جنوبی ترین قسمت آسیا از آخرین گرفتگی کامل هزاره به وجد آمدند.

ترکیب سال گرفتگی و دوره هلالی ماه منجر به یک چرخه ی طولانی مدت و جالب در خورشید گرفتگی یا ماه گرفتگی می شود. یک محاسبه ی ساده نشان می دهد که ۱۹ سال گرفتگی تقریباً برابر با ۲۲۳ ماه قمری است (هر سال گرفتگی $346/6$ روز است). بنابراین هر ۶۵۸۵ شبانه روز خورشیدی (۱۸ سال و $11/3$ روز) همین گرفتگی بر می گردد. این تکرار چرخه ساروس نامیده می شود. این چرخه برای ستاره شناسان باستان شناخته شده بود و کلید اسرار آمیز آنها برای پیشگویی گرفت ها همین بوده است. **عقب گردی خط گرہ موجب می شود که محور دوران زمین نسبتاً لنگش پیدا کند. تغییر زاویه بین محور زمین و دایره البروج به اندازه ی $9 \pm$ درجه ی قوسی در هر $18/6$ سال می باشد. این حرکت اضافی که با حرکت تقدیمی زمین تلفیق می گردد، به عنوان حرکت رقص محوری شناخته می شود.**

شکل زیر مدت و محل وقوع همه ی گرفت های کامل و حلقوی خورشید را بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ ش) نشان می دهد. با توجه به اطلاعات دقیقی که امروزه از مدارهای زمین و ماه داریم، می توانیم گرفت های آینده را پیش بینی کنیم.

از آن جا که طول سایه ماه در حدود ۵۰۰۰ کیلومتر از متوسط فاصله ی ماه و زمین کوتاه تر است، در بیشتر مواقع شرایط برای گرفت کلی فراهم نیست. به عبارت بهتر، تعداد گرفت حلقوی بیشتر از گرفت کلی است. حتی اگر گرفت کلی رخ دهد، کسانی که در مسیر گرفت قرار دارند فقط چند دقیقه این پدیده را مشاهده خواهند کرد.



شکل ۱۲ ردهای گرفت: نقشه‌ی بالا مناطقی از زمین را نشان می‌دهد که شاهد خورشید گرفتگی‌های کامل و حلقوی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ هستند. هر رد، مسیر عبور تمام سایه‌ی ماه از روی سطح زمین در طی یک گرفتگی را نشان می‌دهد. پهنای رد بستگی به عرض جغرافیایی روی زمین و فاصله‌ی ماه از زمین در طی گرفتگی دارد. رد‌هایی که روی عرض‌های جغرافیایی نزدیک قطبین وجود دارند به دلیل محدود شدن سطح زمین در یک زاویه‌ی مایل نزدیک به قطب توسط نور خورشید و همچنین به دلیل گسترده شدن نقشه روی صفحه پهن‌تر هستند.

فصل سوم:

سیارات

اهداف فصل:

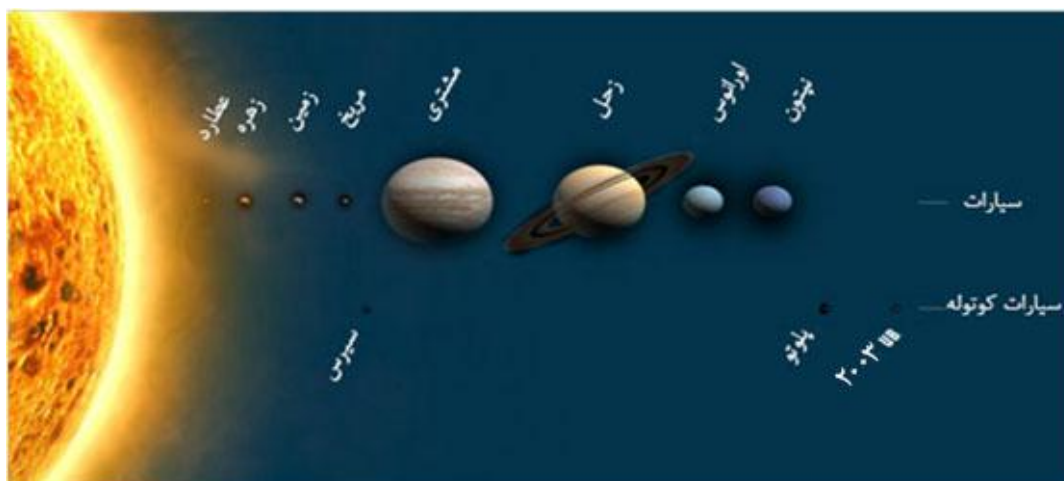
با مطالعه ی این فصل می توانید :

- ساختار منظومه ی شمسی را توصیف کنید.
- در مورد حرکت مستقیم و بازگشتی سیارات توضیح دهید.
- توضیح دهید که چگونه مدل خورشید مرکزی حرکت رجعی (رجعی) سیارات را توضیح می دهد.
- تفاوت های اساسی بین سیارات خاکی (زمین گون) و گازی (مشتري گون) را بیان کنید.
- اعضای غیر سیاره ای منظومه شمسی را توصیف کنید.

حرکات مستقیم و بازگشتی سیارات:

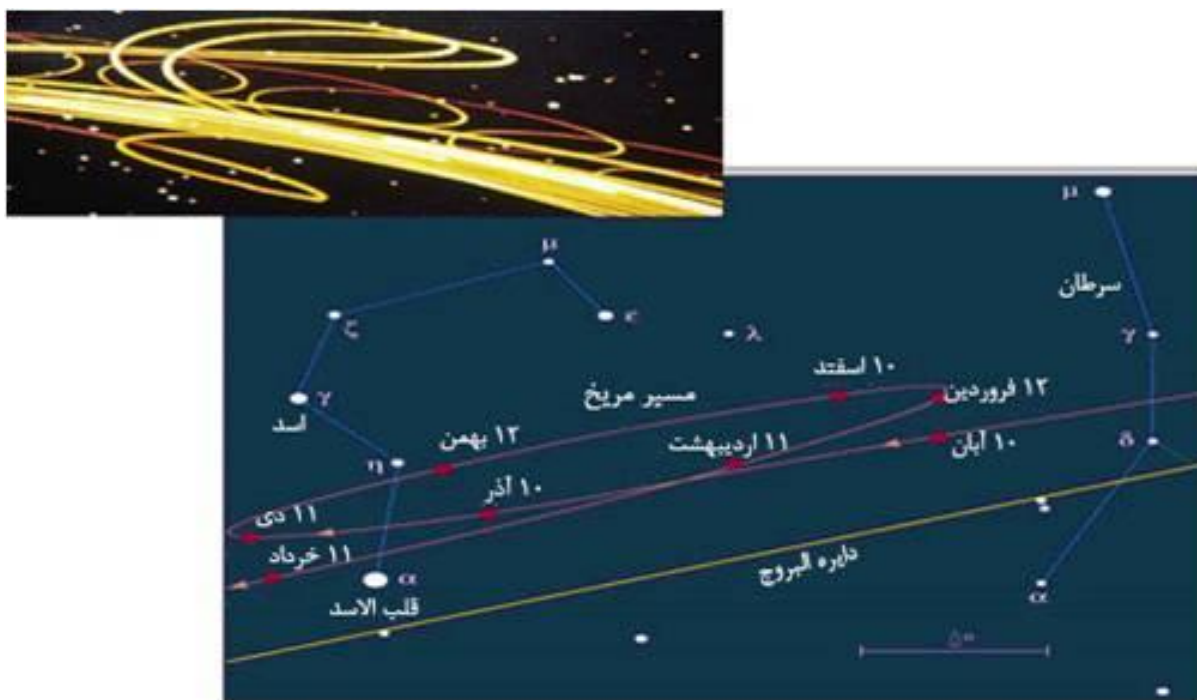
سیارات اجرام نورانی هستند که مانند خورشید و ماه نسبت به ستارگان زمینه جا به جا می شوند. در حال حاضر منظومه ی شمسی شامل هشت سیاره است که در مسیری نزدیک به دایرة البروج به دور خورشید حرکت می کنند. این هشت سیاره به ترتیب عبارتند از: تیر، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس و نپتون (شکل ۱). یک فرد با چشم غیر مسلح می تواند ۵ سیاره (تیر، زهره، مریخ، مشتری و زحل) را ببیند.

از دید ناظر زمینی، سیارات حرکتی از شرق به غرب کره سماوی دارند. آنها به قدری آرام حرکت می کنند که موقعیت آنها از شبی تا شب دیگر تنها اندکی تغییر می کند. اگر چه جهت حرکت این اجرام در آسمان و در اغلب مواقع از غرب به شرق است (مانند خورشید و ماه)، اما در بعضی از ایام سال، تغییر مکان آن ها از شرق به غرب و با سرعت های متفاوتی انجام می پذیرد. به همین علت است که واژه "planet" برگرفته از یک واژه ای یونانی و به معنی "سرگردان" به آنها اطلاق می گردد.



شکل ۱ هشت سیاره ی منظومه ی شمسی در شکل نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود تیر نزدیک ترین سیاره به خورشید و نپتون دورترین سیاره به خورشید است (NASA).

به طور کلی تغییرات مکانی سیارات از غرب به شرق کره سماوی را در اصطلاح حرکت مستقیم می نامند. برای مثال شکل ۲ نشان می دهد که سیاره ی مریخ ماه های، آبان، آذر و دی حرکت مستقیم دارد. اما گاهی اوقات، به نظر می آید که سیاره می ایستد و سپس برای چند هفته یا چند ماه حرکتش را برعکس می نماید. به این سیر برگشتی حرکت بازگشتی (رجعی) می گویند. مطابق شکل از بهمن تا فروردین، مریخ دارای حرکت بازگشتی است و بعد از گذشت حدود $22\frac{1}{2}$ ماه این حرکت برای این سیاره تکرار می شود.



شکل ۲ حرکت رجعی مریخ: از آبان تا دی، مریخ از میان صورت های فلکی جوزا، خرچنگ و اسد عبور می کند. حرکت مریخ غالباً مستقیم خواهد بود (از غرب به شرق یا از راست به چپ در این شکل) ولی این حرکت در بهمن و اسفند معکوس می شود (از چپ به راست شکل). توجه کنید که سرعت مریخ نسبت به ستاره ها ثابت نیست.

همانند مریخ، تمام سیارات با فواصل زمانی متفاوت و مربوط به خود، دارای حرکت بازگشتی هستند. از نظر تاریخی، اگرچه طرفداران مدل زمین مرکزی تلاش فراوانی برای توضیح حرکات رجعی انجام دادند ولی به علت غیر واقعی بودن مدل شان، نواقصی برای توجیه آن ها وجود داشته است. در مدل واقعی، خورشید مرکزی (برای منظومه شمسی) این حرکات سیارات کاملاً قابل توجیه است. به دلیل اهمیت نظریه ی خورشید مرکزی در اثبات حرکت واقعی سیارات در ادامه به اختصار گریزی تاریخی خواهیم داشت.

مدل زمین مرکزی:

با توجه به نسبی بودن حرکت، این که خورشید به دور زمین، و یا زمین به دور خورشید می گردد فرقی با هم ندارند. اما به هر حال در مطالعه ی حرکت سیارات با مسائلی مواجه می شویم که ناچاریم میان دیدگاه زمین مرکزی و خورشید مرکزی تمایز قائل شویم. از آنجا که حرکت زمین برای ناظر روی آن قابل مشاهده نیست، طبیعی است که تصور شود سیارات به دور زمین می گردند. این مطلب تحت عنوان مدل زمین مرکزی شناخته می شود و تا چند قرن پیش به طور گسترده ای مقبولیت عام داشت (شکل ۳). واقعیت آن است که حرکت بازگشتی سیارات الگوی زمین مرکزی را با چالش مواجهه می کرد. بنابراین یونانیان چندین فرضیه برای توضیح حرکت رجعی ارائه دادند. ابتدا ستاره شناس یونانی هیپارکوس، الگویی برای توجیه

حرکت بازگشتی ارائه داد که در آن هر سیاره روی دایره ای به نام فلک تدویر و خود فلک تدویر هم روی مداری بزرگتر و به مرکزیت زمین، با نام فلک حامل حرکت می کردند. برای پی بردن به جزئیات بیشتر به شکل ۳ توجه کنید.



شکل ۳ مدل هیپارکوس: در مدل زمین مرکزی برای منظومه، حرکت رجعی با این فرض که سیارات روی مسیرهای دایروی ساده ای به دور زمین حرکت می کنند، قابل توجه نیست. در عوض در نظر گرفته می شود که هر سیاره روی یک مدار دایروی کوچک (فلک تدویر) می گردد که مرکز آن روی یک مدار دایره ای بزرگ تر (فلک حامل) قرار دارد.

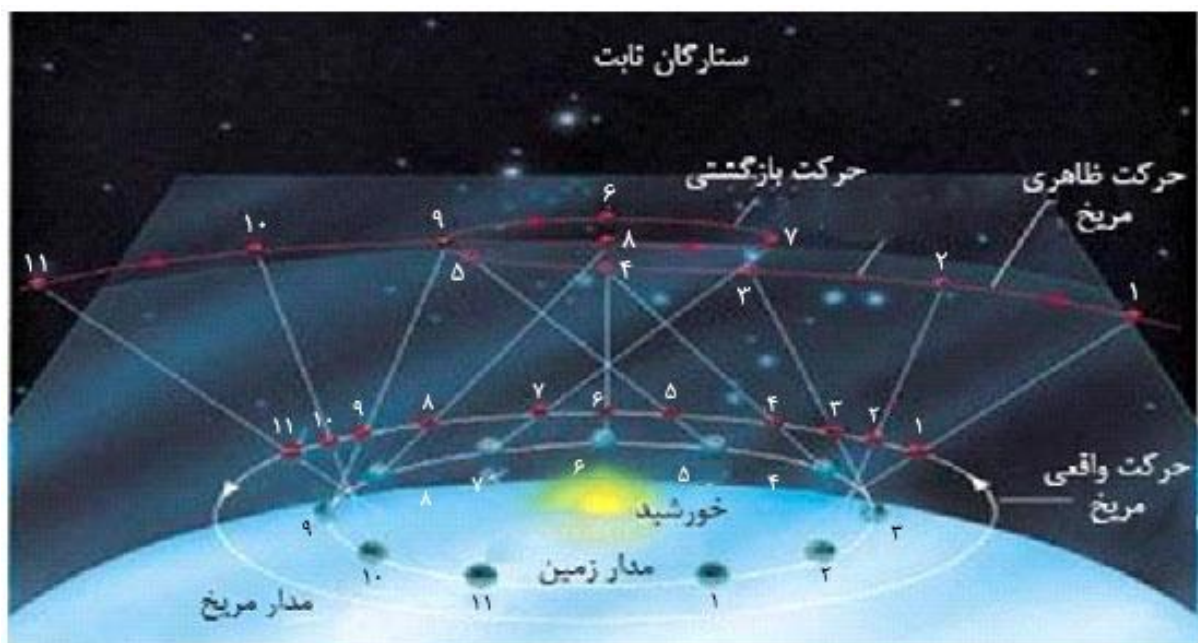
در این الگو، حرکت رجعی، توسط سیر برگشتی سیاره روی فلک تدویر، توجه می گردید. دو قرن بعد از میلاد مسیح، بطلمیوس مدل زمین مرکزی هیپارکوس را اتخاذ کرد و با استفاده از داده های رصدی، حرکت های آینده سیارات را پیش بینی نمود. بطلمیوس اندازه فلک های تدویر و حامل هر سیاره و همچنین سرعت گردش فلک تدویر و سرعت خود سیاره را به دست آورد. او با تصویر مدلس برای زمان های آتی، قادر بود به طور دقیق مکان سیاره را پیش بینی کند. بطلمیوس به خاطر موفقیت در این موضوع، رساله ای به نام المجسطی ارائه داد، که برای مدت مدیدی کتاب مقدس ستاره شناسان بود.

بعد از گذشت چند سال، مدل بطلمیوس دیگر قادر به پیش بینی حرکات سیارات نبود. با اینکه ستاره شناسان دیگر سعی کردند تا با ارائه مراحل تکمیلی، این الگو را اصلاح کنند اما نتایج به طرز پیچیده ای دارای اشکال بودند. نهایتاً دانشمندان به این نتیجه رسیدند که یک سری مشاهدات با این مدل ناسازگارند و لذا دیدگاه زمین مرکزی زیر سؤال رفت.

مدل خورشید مرکزی:

با آن که غالباً مدل خورشید مرکزی را به نام کپرنیک می شناسیم، اما در واقع یک قرن قبل از ارائه ی مدل زمین مرکزی، به وسیله ی آریستارکوس پیشنهاد شده بود. در این مدل، تمام سیارات (شامل زمین) به دور خورشید گردش می کنند. تیر و زهره یعنی سیارات پایینی مدارهای کوچک تری نسبت به زمین دارند، در حالی که مریخ، مشتری و زحل یعنی سیارات

بالایی، روی مدارهای بزرگ تری گردش می کنند. این الگو با تکیه بر این نکته که سیارات با سرعت های متفاوتی حرکت می کنند، حرکت های بازگشتی را توضیح می داد. سیارات پایینی سریع تر و سیارات بالایی کندتر از زمین حرکت می کنند. در نتیجه، زمین به طور منظم از سیارات بالایی سبقت می گیرد و آنها را پشت سر می گذارد و سیارات پایینی همین کار را نسبت به زمین انجام می دهند. درست شبیه ماشینی که در یک بزرگراه، ماشین دیگری را پشت سر می گذارد و از دید ساکنین آن، به نظر می آید که ماشین دوم به طرف عقب حرکت می کند (شکل ۴).



شکل ۴ توضیحی بر حرکت رجعی در مدل خورشید مرکزی آریستارکوس: زمین و دیگر سیارات به دور خورشید می گردند. زمین با سرعت بیشتری نسبت به مریخ به دور خورشید حرکت می کند. بنابراین همان طور که زمین از این سیاره آرام، پیشی می گیرد به نظر می رسد مریخ برای چند ماه (از نقطه ۵ تا نقطه ۷) نسبت به ستارگان ثابت به عقب حرکت می کند. مسیر ظاهری مریخ از نظر ناظر زمینی با منحنی قرمز در شکل نشان داده شده است.

اگر چه مدل خورشید مرکزی نسبت به زمین مرکزی موفق تر بود ولی هرگز در یونان باستان به مقبولیت دست نیافت. زیرا در این الگو زمین می بایست حرکت کند و این برخلاف عقاید کلیسا بود. مدل خورشید مرکزی برای چندین قرن فراموش شد، تا این که در قرن شانزدهم میلادی توسط ستاره شناس لهستانی، نیکلاس کوپرنیک دوباره مطرح گردید. کوپرنیک محاسبات خود را با استفاده از این الگو برای سیارات ارائه داد و توانست حرکت آنها را با دقتی بالاتر از آن چه مدل زمین مرکزی ارائه می کرد، شرح دهد. او همچنین قادر بود پیش بینی هایی با دقت بسیار بالا از فواصل نسبی سیارات ارائه دهد. با وجود این که کوپرنیک معتقد بود که مدلش یک پیشرفت آشکار برای علم ستاره شناسی است، اما چاپ نتایج خود را برای مدت زمان

طولانی به تعویق انداخت. (شاید احتمال می داده که کارش جنجالی بوده و می توانسته منشأ تنش ها و یا انتقاداتی باشد). سر انجام در سال ۱۵۴۳ میلادی (۹۲۲ ش)، درست کمی قبل از مرگ وی، کتاب کپرنیک به نام "تحول کره سماوی" منتشر گردید. این کتاب به طور گسترده در اروپا خوانده شد و معلوم گردید این کتاب مدل زمین مرکزی را که اعتقاد راسخ کلیسای کاتولیک بود مورد تهدید قرار داده است. در سال ۱۶۱۶ میلادی (۹۹۵ ش) کلیسا کتاب کپرنیک را ممنوع کرد و این ممنوعیت تا پایان قرن هجدهم میلادی ادامه داشت.

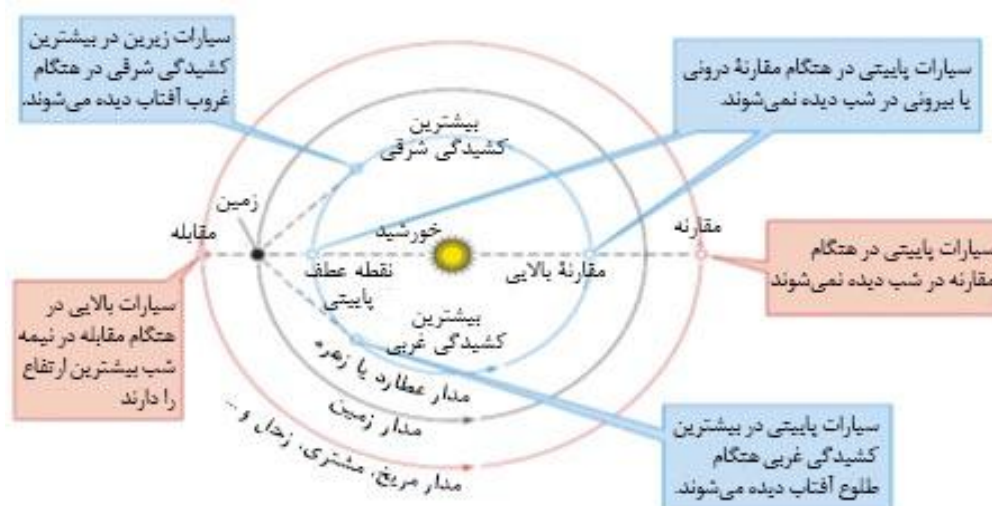
برای انتخاب بین مدل های کپرنیکی و بطلمیوسی اطلاعات دقیق رصدی لازم بود که چنین اطلاعاتی را تیکو براهه فراهم کرد. داده های او درباره ی حرکت سیارات را یوهان کپلر که زمانی دستیار براهه بود تجزیه و تحلیل کرد. کپلر در زمینه ی حرکت سیارات به قاعده مندی های مهمی پی برد و آن را به صورت سه قانون تدوین کرد. او نشان داد که اگر خورشید را جسم مرکزی بگیریم و دایره ی کامل را کنار بگذاریم توصیف حرکت به داده های تجربی نزدیک خواهد شد. ولی قوانین کپلر

قوانین تجربی هستند و فقط حرکت مشهود سیارات را توصیف می کنند. **KEPLER** بعد ها نیوتن توانست قوانین کپلر را از قوانین حرکت و قانون گرانش خودش به دست بیاورد و در واقع به پیروزی بزرگی دست یابد.

یکی دیگر از موفقیت های مهم مدل خورشید مرکزی این بود که می توانست ترتیب قرار گرفتن مدار سیارات به دور خورشید را پیش بینی نماید. کپرنیک دریافت که مدار دو سیاره تیر و زهره در آسمان بسیار نزدیک به خورشید است و به همین دلیل مدار آنها باید کوچک تر از مدار گردش زمین باشد. در یک تقسیم بندی به این دو سیاره، سیارات پایینی (زیرین) گویند. سه سیاره دیگر قابل مشاهده (تا آن زمان) شامل مریخ، مشتری و زحل در مواقعی از سال در نقطه مقابل خورشید در کره ی سماوی قرار می گیرند که در این موقعیت این سیارات بیشترین ارتفاع را در نیمه شب نسبت به افق دارند. هنگامی این اتفاق می افتد که زمین بین خورشید و آن سیاره قرار گیرد (چنین موقعیت برای سیارات پایینی اصلاً بوجود نمی آید). بر این اساس کپرنیک نتیجه گیری کرد که مدارهای این سه سیاره که به سیارات بالایی (زیرین) معروف هستند، باید از مدار زمین به دور خورشید بزرگ تر باشد.

سال ها بعد و با اختراع تلسکوپ، ستاره شناسان دریافتند که دو سیاره دیگر به نام اورانوس و نپتون دارای ویژگی شبیه به سیارات بالایی هستند، یعنی آنها را می توان در نیمه شب مشاهده نمود. بنابراین مدار این اجسام باید بالاتر از مدار زمین باشد. لازم به یادآوری است که در آن زمان پلوتو نیز به عنوان یکی دیگر از سیاره های بالایی شناخته می شد، اما با پیشرفت وسایل رصدی و کشف دقیق تر خواص آن، در سال ۲۰۰۶ میلادی منجمان، نام آن را از لیست سیاره های منظومه کنار گذاشتند.

مدل خورشید مرکزی تصویری مبتنی بر واقعیت را از منظومه شمسی ارائه می دهد. این مدل به راحتی قادر است توضیح دهد که چرا سیارات در زمان های متفاوت در قسمت های گوناگونی از آسمان دیده می شوند. برای مثال برای توضیح حرکت هر کدام از دو سیاره پایینی (تیر و زهره)، ابتدا "فاصله ی زاویه ای" را تعریف می کنیم، که آن زاویه ای است که بین خورشید و سیاره، به مرکزیت زمین، تشکیل می شود. بیشترین مقدار این زاویه در هنگامی که سیاره در شرق آسمان قرار دارد، به نام بیشترین کشیدگی شرقی (بیشترین فاصله ی زاویه ای شرق) شناخته می شود. واضح است که مشابه این زاویه را برای موقعیت سیاره در طرف مقابل، یعنی غرب آسمان داریم که آن نقطه، بیشترین کشیدگی غربی نام دارد.



شکل ۵ مدارهای سیاره ای و ترکیب بندی آنها: درجه موقع و کجا یک سیاره را می توان از روی زمین دید، به اندازه مدار و همچنین موقعیت آن، روی مدارش وابسته است. سیارات زیرین مدارهایی کوچک تر و سیارات زبرین مدارهایی بزرگ تر از مدار زمین دارند (توجه کنید که در این شکل، یک ناظر، منظومه ی شمسی را از نقطه ای دور و بالای نیم کره ی شمالی زمین می بیند).

با توجه به شکل ۵ در مواقعی این دو سیاره، بعد از غروب خورشید قابل رؤیت هستند که در مدار خود در حوالی بیشترین کشیدگی شرقی قرار داشته باشند. هر کدام از آنها که در این نقطه قرار می گیرند، از دید ناظر زمینی بیشترین فاصله ی شرقی را نسبت به خورشید پیدا خواهند کرد. بدیهی است برای این ناظر، سیاره بعد از غروب خورشید و از غرب افق طلوع می کند. در این موقعیت، به هر یک از این دو سیاره، اصطلاحاً ستاره شامگاهی گویند.

در نقطه ی مقابل، وقتی تیر یا زهره به نزدیکی بیشترین کشیدگی غربی برسند، قبل از طلوع خورشید در آسمان قابل رؤیت خواهند بود. در این موقعیت این دو سیاره را اصطلاحاً ستاره صبحگاهی گویند.

در مدار این سیارات دو نقطه ی دیگر نیز حائز اهمیت هستند:

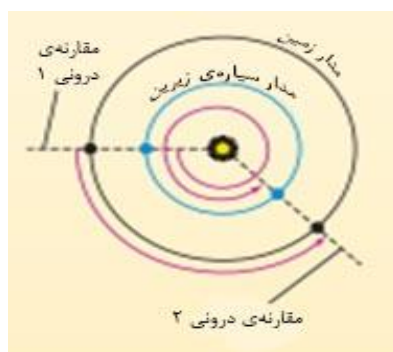
الف- مقارنه پایینی : در این نقطه دو سیاره ی زهره و تیر بین زمین و خورشید قرار دارند. در این موقعیت، سیاره در حال خارج شدن از آسمان شب و حرکت به سمت آسمان روز است.

ب- مقارنه بالایی : در این موقعیت، سیاره در طرف دیگر نسبت به خورشید قرار می گیرد و لذا گذار به آسمان شب مجدداً از این نقطه خواهد بود.

سیارات بالایی که دارای مداری بزرگ تر از مدار زمین هستند، هنگامی بهترین موقعیت برای رصد را پیدا می کنند که در نقطه ی مقابل قرار داشته باشند. در این جایگاه، سیاره در وضعیتی قرار می گیرد که مقابل خورشید نسبت به زمین است (به عبارت دیگر هر سه هم راستا می شوند). در این موقعیت ویژه که در نیمه شب به وقوع می پیوندد، سیاره نه تنها بیشترین ارتفاع را نسبت به زمین دارد، بلکه به دلیل نزدیک ترین فاصله خود بیشترین روشنایی را نیز دارد (توجه شود که سیارات پایینی هیچ گاه در نیمه شب قابل رصد نیستند).

از طرف دیگر، وقتی سیارات بالایی در موقعیتی از مدار خود باشند که خورشید بین سیاره و زمین قرار گیرد، رصد آنها امکان پذیر نیست. در این نقطه که به نقطه ی عطف معروف است سیاره به هنگام روز، بالای افق زمین قرار دارد و بنابراین در آسمان شب غیر قابل رؤیت است.

دوره های تناوب سیارات:



شکل ۶: مقارنه ی درونی

با توجه به آن که از دید ناظر زمینی، تمام سیارات در حال حرکت هستند و همزمان خود زمین نیز حرکت مداری دارد، برای سیارات دو نوع دوره ی تناوب معرفی می شود.

دوره ی تناوب هلالی، مدت زمانی که سیاره از دید ناظر زمینی یک موقعیت مشخص در آسمان را تکرار می کند (مثلاً نقطه ی مقابله را تکرار می کند).

دوره تناوب نجومی، مدت زمانی که سیاره از دید ناظر خارج از منظومه ی شمسی یک بار مدار خود را کامل نماید. بدیهی است که از روی زمین دوره تناوب هلالی قابل تعیین است، ولی دوره ی تناوب نجومی توسط روابط زیر به دست می آید:

برای سیارات پایینی:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} + \frac{1}{S}$$

برای سیارات بالایی:

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{E} - \frac{1}{S}$$

در این روابط، P دوره ی تناوب نجومی، E دوره ی تناوب زمین به دور خورشید (یک سال) و S دوره ی تناوب هلالی را بیان می کند. جدول ۱-۴ مقادیر دوره های تناوب را برای هشت سیاره منظومه ی شمسی نشان می دهد. علاوه بر آن فواصل

این اجسام تا خورشید نیز در جدول ۲-۴ **ارایه** شده است.

جدول ۱: دوره ی تناوب هلالی و نجومی

سیاره	دوره تناوب هلالی (روز)	دوره تناوب نجومی
تیر	۱۱۶	۸۸ روز
زهره	۵۸۴	۲۲۵ روز
زمین	-	۱ سال

۱/۹ سال	۷۸۰	مریخ
۱۱/۹ سال	۳۹۹	مشتری
۲۹/۵ سال	۳۷۸	زحل
۸۴/۱ سال	۳۷۰	اورانوس
۱۶۴/۹ سال	۳۶۸	نپتون

جدول ۲: فاصله ی میانگین سیارات از خورشید

مقدار اخیر (AU)	مقدار کپرنیکی (AU)	سیاره
۰/۳۹	۰/۳۸	تیر
۰/۷۲	۰/۷۲	زهره
۱	۱	زمین
۱/۵۲	۱/۵۲	مریخ
۵/۲۰	۵/۲۲	مشتری
۹/۵۵	۹/۰۷	زحل
۱۹/۱۹	–	اورانوس
۳۰/۰۷	–	نپتون

مقایسه ی این دو جدول نشان می دهد که هر چه مدار سیاره از خورشید دورتر باشد، دوره تناوب نجومی آن بیشتر است، که این به دو دلیل است:

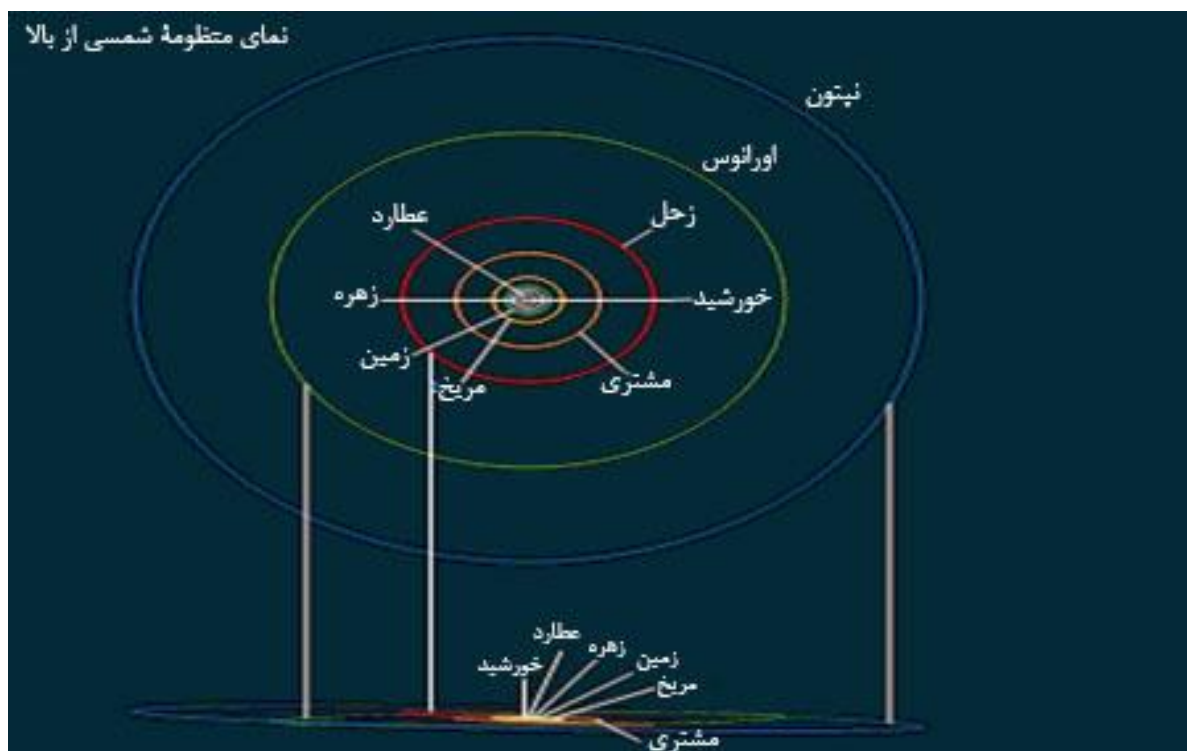
- ۱- سیارات دورتر دارای مدارهای بزرگ تر هستند.
- ۲- هر چه مدارها بزرگ تر باشند سرعت حرکت سیارات کوچک تر است. برای مثال متوسط سرعت حرکت مداری تیر ۴۷/۹ کیلومتر بر ساعت است، در حالی که این عدد برای زحل برابر ۹/۶۴ کیلومتر بر ساعت گزارش شده است.

ویژگی های سیارات منظومه ی شمسی:

بعد از آشنایی مختصری که از مدل های توصیف کننده ی منظومه **ارایه** گردید، اینک نگاهی کلی و گذرا به ویژگی های سیارات خواهیم داشت.

قطر مدار پلوتو کم تر از یک هزارم سال نوری بوده و فاصله ی آن تا خورشید، در حدود ۴۰ AU گزارش می شود. این فاصله، تقریباً یک میلیون برابر شعاع زمین و حدود ۱۵ هزار برابر فاصله زمین تا ماه است. از طرفی آلفای قنطروس، با فاصله ۴/۳ سال نوری (۲۷۰۰۰۰ AU) نزدیک ترین ستاره به خورشید می باشد. این اعداد نشان می دهند که، ابعاد منظومه نسبت به فواصل بین ستاره ای بسیار کوچک، اما در مقایسه با استانداردهای زمینی، قابل توجه می باشند.

بعد از نزدیک ترین سیاره به خورشید یعنی تیر ، هفت سیاره دیگر با اسامی، زهره، زمین، مریخ، مشتری، زحل، اورانوس و نپتون به ترتیب قرار دارند. تمامی سیاره ها در یک جهت و تقریباً نزدیک به صفحه ی دایرة البروج می گردند (شکل ۷). از نظر ناظر قطب شمال زمین حرکت آنها پاد ساعتگرد است.



شکل ۷: مدار سیارات در حال حرکت به دور خورشید نشان می دهد.

بنابر قوانین کپلر تمامی سیارات دارای مدارهای بیضی شکل اند که خورشید در یکی از کانون های آن واقع شده است. به غیر از تیر با خروج از مرکز 0.206 بقیه سیارات دارای خروج از مرکز نزدیک به صفر هستند، بنابراین مدارهای آنها به شکل دایره های هم مرکزی هستند که خورشید در وسط آنها قرار دارد.

مدارهای سیارات در فواصل یکسانی از هم واقع نشده اند، هر چه از خورشید دور می شویم این مدارها بیشتر از هم فاصله می گیرند (شکل ۷). با این حال، نوعی نظم و هنجار خاصی در جای گیری آنها به چشم می خورد که ممکن است واجد اسرار ناگفته ای باشد که هنوز کشف نشده است.

قانون بد-تیتوس

از طرف دیگر می توان منظومه ی شمسی را به شکلی گسترده و مسطح تصور کرد. شکل ۸ عکسی از سیاره های تیر، زهره، مریخ و مشتری را نشان می دهد که در کسوف سال ۱۹۹۱ میلادی گرفته شده است. با توجه به این که مدار گردش این چهار سیاره نزدیک به یکدیگر قرار دارد، در بعضی از ایام سال در یک منطقه از آسمان مشاهده می شوند.



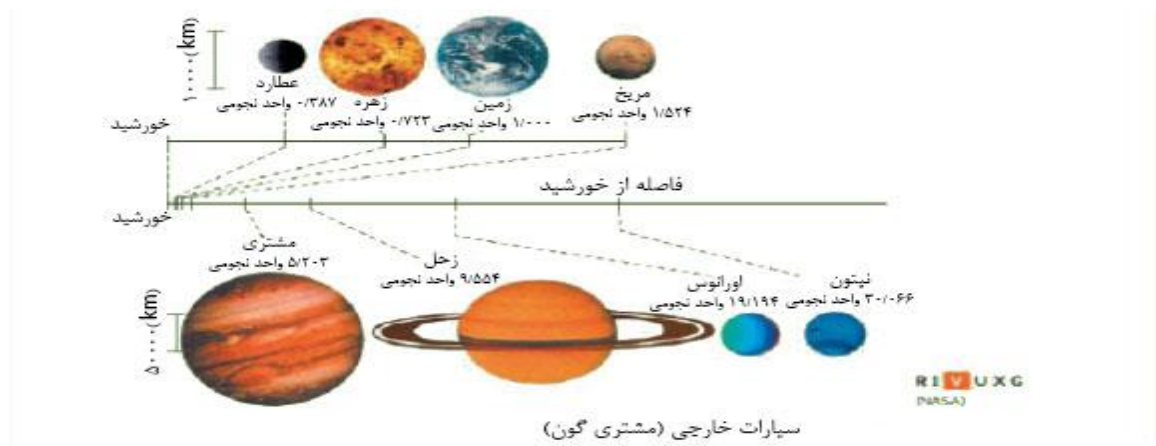
شکل ۸: عکسی از کسوف جولای ۱۹۹۱ میلادی که چهار سیاره ی تیر، زهره، مریخ و مشتری را نشان می دهد. در بعضی از ایام، این امکان وجود دارد که آنها در منطقه ی یکسانی از آسمان مشاهده شوند.

زمین تنها سیاره ای است که در سطح آن آب یافت می شود و به علاوه جو آن دارای گازهای قابل تنفس برای موجودات زنده است. اگرچه سیارات منظومه ی شمسی در پاره ای از موارد تفاوت هایی با هم دارند، ولی در بعضی از مشخصات، شبیه به یکدیگر هستند. دهانه های آتشفشانی روی زمین، در زهره و مریخ هم قابل رؤیت است. حلقه های دایره ای مشتری در سیاراتی مانند اورانوس، نپتون و زحل نیز وجود دارد.

با در نظر گرفتن تمام شباهت ها و تفاوت ها در مورد سیارات، می توان اطلاعات این اجرام آسمانی را به دو دسته، طبقه بندی کرد. ابتدا بر اساس مدار آنها به دور خورشید و سپس بر طبق مقایسه خصوصیات فیزیکی، نظیر جرم، قطر، چگالی و

۱- تقسیم بندی بر اساس مدارها:

سیارات بر اساس اندازه ی مدارشان به دور خورشید به دو دسته ی داخلی و خارجی طبقه بندی می شوند. همان طوری که در شکل ۹ نشان داده شده است، سیارات داخلی شامل تیر، زهره، زمین و مریخ، دارای مدارهایی نزدیک به خورشید و با فواصل کم از یکدیگر هستند. در حالی که برای چهار سیاره خارجی یعنی مشتری، زحل، اورانوس و نپتون، مدارها در فاصله های دور از خورشید و با فواصل بیشتری از یکدیگر قرار دارند.



شکل ۹ مقایسه ی فاصله ی سیارات داخلی و خارجی از خورشید

با توجه به جدول های ۳ و ۴، مهمترین خصوصیات مدارها را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- مسیر واقعی حرکت تمام سیارات پاد ساعتگرد (غرب به شرق آسمان) است.
- به غیر از تیر، مدار سیارات دیگر تقریباً به شکل دایره می باشد.
- مدارهای تمامی آنها نزدیک به صفحه دایرة البروج قرار دارد. بیشترین انحراف از این صفحه مربوط به تیر با ۷ درجه است.
- زمین و مریخ تقریباً دوره ی تناوب چرخشی یکسانی دارند. اما در مورد زهره و تیر تقریباً ماه ها طول می کشد که یک بار به دور خود بچرخند.
- در مورد چهار سیاره خارجی، سرعت دوران آنها سریع تر از زمین است. به غیر از اورانوس با دوره تناوب ۱۷ ساعت، سه سیاره ی دیگر در کم تر از ۱۷ ساعت به دور خود می چرخند.
- از میان هشت سیاره منظومه، جهت چرخش (به دور خود) در زهره و اورانوس برعکس بقیه و از شرق به غرب (ساعتگرد) است. بنابراین ناظر روی این دو (اگر وجود داشته باشد!) طلوع خورشید را از غرب و غروبش را در شرق مشاهده می کند.
- البته واقعیت این است که علت تفاوت جهت چرخش این دو سیاره به دور خود زاویه میل استوایی بزرگتر از ۹۰ درجه آنها است. وگرنه این دو عضواز منظومه نیز مانند بقیه، از غرب به شرق می چرخند.

جدول ۳: داده های مداری سیارات زمین گون

انحراف مدار از دایرة البروج	خروج از مرکز مداری	میانگین سرعت مداری km/s	دوره تناوب (روز)	دوره تناوب (روز)	دوره تناوب (سال)	نیم محوری مداری	نیم محوری مداری	جسم
۷/۰۰	۰/۲۰۶	۴۷/۹	۱۱۵/۸۸	۸۷/۹۶۹	۰/۲۴۱	۵۸ ^d ۱۵ ^h	۵۷/۹	تیر

زهره	۰/۷۲۳	۱۰۸/۲	۲۴۳ ^d ۴h	۰/۶۱۵	۲۲۴/۷۰	۵۸۳/۹۲	۳۵/۰	۰/۰۰۷	۳/۳۹
زمین	۱/۰۰۰	۱۴۹/۶	۲۳ ^h ۵۶m	۱/۰۰	۳۶۵/۲۵۶	–	۲۹/۷۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰
مریخ	۱/۵۲۴	۲۲۷/۹	۲۴ ^h ۳۷m	۱/۸۸	۶۸۶/۹۸	۷۷۹/۹۴	۲۴/۱	۰/۰۹۳	۱/۸۵

جدول ۴: داده های مداری سیارات مشتری گون

انحراف مدار از	خروج از مرکز مداری	میانگین سرعت مداری km/s	دوره تناوب هلالی (روز)	دوره تناوب مداری (روز)	دوره تناوب چرخشی (سال)	نیم محور مداری 10^6 کیلومتر	نیم محور مداری AU	جسم
البروج	مداری							
۱/۳۰	۰/۰۴۸	۱۳/۱	۳۹/۸۹	–	۱۱/۸۶	۹ ^h ۵۰m	۷۷۸/۳	مشتری
۲/۴۸	۰/۰۵۳	۹/۶۴	۳۷۸/۱	–	۲۹/۴۶	۱۰ ^h ۳۹m	۱۴۲۹	زحل
۰/۷۷	۰/۰۴۳	۶/۸۳	۳۶۹/۷	–	۸۴/۱۰	۱۷ ^h	۲۸۷۱	اورانوس
۱/۷۷	۰/۰۱۰	۵/۵	۳۶۷/۵	–	۱۶۴/۸۶	۱۶ ^h ۳m	۴۴۹۸	نپتون

۲-تقسیم بندی بر اساس خصوصیات فیزیکی:

چهار سیاره تیر، زهره، زمین و مریخ را در یک تقسیم بندی دیگر، سیارات خاکی یا زمین گون گویند. این نامگذاری بدان خاطر است که ساختار فیزیکی آنها شبیه به زمین است. یعنی آنها دارای سطوحی سخت و صخره ای شامل کوه ها و دره ها هستند. چهار سیاره مشتری، زحل، اورانوس و نپتون را سیارات گازی یا مشتری گون می نامند. عمده ساختار این سیارات شبیه به مشتری، از هیدروژن و هلیوم است. با توجه به داده های جداول ۵ و ۶، می توان پاره ای از خصوصیات فیزیکی این دو گروه را مورد بررسی قرار داد.

- اگر قطر زاویه ای و همچنین فاصله ی زمین تا یک سیاره را بدانیم، قطر آن قابل محاسبه خواهد بود. یکی از تفاوت ها بین سیارات داخلی و خارجی، اختلاف در قطر آنهاست. چهار سیاره ی خارجی (مشتری گون) دارای قطری

بسیار بزرگ تر از سیارات داخلی (خاکی) هستند. همانطوری که از جدول ها مشاهده می شود مشتری با قطری بیشتر از ۱۱ برابر زمین، بزرگ ترین عضو منظومه، و تیر با قطری در حدود $0/383$ قطر زمین کوچک ترین آنها است.

- اگر سیارات دارای قمر باشند، با تعیین فاصله و سرعت گردش قمر به دور سیاره، می توان جرم آن را محاسبه نمود. برای سیاراتی که قمر ندارند، با فرستادن سفینه های فضایی به دور آنها می توان جرم مربوطه را محاسبه نمود. با مقایسه ی این اجرام در می یابیم که جرم مشتری گون ها، ده ها (یا صد ها) برابر سیارات خاکی است. برای مثال جرم سنگین ترین عضو منظومه یعنی مشتری، 318 برابر زمین است.
 - با داشتن جرم و قطر، می توان چگالی میانگین هر سیاره را محاسبه نمود. چگالی متوسط هر جسمی بستگی به مواد تشکیل دهنده در قسمت های مختلف آن دارد. به عنوان مثال برای زمین، چگالی متوسط هوا در سطح دریا حدود $1/2 \text{ kg/m}^3$ ، چگالی آب برابر 1000 kg/m^3 و این عدد برای یک قطعه ی بتونی حدود 2000 kg/m^3 است. زمین شناسان چگالی متوسط زمین را 5515 kg/m^3 برآورد می کنند. با توجه به این که سخت ترین سنگ های اکتشافی مربوط به سطح زمین دارای چگالی حدود 3000 kg/m^3 هستند، عدد 5515 kg/m^3 نشان می دهد که مواد تشکیل دهنده ی داخل زمین، چگال تر از سنگ های سخت شناخته شده در روی آن می باشد. اطلاعات فعلی، دانشمندان را به این نتیجه رسانده است که عمق زمین و همچنین بقیه ی سیارات خاکی، متشکل از فلزات سنگین (عمدتاً آهن و بعد نیکل) است.
- در نقطه مقابل، سیارات مشتری گون دارای چگالی متوسط پایین هستند. به عنوان مثال چگالی زحل کم تر از آب است. اطلاعات فعلی نشان می دهد که ترکیبات اصلی مشتری گون ها از عناصر سبک مثل هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. به طور کلی در مورد این سیارات می توان نتیجه گرفت که آنها دارای هسته هایی بزرگ متشکل از گازهای بسیار چگال می باشند که توسط لایه ای خارجی از گازهایی با چگالی کم پوشیده شده اند و ضخامت این لایه ها به هزاران کیلومتر می رسد.
- تمام سیارات منظومه به غیر از تیر و زهره دارای قمر هستند. به طور کلی تعداد قمر ها در سیارات زمین گون، کم و در مشتری گون ها زیاد است. تا کنون بیش از صد و شصت قمر در کل منظومه شناسایی گردیده که از این تعداد یک قمر مربوط به زمین، دو قمر به مریخ، حداقل شصت و سه قمر مربوط به مشتری، حداقل شصت و یک عدد مربوط به زحل و تعداد، بیست و هفت و سیزده عدد به ترتیب، مربوط به اورانوس و نپتون می باشند. لازم به ذکر است که از میان اقمار منظومه ی شمسی، هفت قمر دارای ابعادی به اندازه ی سیاره تیر هستند. جدول ۷ و شکل ۱۰ اسامی و مشخصات این قمرها را بیان می کنند.

جدول ۵: داده های فیزیکی سیارات زمین گون

سرعت فرار km/s	گرانش سطحی (زمین)	ضریب بازتاب	انحراف استوا (درجه)	چگالی میانگین kg/m^3 قمر ها	تعداد	قطر کیلومتر (زمین)	جرم کیلوگرم 10^{23}	جرم (جرم زمین)	جسم
---------------------	-------------------------	----------------	---------------------------	---	-------	--------------------------	-----------------------------	-------------------	-----

۴/۳	۰/۳۸	۰/۱۲	۰/۵	۵۴۳۰	۰	۴۸۸۰	۰/۳۸۳	۳/۳۰۲	۰/۰۵۵	تیر
۱۰/۴	۰/۹۱	۰/۵۹	۱۷۷/۴	۵۲۴۳	۰	۱۲۱۰۴	۰/۹۴۹	۴۸/۶۸	۰/۸۱۵	زهره
۱۱/۲	۱/۰۰	۰/۳۹	۳۲/۵۴	۵۱۵۵	۱	۱۲۷۵۶	۱/۰۰۰	۵۹/۷۴	۱/۰۰۰	زمین
۵/۰	۰/۳۸	۰/۱۵	۲۵/۱۹	۳۹۳۴	۲	۶۷۹۴	۰/۵۳۳	۶/۴۱۸	۰/۱۰۷	مریخ

جدول ۶: داده های فیزیکی سیارات مشتری گون

سرعت فرار km/s	گرانش سطحی (زمین)	ضریب بازتاب	انحراف استوا (درجه)	چگالی میانگین kg/m^3	تعداد قمرها	قطر کیلومتر (زمین)	جرم کیلوگرم 10^{23}	جرم (جرم زمین)	جسم
۶۰/۲	۲/۳۶	۰/۴۴	۳/۱۲	۱۳۲۶	۳۸	۱۴۲۹۸	۱۱/۲۰۹	۱۸۹۹۰	مشتری
۳۵/۵	۱/۱	۰/۴۷	۲۶/۷۳	۶۸۷	۳۰	۱۲۰۵۳	۹/۴۴۹	۵۶۸۵	زحل
۲۱/۳	۰/۹۲	۰/۵۶	۹۷/۸۶	۱۳۱۸	۲۱	۵۱۱۱۸	۴/۰۰۷	۸۶۸/۲	اورانوس
۲۳/۵	۱/۱	۰/۵۱	۲۹/۵۶	۱۶۳۸	۸	۴۹۵۲۸	۳/۸۸۳	۱۰۲۴	نپتون



شکل ۱۰: هفت قمر غول پیکر که دارای ابعادی به اندازه ی سیاره ی تیر هستند.

جدول ۷: هفت قمر غول پیکر

سیاره مادر	ماه	یو	اروپا	گانیمد	کالیستو	تیتان	تریون
زمین	مشتری	مشتری	مشتری	مشتری	مشتری	زحل	نپتون

قطر (کیلو متر)	۳۴۷۶	۳۶۴۲	۳۱۳۰	۵۲۶۸	۴۸۰۶	۵۱۵۰	۲۷۰۶
جرم (کیلو گرم)	$7/35 \times 10^{22}$	$8/93 \times 10^{22}$	$4/80 \times 10^{22}$	$1/48 \times 10^{23}$	$1/08 \times 10^{23}$	$1/34 \times 10^{23}$	$2/15 \times 10^{22}$
چگالی میانگین (kg/m^3)	۳۳۴۰	۳۵۳۰	۲۹۷۰	۱۹۴۰	۱۸۵۰	۱۸۸۰	۲۰۵۰
جو قابل توجه	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد

به طور کلی می توان تفاوت های سیارات داخلی و خارجی را در جدول ۸ خلاصه کرد.

جدول ۸: تفاوت سیارات مشتری گون و زمین گون

سیارات مشتری گون	سیارات زمین گون
دور از خورشید	نزدیک به خورشید
گسترده گی مداری زیاد	مدارهای نزدیک به هم
جرم کم	جرم زیاد
شعاع زیاد	شعاع کم
سطح غیر جامد	سطح جامد
گاز غالب	صخره غالب
چگالی کم	چگالی زیاد
چرخش سریع	چرخش کند
میدان مغناطیسی قوی	میدان مغناطیسی ضعیف
تعداد زیادی قمر	تعداد کمی قمر
تعدادی حلقه	حلقه ندارند

جو سیارات

بررسی های طیفی مربوط به سیارات منظومه شمسی نشان می دهد که به غیر از تیر، هفت سیاره دیگر دارای جو می باشند. جو سیارات مشتری گون اغلب از گازهای سبک (هیدروژن و هلیوم) و سیارات زمین گون از عناصر سنگین تر مانند اکسیژن، نیتروژن (در زمین) و دی اکسید کربن (در زهره و مریخ) تشکیل یافته است.

اما چرا بعضی از سیارات (یا اقمار) منظومه شمسی جو دارند و برخی از آنها ندارند؟ و سؤال مهم تر این که چه عواملی در ساختار جو این اجسام مؤثر هستند؟

در پاسخ به این پرسش ها باید به دو عامل مؤثر اشاره کرد: گرانش و دمای میانگین سطحی.

گرانش باعث می شود که مولکول ها و اتم ها در جو سیارات (یا اقمار) باقی مانده و نتوانند از این ناحیه فرار کنند. عامل مهم دیگر، انرژی جنبشی ذرات موجود در جو است که بستگی مستقیم به دمای سطحی سیاره دارد. اگر تنها گرانش بر روی ذرات اثر می کرد، در نتیجه آن باید در دراز مدت این عناصر به سطح می رسیدند. اما گرمای موجود در جو (ناشی از نور خورشید)

باعث حرکت سریع مولکول ها (یا اتم ها) شده و این حرکات کاتوره ای باعث می شود در لایه های مختلف فشاری در مقابل نیروی گرانش ایجاد شود که همین باعث پایداری جو در برخی از سیارات می گردد.

از نظریه جنبشی گازها مقدار سرعت میانگین عناصر یک گاز برابر است با

$$V = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$$

در این رابطه V سرعت میانگین، k ثابت بولتزمن برابر $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ، T دما بر حسب کلوین و M جرم اتم یا مولکول است.

از طرفی ذراتی که دارای انرژی جنبشی هستند در شرایطی می توانند تحت گرانش یک جرم (مثلاً سیاره یا ستاره) قرار داشته باشند که سرعت آن ها از سرعت فرار کمتر باشد.

همان گونه که می دانیم، مقدار سرعت فرار برای سیاره ای به جرم M و شعاع R برابر است با:

$$V_{\text{فرار}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

G مقدار ثابت گرانش برابر $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ است.

مثلاً سرعت فرار زمین 11.2 کیلومتر بر ثانیه است. بنابراین ماهواره ای که بخواهد به فضا پرتاب شود باید با سرعتی بیش از این مقدار از زمین خارج گردد.

با توجه به آماری بودن سرعت میانگین حرارتی و بر اساس تحقیقات تجربی، اگر شش برابر سرعت میانگین ذرات تشکیل دهنده ی جو از سرعت فرار کمتر باشد، آنها در این لایه باقی می مانند. به عنوان مثال سرعت میانگین مولکول های اکسیژن در جو زمین 0.478 کیلومتر بر ثانیه است. شش برابر آن از سرعت فرار برای سیاره زمین (11.2 کیلومتر بر ثانیه) کمتر است. بنابراین اکسیژن در این لایه باقی می ماند.

همان طوری که انتظار می رود دمای هر سیاره بستگی به فاصله آن از خورشید دارد. بر این اساس چهار سیاره زمین گون (داخلی) کاملاً گرم هستند. مثلاً دمای روز در تیر و مریخ در روزهای تابستان به ترتیب به 427 و 17 درجه سانتیگراد می رسد. این در حالی است که سیارات مشتری گون (خارجی) به علت دوری از خورشید سردترند، به طوری که دمای ابرهای بالایی مشتری در حدود $148-$ درجه سانتیگراد و برای نپتون، حدوداً $28-$ درجه گزارش شده است.

با توجه به رابطه $V = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$ ، هر چه دمای گاز بیشتر باشد و مولکول ها (یا اتم های) موجود در آن سبک تر باشند، سرعت آن ها بالاتر می رود، بنابراین دمای سطحی بالا در سیاره های زمین گون باعث می شود که در جو آنها عناصر سبک مانند هیدروژن و هلیوم وجود نداشته باشد. با توجه به ساختار سیاره های زمین گون مولکول های سنگین تر مانند CO_2 ،

O_2 ، N_2 و بخار آب (در زمین) در جو آن ها یافت می شود. برعکس در مشتری گون ها دمای کم و گرانش نسبتاً قوی باعث می شود که حتی مولکول های سبک هیدروژن و هلیوم هم قادر به فرار نباشند. به همین خاطر جو این سیاره ها بسیار گسترده شده است، به طوری که جرم جو مشتری یک میلیون برابر جو زمین است.

دسته بندی تعدادی از اجسام کوچکی که حول خورشید حرکت مداری دارند:

علاوه بر هشت سیاره ی منظومه ی شمسی تعدادی دیگر از اجسام آسمانی نیز وجود دارند که همانند سیارات به دور خورشید گردش می کنند. معمولاً آنها را به دو گروه تقسیم می کنند: سیارک ها، اجسام فرا نپتونی.

• سیارک ها:

سیارک ها اجرامی صخره ای هستند که درون منظومه یافت می شوند و مدار آنها بین مدار مریخ و مشتری قرار دارد. جهت گردش سیارک ها به دور خورشید مانند سیارات است. این اجسام تفاوت ساختاری با سیاره های (زمین گون) ندارند، اما به لحاظ اندازه، دارای ابعادی کوچک تر از آنها می باشند. به همین خاطر آنها را سیارات کوچک نیز می نامند. بزرگ ترین سیارک رصد شده **سیرس** نام دارد که قطر آن در حدود ۹۰۰ کیلومتر است. تا به حال صدها هزار سیارک، با ابعادی در حدود چند کیلومتر شناسایی شده است. همچنین احتمال می رود که در آینده و با پیشرفت وسایل رصدی تعداد زیادی از این اجسام، در ابعادی کوچک تر قابل شناسایی باشند. بیشتر سیارک ها در ناحیه ی دایره ای شکل موسوم به کمربند سیارکی به شعاع داخلی ۲ و شعاع خارجی ۳٫۵ واحد نجومی از خورشید واقع شده اند.

• اجسام فرا نپتونی:

اجرامی صخره ای- یخی هستند که به لحاظ آن که خارج از هشت سیاره موجود در منظومه شمسی و فراتر از نپتون جای دارند به این عنوان نامیده می شوند. این اجسام نیز هم جهت با سیاره ها به دور خورشید می گردند. جدول ۹ مشخصه هفت عدد از بزرگ ترین آنها را نشان می دهد. همان طور که شکل ۱۱ نیز نشان می دهد از میان آنها ابعاد اریس از همه بزرگ تر است. تا سال ۱۹۹۲ میلادی بالغ بر ۹۰۰ جسم فرا نپتونی رصد شده و این تعداد هر ساله رو به افزایش است.

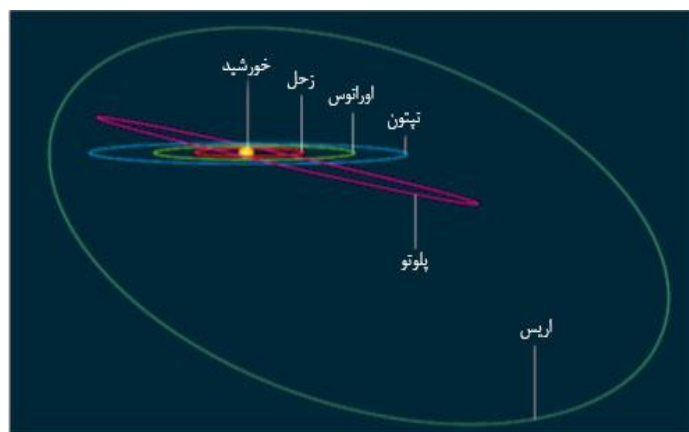
معروف ترین عضو این گروه پلوتو نام دارد که در سال ۱۹۳۰ کشف شد و ابتدا تصور می شد که این جسم، قمر نپتون است. پلوتو با قطری در حدود ۲۲۷۴ کیلومتر، از سیارات کوچک تر و از سیارک ها بزرگ تر است. مدار حرکت این جسم، با صفحه ی دایره البروج زاویه ۱۷/۱۵ درجه می سازد. این مدار بیضی شکل، دارای خروج از مرکز ۰/۲۵ و قطر اطول ۳۹/۵۴ واحد نجومی است (جدول ۹). به علت کشیدگی مدار پلوتو، این جسم بعضی اوقات از نپتون به خورشید نزدیک تر می شود (شکل ۱۲). پلوتو با چگالی متوسط حدود 2000 kg/m^3 ، شامل ۷۰٪ صخره و ۳۰٪ یخ می باشد. تا سال ۲۰۰۶ میلادی پلوتو به عنوان نهمین سیاره منظومه شناخته می شد اما به علت ساختار صخره ای- یخی این جسم، اتحادیه ی ستاره شناسان آن را از فهرست سیارات خارج نمود.

جدول ۹: هفت تا از بزرگ ترین اجسام فرا نپتونی

اريس	Charon فضایمى پلوتو	پلوتو	FY9 2500	سدنا	EL61 ۲۰۰۳	Quaoar	
۶۷/۶۷	۳۹/۵۴	۳۹/۵۴	۴۵/۷۱	۴۸۹	۴۳/۳۴	۴۳/۵۴	فاصله ی میانگین ازخورشید (AU)
۵۵۷	۲۴۸/۶	۲۴۸/۶	۳۰۹	۱۰۸۰۰	۲۸۵	۲۸۷	دوره ی تناوب مداری (سال)
۰/۴۴۲	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۱۵۵	۰/۸۴۴	۰/۱۸۹	۰/۰۳۵	خروج از مرکز مداری
۴۴/۲	۱۷/۱۵	۱۷/۱۵	۲۹/۰	۱۱/۹	۲۸/۲	۸/۰	انحراف مدار از دایرة البروج (درجه)
۲۹۰۰	۱۱۹۰	۲۲۴۷	۱۸۰۰	۱۶۰۰	۱۵۰۰	۱۲/۵۰	قطر تقریبی (km)



شکل ۱۱: هفت تا از بزرگ ترین اجسام فرا نپتونی



شکل ۱۲: مدار حرکت پلوتو و اریس با دیگر اجسام تفاوت دارد

همان گونه که بیشتر سیارک ها (و نه همه) در کمربند سیارکی قرار دارند، تعداد زیادی از اجرام فرانپتونی نیز در ناحیه ای به نام کمربند کایپر قرار دارند. این ناحیه، کمربندی است به مرکزیت خورشید و شعاع داخلی ۳۰ و شعاع خارجی ۵۰ واحد نجومی.

نظیر سیارک ها تعداد زیادی از اجسام فرانپتونی هنوز شناسایی نگردیده اند. ستاره شناسان برآورد می کنند که درآینده حدود ۳۵۰۰۰ عدد از آنها با قطری بالغ بر ۱۰۰ کیلومتر قابل شناسایی خواهند بود. اگر چنین پیش بینی محقق گردد، مجموع جرم تمام اجرام فرانپتونی منظومه، برابر جرم سیاره ی مشتری خواهد بود و این چند صد برابر جرم سیارک هایی است که تا کنون کشف گردیده است.

واقعیت آن است که اجرام فرانپتونی همانند سیارک ها، خرده های باقی مانده از شکل گیری منظومه ی شمسی هستند. اما سیارک ها (با ساختار صخره ای)، درون منظومه واقع شده اند و قادر هستند انرژی تابشی حاصل از خورشید را تحمل کنند. بسیار دورتر از خورشید در محل کمربند کایپری، بعد از گذشت چندین میلیارد سال از شکل گیری منظومه، هنوز این امکان هست که یخ وجود داشته باشد. به همین دلیل این اجرام دارای ساختار صخره ای-یخی هستند. توجه داشته باشید که همانند سیارات، باقیمانده ی منظومه شمسی شامل سیارک ها و اجرام فرانپتونی، بر اساس فاصله تا خورشید طبقه بندی شده اند.

دنباله دارها و شهاب سنگ ها:

به غیر از سیارک ها و اجرام فرانپتونی دو گروه دیگر از اجسام، در بین هشت سیاره ی منظومه ی شمسی یافت می شوند که به خرده جرم های بین سیاره ای معروف هستند و آنها عبارتند از دنباله دارها و شهاب سنگ ها. فراوانی سیارک ها در کمربند سیارکی باعث می شود که تعداد زیادی برخورد بین آنها اتفاق بیفتد. خرده های باقیمانده ی ناشی از این برخوردها شهاب سنگ نامیده می شود. مسیر حرکت این اجسام لزوماً در کمربند سیارکی نخواهد بود و ممکن است مسیرهای بیضی شکلی با کشیدگی زیاد و به مرکزیت خورشید پیدا کنند. به طور مشابه همین اتفاق برای اجرام فرانپتونی می افتد که نتیجه ی برخورد آنها با یکدیگر دنباله دارها (با مسیرهایی به شکل بیضی) خواهند بود. هنگامی که این

اجرام به خورشید نزدیک می شوند، یخ موجود در ساختار آنها بخار شده و باریکه ی درخشان ناشی از بخار گاز در عقب این اجسام شکل می گیرد که به همین علت آنها را دنباله دار گویند (شکل ۱۳).



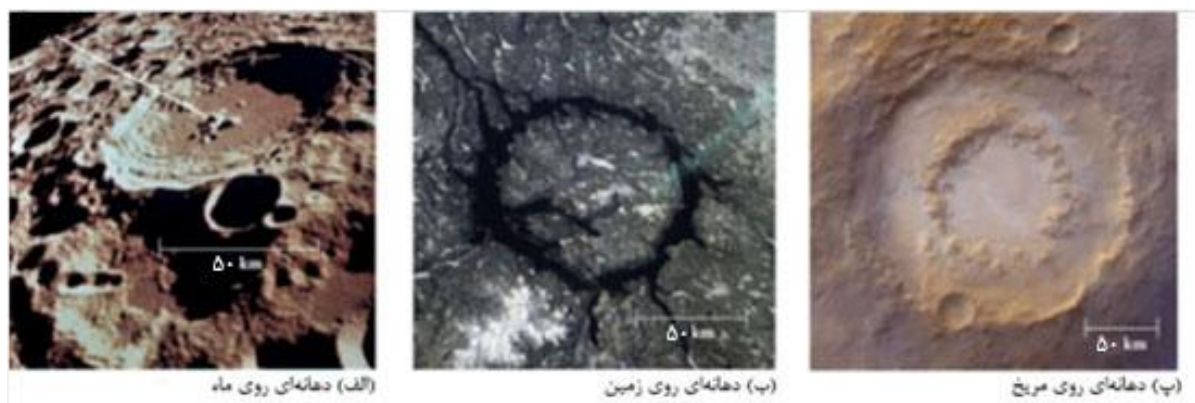
شکل ۱۳: سیارک ها و دنباله دارها: سیارک ها و شهاب واره ها عمدتاً از مواد سنگی تشکیل شده اند. سیارک متالیدی (شکل الف) در حدود ۵۲ کیلومتر طول دارد. این عکس توسط فضا پیمای NEAR (شکل ب) گرفته شده است. شکل ج دنباله دار هالی در سال ۱۹۹۷ در نزدیک ترین فاصله از خورشید را نشان می دهد (NASA).

دهانه های برخورد:

یکی از مسائل مهم در مطالعه ی سیارات زمین گون و همچنین قمرهای خاکی موجود در منظومه، چگونگی تعیین ساختار داخلی این اجرام است. پرسش هایی از این قبیل که، آیا آنها دارای ساختاری مایع یا جامد هستند؟ و در صورت مایع بودن، آیا این مایع متحرک است؟

سیارات خاکی و قمرها، اجسامی غیر منیر هستند، بنابراین نمی توان از طریق طیف سنجی به ساختار آنها پی برد. اما مطالعه ی دهانه های به جا مانده بر روی سطوح این اجرام ما را به سر نخ هایی می رساند تا اطلاعات مهمی در مورد درون آنها به دست آوریم. در این راستا ابتدا باید دانست که این دهانه ها چگونه شکل می گیرند؟

همان طوری که گفته شد علیرغم آن که هشت سیاره ی منظومه ی شمسی دارای مسیرهای تقریباً دایره ای شکل به دور خورشید هستند؛ اما تعدادی از سیارک ها، دنباله دارها و همچنین شهاب سنگ ها دارای مسیرهای به شکل بیضی هستند. حرکت این اجرام در مسیرهای کشیده، باعث برخورد آنها با سیارات و یا قمرها خواهد شد. بدیهی است که اگر این اجرام با سیارات مشتری گون برخورد کنند توسط جو غلیظ آنها بلعیده می شوند و اثری به جا نمی گذارند. اما برخورد آنها با سطوح سیارات زمین گون و یا قمرهای خاکی، اثراتی را به جا می گذارد که به "دهانه های برخوردی" موسوم هستند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ دهانه های برخوردی: تصاویر گرفته شده توسط فضاپیما نشان دهنده ی دهانه های برخوردی روی سطح ماه، زمین و مریخ است. (الف) دهانه های سطح ماه دارای اندازه های متفاوتی هستند دهانه ی بزرگ وسط شکل قطری در حدود ۸۰ کیلومتر دارد. (ب) آبگیر مانی کواگان در کبک بازمانده ی دهانه ی است که ناشی از برخوردی است که حدوداً بیش از دویست میلیون سال قبل ایجاد شده است. این دهانه در طول سال ها به خاطر پیشروی و پسروی یخچال ها دچار فرسایش شده و دریاچه ای حلقوی به عرض ۱۰۰ کیلومتر به جای گذاشته است. (پ) عرض دهانه ی لاول در منطقه ی کوهستانی جنوبی مریخ ۲۰۱ کیلومتر است. مشابه شکل ماه در قسمت (الف) دهانه هایی روی دهانه ها ی دیگر قرار دارد.

اگر با یک تلسکوپ ساده و یا حتی دوربین دوچشمی به سطح ماه نگاه کنید، به طور تقریبی در حدود ۳۰۰۰۰ دهانه با قطری بین یک تا چند صد کیلومتر خواهید دید. دهانه هایی با این ابعاد، مربوط به برخورد سیارک ها و یا دنباله دارها هستند. اما تصاویر ارسال شده از طریق ماهواره هایی که در مدار ماه قرار می گیرند حاکی از وجود میلیون ها دهانه با ابعادی بسیار کوچک تر از آن است که از زمین قابل مشاهده باشند. اندازه ی کوچک آنها (در حدود چند صد متر)، نشان از برخورد شهاب سنگ ها با سطح ماه دارد.

همانطوری که شکل ۱۶ نشان می دهد، دهانه های برخوردی غالباً به شکل دایره ای هستند، اما با توجه به این که جهت برخورد همیشه مستقیم نیست، این پرسش پیش می آید که چرا اکثر آنها دایره ای هستند؟ دانشمندان بر این باورند که شهاب سنگ ها در برخورد با سطوح سیارات خاکی و قمرها، تولید امواج ضربتی می نمایند. این امواج بدون توجه به جهت برخورد عامل به وجود آورنده ی خود، دهانه های دایره ای شکل تولید می نمایند.

به هر حال رصدهای دقیق از سیارات خاکی و قمرهای منظومه ی شمسی نشان دهنده ی این واقعیت است که تعداد و همچنین نوع دهانه ها در این اجرام، به طور قابل توجهی با هم تفاوت دارند. برای نمونه، سطح ماه دارای تعداد زیادی دهانه است که برخی از آنها بسیار عمیق هستند و حتی درون بعضی از آنها باز دهانه وجود دارد (شکل الف). این در حالی است که دهانه های روی سطح زمین هم از نظر شکل و هم به لحاظ تعداد، نسبت به ماه بسیار متفاوت است.

با توجه به این که زمین و ماه تقریباً در یک زمان شکل گرفته اند، چرا تعداد این دهانه ها بسیار متفاوت است؟

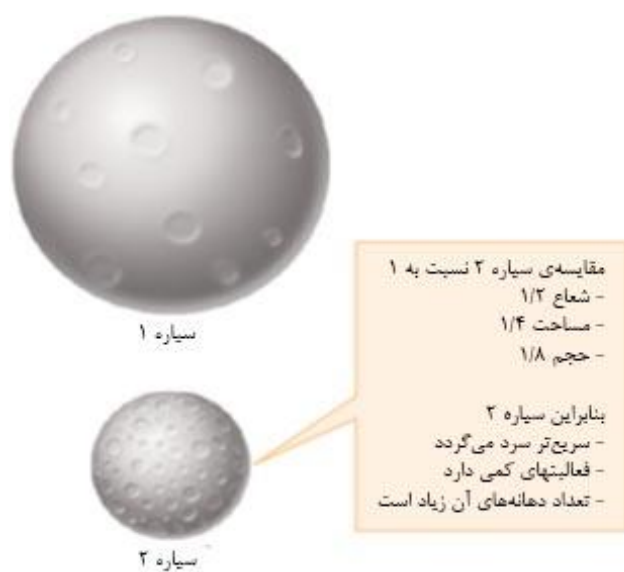
کلی ترین پاسخ به این پرسش این است که زمین از نظر ساختار داخلی یک سیاره ی فعال به شمار می آید.

تغییرات زیادی که از ادوار گذشته تا به حال در سطح زمین مشاهده شده، نشان دهنده ی فعال بودن این کره خاکی است. در نقاطی، مواد جدید از داخل به سطح آمده و سطوح قدیمی به داخل فرو رفته است (در انفجار یک آتشفشان این اتفاق می افتد). در بعضی قسمت ها سطوح دچار رانش می گردند و شکل عوض می کنند. علاوه بر این فرایندها، فرسایش ناشی از جو (باد و باران) و همچنین حرکت آب های زمین، باعث می شوند که دهانه های موجود، در دوره های زمانی بلند مدت

شکل عوض کنند و یا کاملاً از بین بروند. در حال حاضر تعداد آنها بروی کره خاکی ما کم تر از ۲۰۰ عدد می باشد، که این تعداد کم ناشی از برخوردهایی است که در دهه های اخیر اتفاق افتاده و فرآیندهای طبیعی زمین هنوز فرصت از بین بردن آنها را نداشته است.

بر خلاف زمین، ماه از نظر ساختاری غیر فعال می باشد. سطح ماه، هیچ گونه نداشته و دارای آب های سطحی و آتشفشان نیست. علاوه بر آن، دچار فرسایش نمی گردد زیرا فاقد جو است. نتیجه آن که سطح ماه دارای تعداد زیادی دهانه می باشد. به طور کلی، سیاره ی خاکی (یا قمر) هنگامی فعال به شمار می آید که حاوی مقادیری ماده مذاب در قسمت های درونی خود باشد. به عبارت دیگر عامل اصلی تغییر شکل سطوح، مقدار ماده مذاب داخلی است. این مواد باعث شکافت قسمت هایی از سطح سیاره می شوند و سپس از طریق فوران های آتشفشانی به سطح می آیند. بنابراین در سیاره هایی که از نظر ساختاری غیر فعال هستند (و به طبع آن تعداد زیادی دهانه دارند) انتظار داریم که درون آنها دارای مواد مذاب نباشند و یا مقادیر کمی داشته باشند.

اما چرا ماده ی مذاب داخلی ماه خیلی کم تر از زمین است؟ برای پاسخ به این پرسش باید به این نکته توجه داشت که یک سیاره (یا قمر) انرژی داخلی خود را از طریق تابش الکترومغناطیس (معمولاً در نواحی طول موج های بلند) از دست می دهد. اگر دو سیاره، که مثلاً شعاع یکی نصف شعاع دیگری است را با هم مقایسه نماییم، به راحتی می توان دریافت که نسبت کوچک شدن حجم نسبت به سطح در سیاره ی کوچک تر، بیشتر است. بنابراین سیاره کوچک تر سریع تر انرژی داخلی خود را از دست می دهد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷ اندازه ی سیاره و دهانه: با نصف شدن شعاع سیاره ۲، حجم آن نسبت به سیاره ۱، یک هشتم می شود. بنابراین سیاره ی کوچک تر گرما را سریع تر از دست داده، درون خنک تری دارد و در نتیجه فعالیت کمتری (دهانه های بیشتری) دارد.

دانشمندان بر این عقیده اند که ماه و زمین در زمان شکل گیری، هر دو به صورت کره هایی مذاب بوده اند، اما به خاطر آن که ماه (با قطر ۳۴۷۶ کیلومتر) کوچک تر از زمین (با قطر ۱۲۷۵۶ کیلومتر) است، بنابراین گرمای خود را سریع تر از دست داده و به ساختار داخلی جامد رسیده است.

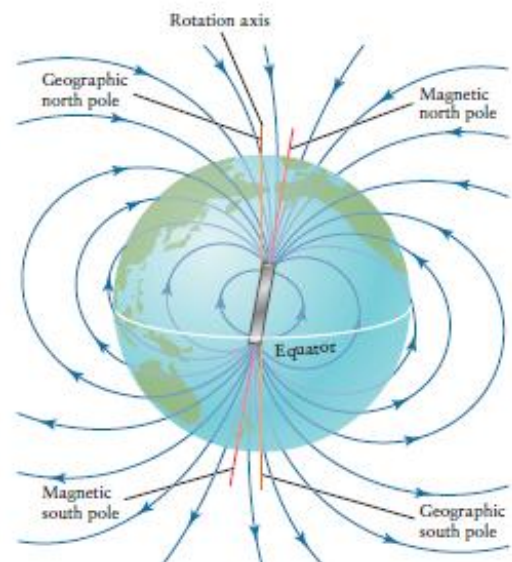
به عنوان نتیجه گیری می توان بیان کرد که کوچکی سیاره خاکی (یا قمر) دلیل بر آن است که زودتر گرمای داخلی اش را از دست داده و از نظر ساختاری غیر فعال شده است. در این شرایط، تعداد و سن دهانه های آن بیشتر می شود. علی الاصول از

روی دهانه های موجود بر روی یک سیاره خاکی (یا قمر) می توان به قدمت سطح و فعالیت داخلی آن پی برد. برای مثال تیر دارای تعداد زیادی دهانه می باشد. این بدان خاطر است که این سیاره کوچک ترین عضو منظومه شمسی بوده و بنابراین خیلی زود غیر فعال شده است. از طرف دیگر، زهره تقریباً هزار دهانه با قطری در حدود چند کیلومتر دارد که این تعداد پنج برابر دهانه های روی زمین و تنها کسر کوچکی از دهانه های موجود در تیر است. زهره به دلیل کوچک تر بودن از زمین، یک سیاره ی فعال می باشد که قادر است سطح خود را ترمیم کند.

اما مریخ تنها سیاره ی خاکی است که دارای سطح غیر معمول می باشد. علیرغم آن که این سیاره دارای دهانه های عمیق بر روی نواحی بلند از سطح خود است، اما سطوح کم ارتفاع آن کاملاً صاف و بدون دهانه می باشند (شکل ۱۶ پ). صرف نظر از این شکل غیر معمول، تعداد کل دهانه های مریخ کمتر از تیر و بیشتر از زمین است که البته این با قاعده کلی که بیان گردید همخوانی دارد، زیرا ابعاد مریخ بین تیر و زمین است. و شاید علت آن که سطح مریخ دارای شکلی غیر معمول بوده این است که ماده مذاب داخلی، انرژی لازم برای رسیدن به سطوح بالایی را ندارد و فقط نواحی پست را ترمیم می کند.

میدان مغناطیسی:

همان طور که در قسمت قبل ذکر شد تعداد دهانه های برخوردی بر روی سطح سیاره، نشان دهنده ی وجود ماده مذاب در داخل آن است. راه دیگر پی بردن به وجود این ماده مذاب استفاده از یک قطب نما جهت شناسایی میدان مغناطیسی در اطراف سیاره است. در واقع شدت این میدان ارتباط مستقیم با میزان ماده ی داخلی دارد. برای تشریح این ارتباط کارکرد قطب نمای مغناطیسی را روی زمین در نظر بگیرید. عقربه قطب نما در راستای میدان مغناطیسی زمین و در جهت قطب شمال زمین قرار می گیرد (شکل ۱۸). از نظریه الکترومغناطیس می دانیم که در اطراف یک حلقه حامل جریان و به علت حرکت بارهای آزاد، میدان مغناطیسی تولید می شود که خطوط آن مانند میدان ناشی از یک آهن ربای میله ای است.



شکل ۱۸- میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین

زمین شناسان بر این عقیده اند که میدان اطراف زمین به علت حرکت مایع مذاب داخلی پدید می آید. حرکت چرخشی کره زمین باعث حرکت دورانی الکترون های آزاد موجود در آهن گردیده و این حرکت الکترون ها، به نوبه خود باعث تولید میدان مغناطیسی می شود. چنین فرآیندی اصطلاحاً پدیده دینامو نامیده می شود. برای سیاره یا قمر هایی که قسمت های داخلی آنها جامد باشد، این پدیده رخ نداده و در نتیجه جسم دارای میدان مغناطیسی سراسری نمی باشد. به عنوان مثال تعداد زیاد دهانه های برخوردی بر روی سطح ماه نشان می دهد که این قمر غیر فعال بوده و بنابراین اعماق داخلی آن جامد است. اندازه گیری هایی که توسط سفینه آپولو بین سال های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۲ میلادی، از سطح ماه انجام گرفته است، این واقعیت را تأیید می کند که در حال حاضر ماه میدان مغناطیسی سراسری ندارد.

درون سیاره (یا قمری) که دارای میدان مغناطیسی سراسری باشد، مایع مذاب (رسانا) در حال چرخش وجود دارد. تعداد دهانه های برخوردی در چنین جسمی کم بوده و از نظر ساختاری فعال به شمار می آید.

بنابراین بررسی میدان مغناطیسی در اطراف سیاره ها راهی برای کسب اطلاعات از درون آنها خواهد بود. اندازه گیری های انجام شده توسط دستگاه های مغناطیس سنج که بر روی ماهواره های تحقیقاتی نصب گردیده نتایج قابل توجهی را در پی داشته است. این اندازه گیری ها نشان می دهد که شدت میدان سراسری تیر یک صدم زمین است. سطح تیر با تعداد زیاد دهانه های برخوردی دلیل فعالیت اندک این سیاره است. میدان ضعیف اطراف آن، این واقعیت را تأیید می کند که درون آن مقدار کمی ماده مذاب وجود دارد.

اگر چه نتایج اندازه گیری میدان مغناطیسی تیر با اثر دینامو در تطابق کامل است، اما زهره میدان مغناطیسی قابل توجهی ندارد. این در حالی است که تعداد کم دهانه های برخوردی روی سطح این سیاره نشان از فعال بودن (وجود ماده مذاب داخلی) دارد. یکی از علت های احتمالی برای عدم وجود میدان در این سیاره چرخش کند آن به دور خود است (هر ۲۴۳ روز یک مرتبه). در نتیجه این حرکت کند، مواد مذاب درونی تحرک چندانی برای تولید میدان ندارند.

مریخ همانند زهره میدان سراسری ندارد، اما ماهواره مغناطیس سنجی که در سال ۱۹۹۷ میلادی به این سیاره فرستاده شد، وجود میدان مغناطیسی موضعی را در نقاط مرتفع واقع در نیم کره جنوبی آن گزارش کرد. وجود دهانه های قدیمی در این مناطق نشان دهنده ی شکل گیری آنها در زمان های دور بوده است. احتمالاً این دهانه ها باقی مانده از دورانی است که درون مریخ داغ و مذاب بوده و در این سیاره میدان مغناطیسی سراسری وجود داشته است. با گذشت زمان و سرد شدن تدریجی، میدان سراسری از بین رفته، اما برخی از مواد سطح در اثر این میدان قوی خاصیت مغناطیسی پیدا کرده اند. این خاصیت در طی دوران حفظ شده و اکنون این اثرات موضعی را از خود نشان می دهند. لازم به ذکر است در مناطق کم ارتفاع و جوان این سیاره هیچ میدانی گزارش نگردیده است. این واقعیت نیز این مطلب را تأیید می کند که در هنگام شکل گیری این مناطق جوان میدان سراسری مریخ باید از بین رفته باشد (چنین شرایطی در ماه نیز وجود دارد).

مشتری با میدانی که شدت آن حدود ۱۴ برابر زمین است قوی ترین میدان مغناطیسی در بین سیارات منظومه شمسی را دارا می باشد. این سیاره بر خلاف زمین دارای هسته آهنی نمی باشد و عمدتاً از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. با این حال عامل تشکیل این میدان قوی نیز پدیده دینامو است. در واقع هیدروژن مسئول به وجود آمدن این پدیده می باشد. می دانیم که هیدروژن دارای یک الکترون و یک پروتون است. فشار بسیار بالا در قسمت های داخلی مشتری باعث فشردگی اتم های هیدروژن گردیده، این تراکم اتمی باعث می شود که الکترون ها بتوانند از یک اتم به دیگر جهش کنند (مانند دریای

الکترون در اتم های فلزی) و نقش رسانندگی ایفا نمایند. به عبارت دیگر هیدروژن فشرده در اعماق این سیاره مانند رسانای فلزی رفتار می کند، به همین خاطر به آن هیدروژن فلزی مایع گویند.

تجربه ی آزمایشگاهی نشان می دهد که هیدروژن هنگامی به حالت فلزی مایع در می آید که تحت فشاری بالغ بر $1/4$ میلیون برابر فشار جو زمین قرار گیرد. محاسبات نشان می دهد این شرایط در عمق 7000 کیلومتری زیر ابرهای مشتری برقرار بوده و از آن جا که بیشتر جرم عظیم این سیاره پایین تر از این عمق است، بنابراین مقدار بسیار زیادی هیدروژن فلزی مایع در داخل مشتری قرار دارد. از طرف دیگر چرخش تند این سیاره به دور خودش (در کمتر از 10 ساعت) باعث حرکت سریع این مایع گردیده و میدان مغناطیسی پرقدرتی را به وجود می آورد.

زحل نیز به خاطر وجود هیدروژن فلزی در اعماق خود دارای میدان مغناطیسی است. به علت کوچک بودن این سیاره (نسبت به مشتری) و در نتیجه کاهش فشار درونی، مقدار هیدروژن فلزی مایع در این سیاره کمتر بوده و بنابراین شدت میدان مغناطیسی زحل در مقایسه با مشتری کمتر است.

اورانوس و نپتون هم میدان مغناطیسی دارند، اما عامل آنها هیدروژن فلزی نیست، زیرا اندازه این سیاره ها نسبت به دو سیاره دیگر کوچک است بنابراین فشار درونی لازم برای فلزی کردن هیدروژن را ندارند. اما مطالعات نشان می دهد که این دو سیاره مقدار زیادی آب مایع در درون خود دارند. این آب با عناصر دیگر نظیر آمونیاک موجود در این سیاره، ترکیب می شوند. مولکول های حل شده در آب تحت فشار نسبتاً بالا یک یا چند الکترون از دست داده و یونیزه می شوند. آبی که چنین مولکول های یونیزه ای داشته باشد رسانای الکتریکی گردیده و در اثر چرخش سیاره باعث به وجود آمدن میدان مغناطیسی می شود.

فصل چهارم:

سیاره ی ما

زمین

اهداف فصل:

با مطالعه این فصل قادر خواهید بود :

- خواص کلی سیاره زمین را خلاصه کنید.
- اثر گلخانه ای اهمیت آن برای حیات موجودات را توضیح دهید.
- ساختار درونی زمین را بشناسید.
- توضیح دهید میدان مغناطیسی زمین چگونه حیات ساکنین را محافظت می کند.
- توصیف کنید که چگونه ماه و خورشید آبهای سطحی را تحت تاثیر قرار می دهند.

جدول ۱: ویژگی های زمین

نیم محور مداری	
فاصله متوسط از خورشید	۱۴۹۶۰۰۰۰ Km
	۱/۰۰۰ AU
بیشترین فاصله از خورشید (اوج)	۱۵۲۱۰۰۰۰ Km
	۱/۰۱۷ AU
کمترین فاصله از خورشید (حضیض)	۱۴۷۱۰۰۰۰ Km
	۰/۹۸۳ AU
تمایل مدار نسبت به دایرة البروج	۵/۱۵ درجه
آلبدو	۰/۳۹
دوره تناوب مداری نجومی	روز ۳۶۵/۲۴۶
خروج از مرکز مداری	۰/۰۱۷
قطر استوایی	۱۲۷۵۶ Km

جرم	$5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$
سرعت مداری میانگین	29.79 km/s
دوره تناوب چرخش	23.9345 ساعت
گرانش سطحی	$9/8 \text{ m/s}^2$
چگالی میانگین	5515 kg/m^3
سرعت فرار	$11/2 \text{ km/s}$
تمایل استوا نسبت به مدار (انحراف محوری)	23.45°
دمای سطحی میانگین	287 K
ترکیبات جوّی (بر حسب تعداد مولکول)	$78/08\%$ نیتروژن $20/95\%$ اکسیژن $0/035\%$ دی اکسید کربن 1% بخار آب

منابع انرژی کره ی زمین:

فضانوردانی که برای اولین بار به ماه سفر کردند، گزارش دادند که از دید آنها زمین زیباترین و با شکوه ترین جسم در منظومه است. هیچ سیاره ی دیگری به جز زمین رنگ مشخص سبز گیاهان را ندارد. علاوه بر آن امروزه می دانیم که این کره خاکی بزرگترین سیاره داخلی است که از لحاظ فاصله از خورشید بعد از تیر و زهره در جایگاه سوم قرار دارد. این عضو منظومه شمسی بر خلاف سایر اعضا 71% آب در سطح دارد و جوّ آن دارای نیتروژن (78%) و اکسیژن (21%) می باشد.

انرژی سیاره ما از سه منبع اصلی تولید می گردد: تابش نور خورشید، اثرات جزر و مدی (ناشی از خورشید و ماه) و انرژی گرمایی درونی. در این میان، خورشید اصلی ترین منبع انرژی زمین به شمار می رود.

نور خورشید که به پوسته زمین می رسد، هوای نزدیک سطح را گرم می کند. هوای گرم، کم چگال تر از هوای سرد بالای جو می شود و سپس یک جابجایی بین لایه های مختلف صورت می گیرد که این پدیده را همرفت گویند. علاوه بر این نور خورشید از طریق بخار آب های سطح زمین، باعث تأمین انرژی برای فعالیت های جو می شود. هنگامی که بخار آب به قسمت های بالای جو می رسد به علت دمای کم در این لایه ها، متراکم شده و به قطرات آب یا یخ تبدیل می شود (تشکیل ابر). نتیجه این تغییر فاز آزاد شدن مقدار زیادی انرژی است که در بعضی مواقع می تواند طوفان های تندری ایجاد نماید.

به غیر از موارد ذکر شده، انرژی خورشید باعث تأمین انرژی در اقیانوس ها نیز می شود. آب های گرم در نزدیکی خط استوا به سمت قطب ها و در مقابل آب های سرد قطب ها نیز به سمت استوا، حرکت می کنند. از طرف دیگر همان طوری که در ادامه فصل خواهیم دید کل آب های سطحی تحت تأثیر نیروهای جزر و مدی ناشی از خورشید و ماه نیز قرار دارند. در بعضی از مواقع این دو پدیده یکدیگر را تقویت کرده و باعث به وجود آمدن طوفان های سهمگین در اقیانوس ها و دریاها می شوند.

گرمای داخلی اولیه زمین (ناشی از شکل گیری منظومه) یکی دیگر از منابع انرژی در این سیاره به حساب می آید. به علاوه تشعشع مواد پرتوزا نظیر اورانیوم و تریتیوم در اعماق زمین نیز باعث افزایش گرمای داخلی می گردد. اگر چه جریان گرمایی که از درون زمین به سطح می رسد در حدود $1/6000$ جریان انرژی ناشی از تابش نور خورشید به سطح است، اما همین مقدار کم هم اثرات مهمی روی سیاره ما می گذارد که در بخش های آینده به آن خواهیم پرداخت. به غیر از این موارد برخورد اجرام آسمانی با این سیاره نیز باعث تولید انرژی و بالا رفتن دمای بدنه می گردد که البته سهم آن در گرمای داخلی ناچیز است.

دمای سطحی زمین و اثرات گلخانه ای:

چون گرمای درونی زمین قسمت کوچکی از انرژی داخلی آن را تشکیل می دهد، بنابراین متوسط دمای سطحی، تقریباً به طور کامل متأثر از انرژی دریافتی از خورشید است. اگر این انرژی که به صورت امواج الکترومغناطیسی به زمین می تابد به طور کامل جذب می شد، این سیاره دائماً داغ و داغ تر می گردید، تا این که حتی سنگ های روی آن نیز ذوب شده و آثار حیات از بین می رفت. خوشبختانه به دو دلیل این اتفاق رخ نمی دهد:

اول این که کسری از نور فرودی خورشید توسط ابرها، برف، یخ و سنگ های روی زمین بازتاب می شود. مقدار این کسر که در حال حاضر در حدود ۳۱٪ گزارش می شود را آلبدو (سپیدایی) می نامند.

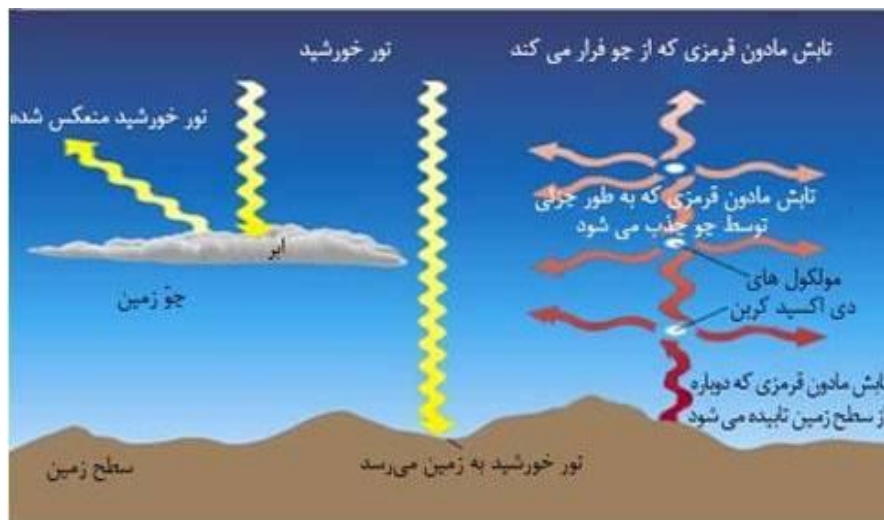
دوم، اگرچه حدود ۶۹٪ از نور فرودی، توسط زمین جذب می گردد، اما این انرژی باعث افزایش بیش از حد دمای زمین نمی شود، زیرا کره خاکی ما یک جسم جامد و چگال است و با افزایش دما، خود شروع به تابش می کند (شبیه تابش جسم سیاه). این زمانی اتفاق می افتد که زمین تقریباً به حالت تعادل گرمایی رسیده و دمای متوسط آن تقریباً ثابت می ماند (حدود ۲۸۷ کلوین). در چنین شرایطی میزان انرژی جذبی دریافتی (۶۹٪) برابر میزان انرژی است که به فضا تابش می کند. با توجه به **قانون وین** و دمای متوسط ۲۸۷ کلوین مربوط به زمین، بیشینه شدت این تابش در ناحیه زیر قرمز است.

اگر کل انرژی که در هر ثانیه به سطح می رسد را محاسبه و از مقدار آلوده آن کم کنیم، مقدار انرژی جذب شده ی دریافتی در هر ثانیه به دست می آید. به علت شرایط تعادلی این مقدار برابر انرژی است که زمین تابش می کند. با استفاده از **قانون استفان** – بولتزمن مقدار متوسط دمای برآورده شده برای زمین برابر ۲۵۴ کلوین (نوزده درجه زیر صفر) به دست می آید. در این دما باید تمام آب ها یخ بزنند و شرایط حیات برای بسیاری از موجودات زنده از بین برود. اما واقعیت این است که متوسط دمای سطح زمین در حدود ۲۸۷ کلوین (۱۴+ درجه سانتی گراد) گزارش می شود. اما چرا کره خاکی ما از آن چه انتظار داریم گرم تر است؟

اثر گلخانه ای:

تابش زیر قرمز بازتابی توسط زمین تا حدودی به وسیله مولکول های بخار آب و دی اکسید کربن موجود در لایه های جو متوقف می شود. این دو گاز در برابر نور مرئی خورشید شفاف، اما در مقابل نور باز تابیده (زیر قرمز) از سطح زمین کدر هستند و در نتیجه مقداری از این تابش در میان لایه های جو به دام افتاده و باعث بالا رفتن دما می شود. از آن جا که اثر کاملاً مشابهی، درون گل خانه ها رخ می دهد، لذا این به دام افتادن انرژی خورشیدی تحت عنوان اثر گلخانه ای شناخته می شود.

در گل خانه ها نور خورشید تقریباً بدون هیچ مانعی از شیشه ها عبور می کند، اما قسمت اعظم تابش زیر قرمز گسیلی از سوی گیاهان به وسیله مولکول های بخار آب موجود در زیر شیشه ها متوقف شده و در نتیجه دمای درون گل خانه ها بالا می رود. با این روش، گل ها، میوه ها و سبزیجات حتی در روزهای سرد زمستان هم رشد می کنند. فرآیند تابشی که دمای جو زمین را تعیین می کند در شکل ۱ نشان داده شده است. در واقع اثر گلخانه ای باعث می شود که دمای زمین ۴۱ درجه سانتی گراد بالاتر از دمایی باشد که در نبود این اثر می بایستی وجود داشته باشد.



شکل ۱ اثر گلخانه ای: بخشی از نور خورشید که توسط ابر ها بازتاب نمی شود به سطح زمین می رسد و آن را گرم می کند. تابش زیر قرمز بازتابیده شده از سطح به مقدار جزئی توسط بخار آب و دی اکسید کربن موجود در جو جذب شده و باعث افزایش دمای زمین می شود.

امروزه موضوع گازهای گلخانه ای درون جو از حساسیت فوق العاده ای برخوردار است. این ترکیبات که مهمترین آنها، دی اکسید کربن و بخار آب می باشند، گازهایی هستند که به طور قابل توجهی تابش زیر قرمز را جذب می کنند. البته برخی گازهای دیگر نظیر متان نیز در این فرآیند شرکت می کنند. در جهان صنعتی امروز و به دنبال استفاده بی رویه از سوخت های فسیلی مخصوصاً نفت و زغال سنگ مقدار دی اکسید کربن در جو زمین در حال افزایش است.

اثر گلخانه ای منحصر به زمین نیست. با توجه به نوع و فراوانی مولکول های موجود در جو زهره، این پدیده در آنجا نیز رخ می دهد. جدول ۲ تفاوت های جو زمین، با زهره و مریخ را نشان می دهد. شدت بیشتر نور خورشید تابیده شده به زهره (نسبت به زمین) باعث بخار شدن تمام مایعات سطح این سیاره می شود. بخار که نوعاً از جنس دی اکسید کربن است، در جو مانده و به دلیل دمای بالای نمی تواند به سطح برگردد. این فعل و انفعالات باعث می شود که جو زهره بسیار چگال تر از جو زمین شود که نتیجه آن، اثر گلخانه ای بسیار شدیدی است که دمای سطح را تا حدود ۴۶۰ درجه سانتی گراد می رساند.

جدول ۲: ترکیبات شیمیایی جوّ برای سه سیاره ی خاکی

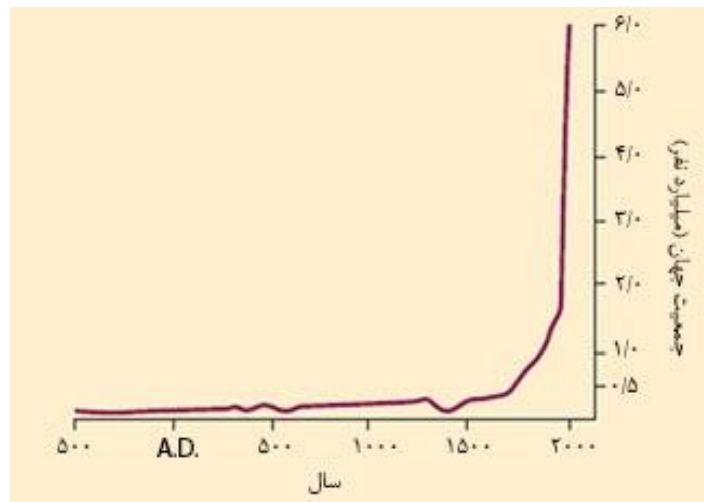
نیتروژن	زهره	زمین	مریخ
۳/۵ درصد	۷۸/۰۸ درصد	۲/۷ درصد	
اکسیژن	تقریباً صفر	۲۰/۹۵ درصد	تقریباً صفر
دی اکسید کربن	۹۶/۵ درصد	۰/۰۳۵ درصد	۹۵/۳ درصد
بخار آب	۰/۰۰۳ درصد	حدود ۱ درصد	۰/۰۳ درصد
گازهای دیگر	تقریباً صفر	تقریباً صفر	۲ درصد

به علت ابعاد کوچک مریخ (حدود نصف زمین)، اثر گلخانه ای در این سیاره رخ نمی دهد. در واقع درصد دی اکسید کربن (CO_2) در مریخ حدود زهره است، اما به لحاظ آن که شدت نور خورشید دریافتی در این سیاره کمتر است (به علت ابعاد کوچک تر و فاصله بیشتر) مولکول های این گاز قادر خواهند بود به سطح برگردند. جوّ مریخ ترکیباتی شبیه به زهره دارد ولی میزان چگالی این ترکیبات یک هزارم زهره است. بنابراین دمای مریخ بسیار پایین تر است ($140^{\circ}C$).

توجه شود که تیر(عطارد) دیگر سیاره خاکی، به دلیل کوچکی زیاد و گرانش کم نمی تواند در اطرافش جوّ داشته باشد، پس در این جدول نیامده است .

اگر فاصله زمین از خورشید کمی نزدیک تر یا دورتر بود، دمای ناشی از اثر گلخانه ای مانع از حیات روی این کره خاکی می شد. در واقع زمین یک موقعیت یکتا در میان سیارات منظومه شمسی دارد.

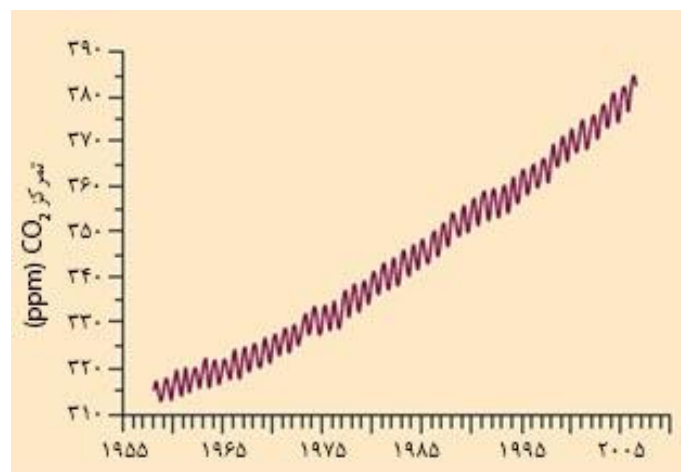
با توجه به نقش گاز دی اکسید کربن در به وجود آمدن اثر گلخانه ای، امروزه موضوعات مربوط به این گاز بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر مقدار دی اکسید کربن در جوّ زمین حدود بیست درصد بیشتر از قرن گذشته بوده و به خاطر رشد سریع جمعیت در دهه های اخیر، این نرخ افزایش با سرعتی در حدود ۴٪ در هر دهه در حال افزایش است.



شکل ۲ جمعیت انسانی: این نمودار ترکیبی از داده های مربوط به اداره ی مرجع جمعیت و صندوق جمعیت سازمان ملل متحد است که نشان دهنده ی جمعیت انسانی از ۵۰۰ قبل از میلاد تا ۲۰۰۰ میلادی می باشد. جمعیت از قرن هیجدهم شروع به رشد کرده و از سال ۱۹۰۰ رشد چشمگیری داشته است.

شکل ۲ میزان افزایش جمعیت را تا سال ۲۰۰۰ میلادی نشان می دهد. از اواخر ۱۷۰۰ میلادی، با شکل گیری انقلاب صنعتی و پیشرفت بهداشت جهانی نرخ رشد شروع به افزایش کرده و در قرن بیستم بسیار سریع شده است. در سال ۱۹۶۰ جمعیت جهان سه میلیارد نفر بوده، این عدد در سال ۱۹۹۹ به شش میلیارد رسید و برآوردهای اتحادیه جمعیت جهانی نشان می دهد که این عدد به هشت میلیارد تا سال ۲۰۳۰ و نه میلیارد در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. این در حالی است که نوع بشر احتیاج به لوازم ابتدایی زندگی از قبیل غذا، پوشاک، محل زندگی و همچنین سوخت دارد. برای برآورده شدن این نیازها، انسان ها درختان را قطع می کنند، زمین ها را کشت و در مناطق مختلف، شهر ها را بنا می کنند.

جنگل های انبوه گرمسیری با تبدیل دی اکسید کربن به اکسیژن نقش حیاتی در بقاء زندگی بر روی سیاره ما ایفا می کنند. این مناطق که تنها ۷٪ از کل خشکی های روی زمین را شامل می شوند، محل پرورش و زندگی دست کم ۵۰٪ از گیاهان و گونه های جانوری هستند. با این حال انسان ها برای به دست آوردن احتیاجات خود، این درختان را قطع و یا آتش می زنند. این فعالیت ها به همراه استفاده از سوخت های فسیلی و فرآورده های نفتی باعث افزایش دی اکسیدکربن در جوّ زمین می شود. از این رو، سرعت تولید این گاز بسیار سریع تر از حذف آن توسط فرایندهای طبیعی است. شکل ۳ چگونگی افزایش دی اکسید کربن در جوّ زمین از سال ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۵ را نشان می دهد. واقعیت این است که اگر مصرف انرژی در دنیا به همین روال پیش رود، در سال ۲۰۵۰ غلظت این گاز، به حدود ۶۰۰ میلیون تن خواهد رسید. این روند، باعث افزایش اثرات گلخانه ای و در نهایت گرم شدن بیش از اندازه زمین خواهد شد. افزایش بی رویه دما در دو دهه گذشته باعث گردیده که مراکز حفظ محیط زیست این موضوع را به طور جدی در دستور کار خود قرار دهند. گزارش ها نشان می دهد که در سالهای اخیر تعداد خشکی های روی زمین افزایش یافته و در بعضی از نواحی مردم با کمبود جدی آب و موج های بی سابقه گرما روبرو بوده اند. یخچال های طبیعی موجود در قطب شمال حدود ۲۰٪ نسبت به بیست سال گذشته کاهش یافته اند. اگر این روند افزایشی به همین منوال ادامه یابد پیش بینی می گردد که در قرن بیست و یک میلادی، شاهد افزایش دما بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی گراد باشیم.



شکل ۳ افزایش دی اکسید کربن موجود در جو: این نمودار میزان دی اکسید کربن جو را به ازای هر واحد بخش یک میلیون (ppm) نشان می دهد. الگوی دندانه ای شکل نمودار، نتیجه ی گیاهانی است که در بهار و تابستان دی اکسید کربن بیشتری را جذب می کنند. از سال ۱۹۵۸ میلادی که مطالعات مداوم آغاز شده، تمرکز دی اکسید کربن در جو به میزان ۲۱٪ افزایش یافته است. (NOAA Scripps Institution of Oceanography)

از مهم ترین پیامدهای این گرمای جهانی افزایش دما در قطب ها نسبت به استوا است. این اختلاف دما باعث می شود الگوی چرخش جو دچار تغییرات شده و مهم تر از آن حرکت آب ها در اقیانوس ها به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. نتیجه آنکه دما در پاره ای از نقاط زمین بیشتر از حد متعارف بالا رفته و در بعضی جاها کاهش می یابد که این تغییرات روی میزان بارندگی و به دنبال آن وضع کشاورزی نواحی مختلف اثر می گذارد.

به طور خلاصه، گرم شدن زمین بر روی محصولات کشاورزی و منابع غذایی انسان ها اثر مستقیم دارد. پیش بینی ها نشان می دهد که اگر دمای زمین به اندازه سه درجه سانتی گراد افزایش یابد، فقط در تولید غلات با میلیون ها تن کاهش مواجه خواهیم بود. این به معنای آن است که میلیون ها نفر در معرض گرسنگی قرار می گیرند. از سوی دیگر آب شدن یخ های قطب ها خطری دیگر برای ساکنان زمین به شمار می آید. این اثر در دراز مدت باعث می شود بسیاری از شهرهای ساحلی تحت تأثیر سیل های ویران کننده قرار گیرند و تعداد زیادی از جزایر منتهی به اقیانوس ها به طور کامل به زیر امواج فرو روند.

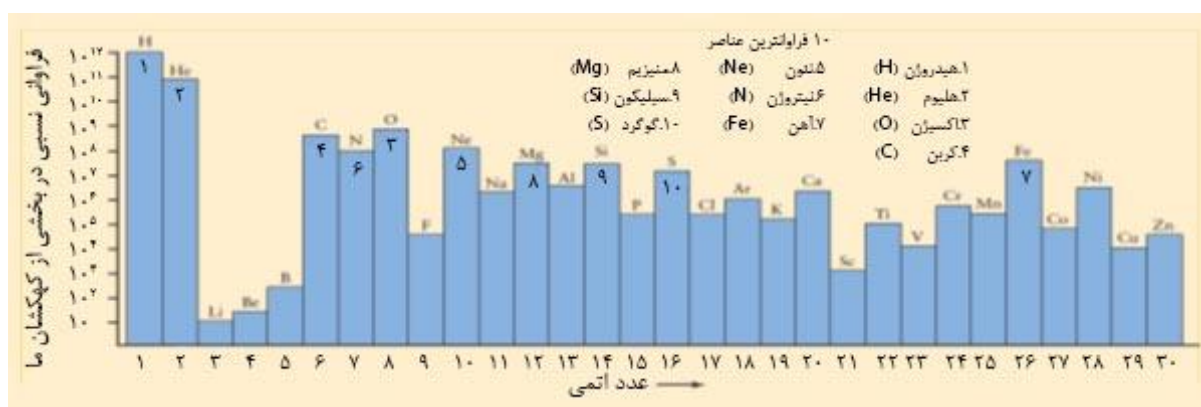
به هر حال حل معضل گرمای جهانی نیاز به فعالیت های متمرکز و فکورانه دارد. مسأله این است که این پدیده به طور کامل قابل مهار نیست. حتی اگر جوامع بشری در اقدامی فوری تمام محصولاتی که حاوی گازهای گلخانه ای است را کنار بگذارند، باز هم دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی حدود دو درجه سانتی گراد بالا خواهد رفت.

ساختار درونی زمین:

بررسی هایی که تاکنون بر روی انواع سنگ های کشف شده در نقاط مختلف سطح زمین انجام شده، نشان می دهد چگالی متوسط آن ها در حدود 3000 kg/m^3 می باشد. با توجه به آنکه چگالی متوسط کل زمین 5515 kg/m^3 است، بنابراین ترکیبات مواد در اعماق این کره خاکی باید چگال تر از مواد سطح باشد. اما داخل زمین از چه موادی تشکیل شده است؟

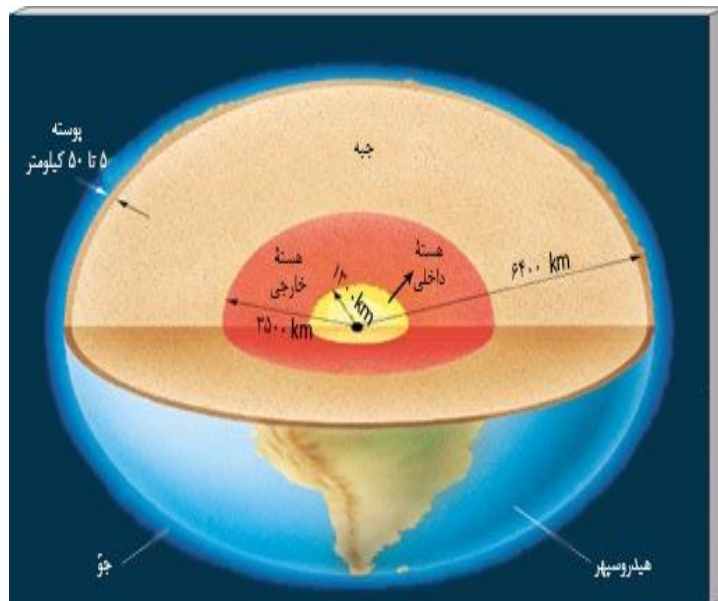
با توجه به شواهد علمی بدست آمده بهترین گزینه برای پاسخ به این پرسش، آهن است.

آهن به عنوان یک عنصر سنگین (۵۶ مرتبه سنگین تر از هیدروژن) بیشترین فراوانی را در کهکشان راه شیری نسبت به دیگر عناصر سنگین دارا می باشد (شکل ۴). بر این اساس می توان نتیجه گرفت که این فراوانی در سحابی خورشید نیز وجود داشته است. علاوه بر آن، آهن عموماً جزء مواد تشکیل دهنده سنگ های آسمانی است که با زمین برخورد می کنند، پیش بینی می شود که سنگ ریزه هایی که از زمین در قسمتهای دیگر منظومه به جا مانده نیز از همین جنس باشند.



شکل ۴ فراوانی عناصر: نمودار فراوانی ۳۰ عنصر سبک در قسمتی از کهکشان را (به ترتیب افزایش عدد اتمی) در مقایسه با 10^{12} برای هیدروژن نشان می دهد. لیست داخلی ۱۰ عنصری هستند که بیشترین فراوانی را دارند که همچنین در داخل نمودار هم مشخص شده اند. فراوانی همه ی عناصر سنگین تر از روی کمتر از ۱۰۰۰ اتم در هر 10^{12} اتم هیدروژن است.

شکل ۵ آخرین الگوی ارائه شده توسط زمین شناسان را نشان می دهد که مطابق با آن، هسته ی داخلی (جامد و از جنس آهن) توسط هسته خارجی (مذاب) احاطه شده است. در بالای هسته خارجی، جبهه وجود دارد که آن هم از ترکیبات آهن می باشد. بر روی جبهه، پوسته قرار دارد که از ترکیبات سیلیکون است. ما بر روی این پوسته زندگی می کنیم. بخش های مایع سطح زمین، هیدروسفر را تشکیل می دهند. بالای هیدروسفر و پوسته ی جامد، جو قرار دارد که تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتر از سطح قرار دارد. بزرگترین ناحیه ی خارجی زمین، مغناطیس سپهر است که هزاران کیلومتر از فضای بیرونی را شامل می شود.



شکل ۵ نواحی اصلی سیاره زمین: در مرکز زمین، هسته ی داخلی سیاره ی ما با قطری در حدود ۲۶۰۰ کیلومتر قرار دارد. این کره ی داخلی با یک هسته ی خارجی به عرض ۷۰۰۰ کیلومتر احاطه شده است. بیشتر قطر ۱۳۰۰۰ کیلومتری زمین شامل جبه است که بالای آن یک پوسته ی نازک با ضخامتی فقط در حدود چند ده کیلومتر قرار دارد.

اما چگونه می توان مطمئن بود که ساختار واقعی زمین مطابق با تصویر ارائه شده است؟ توجه داشته باشیم دستیابی به اعماق زمین به همان اندازه مشکل است که بخواهیم به کهکشان های دور، دست یابیم. عمیق ترین چاه هایی که می توان روی زمین حفر کرد بیشتر از چندین کیلومتر نخواهد بود. علیرغم این مشکلات، زمین شناسان از طریق مطالعه ی موج های ایجاد شده که در مواقع زلزله رخ می دهد، به اطلاعات مهمی در مورد خواص درونی این کره خاکی دست یافته اند و بر طبق آن مدل، ارائه داده اند.

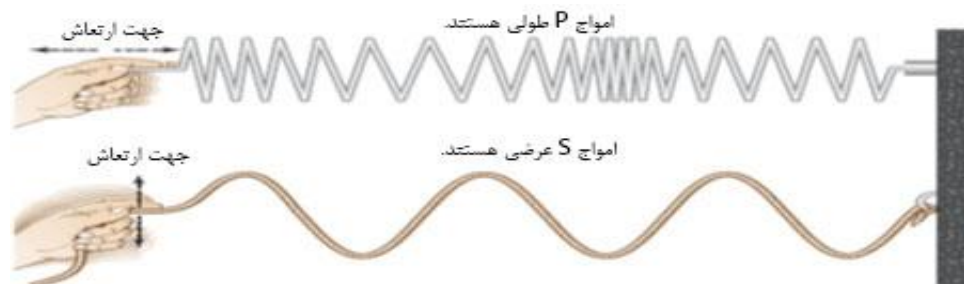
در طول قرن های متمادی که از عمر زمین می گذرد، پوسته آن دچار تغییرات فراوانی شده است. یکی از مهم ترین عوامل این تغییرات، زمین لرزه هایی است که مرکز بیشتر آن ها در اعماق پوسته می باشد. نقطه ای که دقیقاً زلزله در آن رخ می دهد را مرکز زلزله گویند.

به طور کلی زمین لرزه ها سه نوع موج ایجاد می کنند که این امواج در سطح و یا اعماق زمین با اشکال و سرعت های متفاوت حرکت می کنند. زمین شناسان از دستگاه هایی به نام لرزه نگار برای تشخیص و ثبت این حرکت ها استفاده می کنند.

متداول ترین موج ایجاد شده ناشی از زمین لرزه، شبیه به امواج آب در اقیانوس هاست که باعث حرکات پیچشی روی سطح زمین و نزدیک به مرکز لرزه می شود. این حرکات را که معمولاً ساکنان این نواحی به عنوان زلزله می شناسند، امواج سطحی گویند.

دو نوع موج دیگر که اصطلاحاً به امواج P (اصلی) و امواج S (فرعی) معروف هستند، در اعماق زمین انتشار می یابند و همین امواج هستند که در مطالعه ساختار داخلی به زمین شناسان کمک می کنند. در امواج P جهت ارتعاش موج با جهت انتشار در یک راستاست. به همین دلیل آنها را امواج طولی هم می نامند. برعکس در امواج S جهت ارتعاش بر جهت انتشار عمود بوده و آنها را امواج عرضی گویند (شکل ۶).

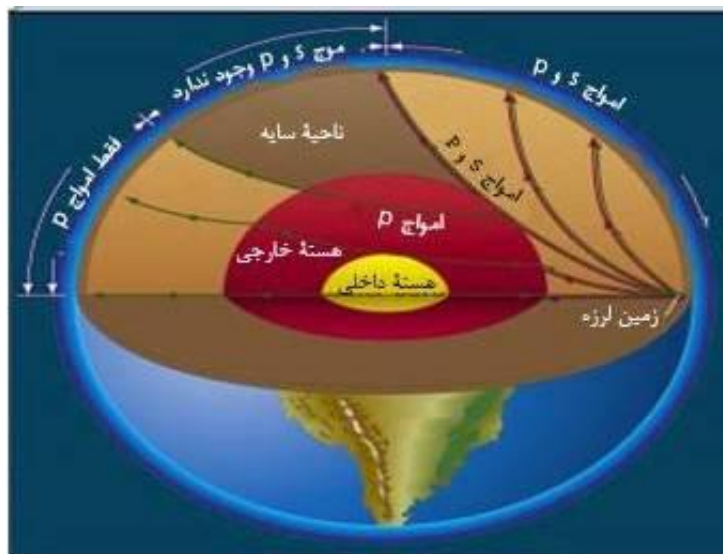
آن چه که باعث می شود این دو موج در مطالعه خواص درونی زمین به ما کمک کنند این واقعیت است که آنها در یک راستای مشخص منتشر نمی شوند. در واقع مسیر حرکت آنها در اعماق زمین وابسته به تغییرات چگالی و نوع ترکیبات قسمت های مختلف داخلی دچار خمیدگی می شود. (شبیه به امواج نورانی که در گذر از محیط های متفاوت دچار شکست یا بازتاب می شود).



شکل ۶ امواج لرزه: زمین لرزه دو نوع موج ایجاد می کند که درون سیاره ی ما حرکت می کنند. یک نوع از این امواج، امواج P نامیده می شود که امواجی طولی (یا فرعی) هستند. آنها مشابه با امواجی هستند که در اثر فشردن تر شدن فنر ایجاد می شوند. نوع دیگر امواج S که امواج اصلی هستند و مشابه امواجی هستند که در اثر بالا و پائین کردن طناب ایجاد می شوند.

زمین شناسان با مطالعه چگونگی تغییر مسیر امواج P و S در قسمت های مختلف زمین می توانند نقشه جامعی از ساختار داخلی آن ارائه کنند (شکل ۷). هنگامی که یک زمین لرزه رخ می دهد، دستگاه های لرزه نگار که در مناطق نزدیک مرکز زلزله هستند هر دو نوع امواج S و P را ثبت می کنند. اما دستگاه هایی که در نقطه مقابل مرکز زلزله قرار گرفته اند فقط امواج P را گزارش می کنند. دلیل آنکه در این نقاط امواج S گزارش نمی شود اولین بار در سال ۱۹۰۶ توسط زمین شناس بریتانیایی به نام اولدهام توضیح داده شد. او در مطالعاتش به این نکته پی برد که امواج نوع S از مواد مایع عبور نمی کنند و بر این اساس نتیجه گرفت که قلب کره خاکی ما دارای هسته ای از جنس مواد مذاب است. علاوه بر این مناطق، در بعضی از

قسمت های زمین هیچ کدام از امواج P و S ثبت نمی شود. در این نواحی که به ناحیه سایه معروف هستند، امواج p به علت وجود هسته مذاب به گونه ای شکست می یابند که به آن جا نمی رسند. زمین شناسان با اندازه گیری مساحت این نواحی به این نتیجه می رسند که شعاع هسته مذاب باید در حدود ۳۵۰۰ کیلومتر باشد. این مقدار حدود ۵۵٪ شعاع کل زمین و حدود دو برابر شعاع ماه است.



شکل ۷ ساختار درونی زمین و مسیرهای امواج لرزه: به علت اختلاف در چگالی و ترکیبات مواد داخلی زمین، امواج مسیرهایی منحنی شکل را طی می کنند. خمیدگی های تیز فقط در جاهایی اتفاق می افتد که تغییر ناگهانی از یک نوع ماده به نوع دیگر داریم، (نظیر مرز بین هسته ی خارجی و جبهه). فقط امواج p می توانند از هسته ی خارجی مایع زمین عبور کنند.

در سال ۱۹۳۶ و با پیشرفت نسبی دستگاه های لرزه نگار اثرات ضعیفی از امواج p در ناحیه سایه مشاهده گردید. لمان، زمین شناس دانمارکی، توانست نظریه ای ارائه کند که بر اساس آن علت تشکیل امواج p در این نواحی، به وجود هسته جامدی در وسط کره زمین مربوط می شد. او شعاع این هسته داخلی را ۱۳۰۰ کیلومتر برآورد کرد. به طور کلی، مدل های زمین شناسی نشان می دهد که ساختار داخلی این کره خاکی شکلی عجیب دارد. هسته خارجی (مایع)، توسط هسته داخلی (جامد) از داخل، و غشا (جامد) از خارج احاطه شده است (جدول زیر اندازه های این نواحی را نشان می دهد).

جدول ۳: ساختار درونی زمین

ناحیه	عمق زیر سطح (km)	فاصله از مرکز (km)	چگالی متوسط (kg/m^3)
پوسته (جامد)	۰-۵ (زیر اقیانوس ها) ۰-۳۵ (زیر قاره ها)	۶۳۷۸-۶۳۴۳	۳۵۰۰
جبه (جامد)	از زیر پوسته تا ۲۹۰۰	۳۵۰۰-۶۳۴۳	۳۵۰۰-۵۵۰۰
هسته خارجی (مایع)	۲۹۰۰-۵۱۰۰	۱۳۰۰-۳۵۰۰	۱۰۰۰۰-۱۲۰۰۰
هسته داخلی (جامد)	۵۱۰۰-۶۴۰۰	۰-۱۳۰۰	۱۳۰۰۰

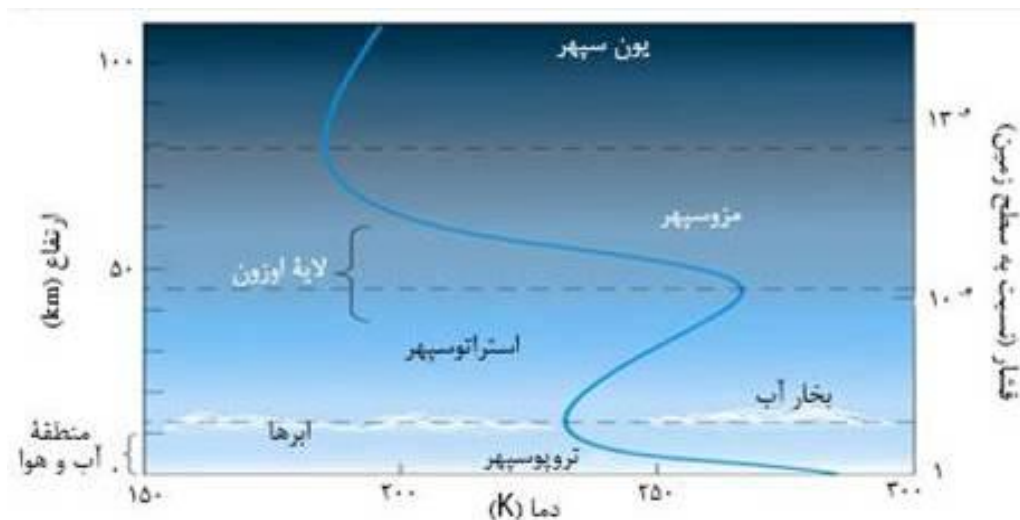
جوّ زمین:

شاید مهمترین ویژگی جوّ زمین این باشد که موجودات زنده می توانند در آن تنفس کنند. مخلوطی از چندین گاز، متشکل از نیتروژن (۷۸٪)، اکسیژن (۲۱٪)، آرگون (۰/۹٪)، دی اکسید کربن (۰/۰۳٪)، و مقادیر بسیار کمی از سایر گازها تشکیل دهنده هوا هستند. بخار آب، نسبت به مکان، شرایط و ارتفاع از سطح دریا از ۰/۱٪ تا ۳٪ تغییر می کند. درصد بالای اکسیژن در جوّ زمین، این سیاره را در منظومه شمسی منحصر به فرد ساخته است. همچنین مقادیر مناسب آب و دی اکسیدکربن، دلیل اصلی زندگی گیاهان روی این کره خاکی می باشد.

ساختار جوّ:

شکل ۸ برش عرضی از جوّ را نشان می دهد. اولین ناحیه در بالای سطح زمین تراپوسپهر نامیده می شود. بعد از آن، از ارتفاع حدود ۲۰ تا ۵۰ کیلومتری، لایه استراتوسپهر قرار دارد. بین ۵۰ تا ۸۰ کیلومتری از سطح، ناحیه مزوسپهر است. بالاتر از ارتفاع ۸۰، ناحیه یون سپهر قرار دارد که در آن جوّ به وسیله تابش فرابنفش خورشید تا حدی یونیزه شده است.

با افزایش فاصله از سطح زمین چگالی جوّ به طور پیوسته کاهش می یابد، و آن چنان که محور عمودی سمت راست شکل نشان می دهد، فشار نیز با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. اگر از کوه های نه چندان بلند (ارتفاع ۴ تا ۵ کیلومتری) بالا برویم، رقیق شدن هوا در تراپوسپهر را حس می کنیم. کوهنوردان وقتی که از مرتفع ترین قله های روی زمین بالا می روند می بایستی از ماسک اکسیژن استفاده کنند. تراپوسپهر ناحیه ای از جوّ زمین است که در آن همرفت رخ می دهد. همرفت عبارت است از بالا رفتن هوای گرم و جایگزینی هماهنگ آن به وسیله ی هوای سردی که شارش آن به سمت پائین است. البته این فرآیند نیاز به محیط مادی دارد که هوای جوّ این نقش را ایفا می کند. بر خلاف فشار جوّ، دما با افزایش ارتفاع به طرز پیچیده ای تغییر می کند. شکل ۸ نشان می دهد که در برخی از نواحی جوّ، دما با افزایش ارتفاع کاهش و در برخی دیگر از لایه ها افزایش می یابد (منحنی آبی رنگ).



شکل ۸ جو زمین: نموداری از جو زمین است که تغییرات دما (نمودار آبی رنگ وسط) و فشار (محور سمت راست) را از سطح زمین تا بالاتر از لایه ی یون سپهر نشان می دهد.

شکل ۹ قسمتی از پوسته زمین را نشان می دهد که نور خورشید به آن می تابد. به علت گرم شدن هوای بالای پوسته، چگالی آن کمتر شده و شروع به بالا رفتن می کند. در ارتفاعات بالاتر و با کاهش فشار، عکس این حالت رخ می دهد یعنی، هوا به تدریج سرد شده، چگالی آن بیشتر می شود و به طرف زمین فرود می آید. هوای سرد در سطح زمین با سرعت جای خود را با هوای گرم عوض می کند.

این کانون های همرفت که در تراپوسپهر شکل می گیرند، تنها در گرم کردن جو مشارکت نمی کنند بلکه آنها سبب بادهای سطحی نیز می شوند. این حرکت پیوسته دایره ای شکل، عامل رخداد وضعیت های آب و هوایی است که ما اغلب آنها را تجربه کرده ایم. برای نمونه، این عوامل جوی می تواند اثراتی، نظیر لرزش هایی که گاهی در پرواز هواپیماها احساس می کنیم به وجود بیاورد. بالا و پایین رفتن لایه های هوا، مخصوصاً در زیر ابرهای نرم نیز می تواند باعث تشدید این تلاطم ها بشود. به همین دلیل، خلبانان مجبورند که در بالای آشفته گی جوی یعنی در بالای تراپوسپهر و یا در پایین ترین قسمت استراتوسپهر، در قسمتی که جو حالت پایدارتری دارد، پرواز کنند.



شکل ۹ همرفت: مطابق شکل، هوای گرم بالا رفته سرد شده و سپس پایین می آید و این فرایند بطور مداوم تکرار می شود. سرانجام الگوی دایروی از جریان های بالا رونده و پایین رونده برجای می ماند و تداوم پیدا می کند.

در داخل ناحیه استراتوسپهر لایه اوزون قرار دارد. این قسمت از جو، در حدود ۲۰ کیلومتر ضخامت دارد (از ارتفاع ۲۰ تا ۴۰) و دارای مقدار قابل توجهی مولکول اوزون می باشد. اوزون شامل سه اتم اکسیژن بوده که تابش فرابنفش خورشید، آن را تجزیه کرده و به شکل مولکول معمولی دو اتمی اکسیژن باز می گرداند.

لایه اوزون یکی از پوشش هایی است که زمین را از شرایط خطرناک فضای بیرون از جو محافظت می کند. به دلیل عدم وجود هوای قابل تنفس و محیط گرم، دانشمندان از این فضای خارج، به عنوان دشمن زندگی بشر یاد می کنند. به علاوه اطلاعات جدید از وجود ذرات پر انرژی حکایت دارد که آنها نیز برای سلامتی انسان زیان بار می باشند.

بدون حفاظت لایه اوزون، زندگی روی زمین، غیر ممکن خواهد بود. برخی از مواد به کار رفته در صنایع نوین، اثرات مخربی روی ضخامت این لایه می گذارند. یکی از مهم ترین این مواد که معمولاً در یخچال سازی، دستگاه های تهویه و محصولات خشک شویی مصرف می شوند، ترکیباتی موسوم به کلروفلئوروکربن (CFC) هستند. در دهه ۷۰ میلادی کشف شد که این ترکیبات شیمیایی بعد از مصرف بر روی زمین در لایه های جو باقی می ماند. مقداری از آن که از طریق همرفت به لایه های استراتوسپهر می رسند توسط نور خورشید تجزیه گردیده و کلر آزاد می کنند. کلر به جامانده با اوزون موجود در این لایه وارد برهمکنش شده و مولکول سه اتمی اکسیژن را به ملکول های دو اتمی اکسیژن تبدیل می کند. در اصطلاح شیمی دان ها کلر در این واکنش ها به شکل کاتالیزور عمل می کند، یعنی در این واکنش ها خودش از بین نمی رود. بنابراین می تواند با دیگر مولکولهای اوزون هم برهمکنش کند. برآورد شده است که هر اتم کلر می تواند موجب تخریب بالغ بر ده هزار ملکول اوزون گردد. بنابراین واضح است که مقادیر بسیار کم ترکیبات CFC می تواند اثرات مخرب و جبران ناپذیری بر لایه اوزون داشته باشد. از بین رفتن این لایه توسط این ترکیبات معادل رسیدن مقادیر بیشتری از اشعه فرا بنفش خورشید به سطح زمین است.

حدوداً در ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری از سطح زمین یعنی در ناحیه یون سپهر، مولکول های جو به وسیله قسمت های پر انرژی تابش خورشیدی به طرز قابل توجهی یونیزه می شوند. در این لایه مولکول ها به اتم ها و اتم ها به یون ها تجزیه می شوند. درجه یونش با افزایش ارتفاع بالا می رود. فراوانی زیاد الکترون های آزاد در این ناحیه، باعث می شود که جو بالایی تبدیل به رسانای بسیار مناسبی از الکتریسیته شود و این رسانندگی باعث می شود که یون سپهر، بازتابنده ی قوی و مناسبی برای طول موج های رادیویی باشد. به همین دلیل سیگنال های رادیویی AM قبل از رسیدن به دریافت کننده توسط یون سپهر باز تابیده شده و به تبع آن، در کلیه مناطق قابل دریافت هستند. این در حالی است که سیگنال های FM در تمام مناطق قابل دریافت نیستند، زیرا یون سپهر برای برخی از طول موج های کوتاه تر از امواج رادیویی که در باند FM هستند به صورت محیط شفاف عمل می کند.

چرا آسمان آبی است؟

آبی بودن آسمان به پراکندگی نور توسط مولکول های هوا و ذرات ریز گرد و غبار موجود در جو بر می گردد. هنگامی که نور خورشید از جو زمین عبور می کند توسط مولکول های گاز موجود در هوا پراکنده می شود. فیزیکدان انگلیسی، لرد

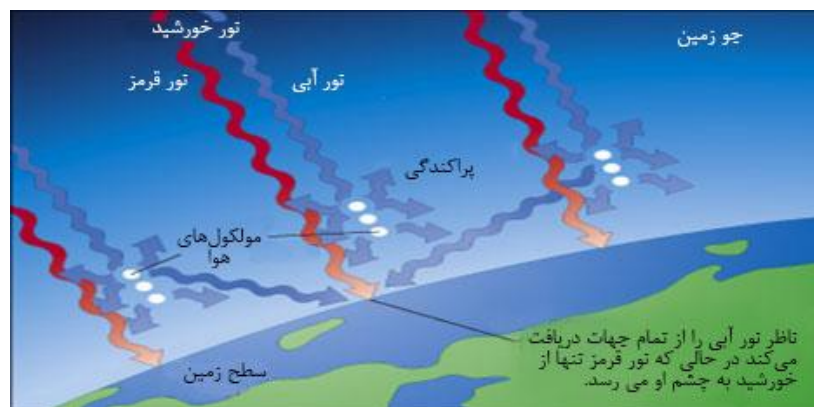
رایلی در حدود یک قرن پیش این پدیده را توصیف کرد. رایلی دریافت که چون طول موج های نزدیک به نور آبی (حدود ۴۰۰nm) نسبت به طول موج های بلندتر (مثلاً نور قرمز با طول موج ۷۰۰nm)، به اندازه و ابعاد مولکول های هوا نزدیک تر است بنابراین بیشتر پراکنده می شود. او ثابت کرد که پراکندگی به وسیله مولکول های هوا، با عکس توان چهارم طول موج متناسب است. ذرات بزرگ تر از مولکول ها یعنی گرد و غبار موجود در جو هم به طور خاص نور آبی را متناسب با عکس طول موج پراکنده می کنند.

$$\text{پراکندگی بوسیله ذرات گرد و غبار} \propto \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{پراکندگی رایلی} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

رابطه ی پراکندگی رایلی نشان می دهد، نور آبی ۹/۳۸ مرتبه بیشتر از نور قرمز توسط مولکول های هوا پراکنده می شود. درمورد پراکندگی به وسیله ذرات گرد و غبار نسبت بالا برابر ۱/۷۵ است. همان طور که مشاهده می کنیم ضریب ۱/۷۵ در مقابل ۹/۳۸ کوچک است اما با وجود این برای مواقعی که هوا آلوده است، پراکندگی از نوع گرد و غبار می تواند اثر قابل توجهی داشته باشد.

به طور کلی، در هوای صاف و هنگامی که خورشید در ارتفاع معمولی قرار دارد، بخش آبی نور فرودی خورشید، بسیار بیشتر از سایر اجزای رنگی آن پراکنده می شود. بنابراین نور آبی ممکن است قبل از آن که وارد چشم ما شود بارها و بارها پراکنده شود.



شکل ۱۰ موقعی که خورشید در ارتفاعی معمولی قرار دارد، بخش آبی رنگ نور فرودی خورشید، بسیار بیشتر از سایر اجزا پراکنده می شود. بنابراین ناظر زمینی نور آبی را از تمام جهات آسمان دریافت می کند در حالی که نور قرمز تنها از خورشید به چشم او می رسد.

مطابق با شکل ۱۰، قسمتهای نزدیک به قرمز کمتر پراکنده شده و در راستای خط دید وارد چشم ما می شوند. نتیجه این که خورشید زرد مایل به قرمز و در مقابل، آسمان به رنگ آبی دیده می شود. بدیهی است که در فضای بیرون از جو، آسمان سیاه دیده می شود.

در پایان یک روز که هوا به طور محسوس غبار آلود باشد، یعنی در زمانی که شرایط جوّی و یا فعالیت های انسان در طول ساعات روز باعث افزایش ذرات گرد و غبار در هوا شده باشد، رابطه پراکندگی رایلی برای طول موج های کوتاه آنقدر قابل توجه است که خورشید به رنگ قرمز درخشان در می آید. در دو حالت دیگر نیز چنین شرایطی پیش می آید. یکی در تابستان، هنگامی که مولکول های آب دریا به حالت بخار در آمده اند و در این شرایط ما به غروب خورشید نگاه می کنیم. دیگری، زمانی که فعالیت های آتشفشانی برای هفته ها ادامه می یابد به طوری که مقادیر بسیار زیادی گاز و ذرات غبار در هوا بر جای می گذارد. چنین واقعه ای در سال ۱۹۹۱ در آمریکای شمالی در پی فعالیت آتشفشان فیلیپین و انفجار کوه پنیاتوبو رخ داده است.

در هنگام طلوع و غروب، که خورشید به افق منطقه ای (محلی) نزدیک است، نور آن به طور وسیع تری به خارج از راستای دید ما پراکنده می شود (زیرا نور به طور افقی جوّ را می پیماید) و حتی از شدت جزء ترکیبی قرمز رنگ نور خورشید نیز کاسته می شود. در نتیجه، خورشید به رنگ نارنجی و تیره تر از هنگام ظهر دیده می شود که این رنگ، ترکیبی از رنگ زرد طبیعی و قرمز است. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱ پراکندگی: نور خورشید هنگام طلوع و غروب

معرفی بعضی از اثرات جوّی:

علاوه بر اثراتی که در قسمت های قبل به آن پرداخته شد، می توان به عنوان تاثیر جوّ بر روی نور فرودی به مواردی دیگر نیز اشاره کرد.

الف) سفیدی ابرها

ابرها سفید هستند به این دلیل که از ذرات کوچک آب تشکیل شده اند و در آنها دیگر رابطه پراکندگی ریلی برقرار نیست. این ابرها نور خورشید را در تمام طول موج ها به یک میزان پراکنده می کنند و در نتیجه سفید دیده می شوند.

ب) چشمک زدن ستاره ها

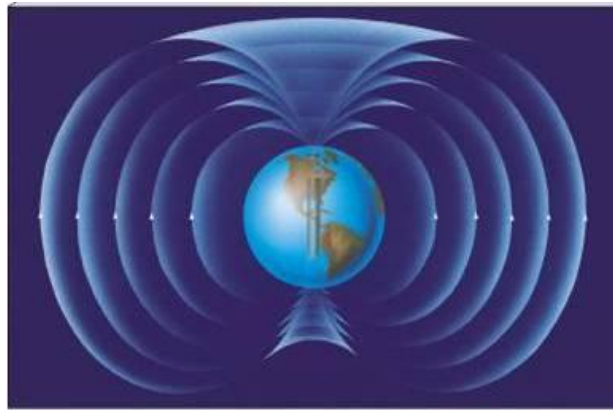
در جوّ زمین ناهمگنی هایی از لحاظ چگالی مواد وجود دارد که عملاً باعث متغیر بودن ضریب شکست نور می شوند. در حقیقت در جوّ حالتی پیش می آید که ضریب شکست تابعیت زمانی پیدا می کند و به نظر می آید که ستارگان اصطلاحاً چشمک می زنند.

ج) غروب واقعی و غروب ظاهری

هنگامی که به غروب کردن خورشید نگاه می کنیم و لبه پایینی آن را در افق محلی خود می بینیم، در واقع خورشید در آن لحظه در زیر خط افق قرار دارد. در این حالت به دلیل شکست نور، نوری که با زاویه θ_1 از محیط خارج جوّ به آن تابیده می شود به زاویه θ_2 در جوّ می شکند به طوری که $\theta_2 < \theta_1$ ، بنابراین ما همواره خورشید را در افق بالاتر از موقعیت واقعی آن می بینیم. این مقدار بالا آمدگی (از سطح افق) برای هر شیء آسمانی حدوداً ۳۵ دقیقه قوسی (یعنی تقریباً چیزی در حدود قطر زاویه ای خورشید) می باشد.

مغناطیس سپهر زمین:

به ناحیه ای در بالای جوّ زمین گفته می شود که اثرات میدان مغناطیسی زمین در آن قسمت محسوس باشد. این ناحیه در اواخر دهه ۱۹۵۰ توسط پرتاب سفینه فضایی به اطراف زمین شناخته شد. همان طور که در شکل ۱۲ دیده می شود میدان مغناطیسی زمین شبیه به میدان یک آهنربای میله ای بسیار بزرگ است، که سیاره ما را به طور کامل در بر گرفته است. خطوط میدان، که شدت و جهت آن را در هر نقطه از فضا نشان می دهد از قطب شمال مغناطیسی کره زمین (که تقریباً حوالی قطب جنوب جغرافیایی زمین است) خارج شده و به سمت قطب جنوب مغناطیسی (که تقریباً حوالی قطب شمال جغرافیایی زمین است) می روند.

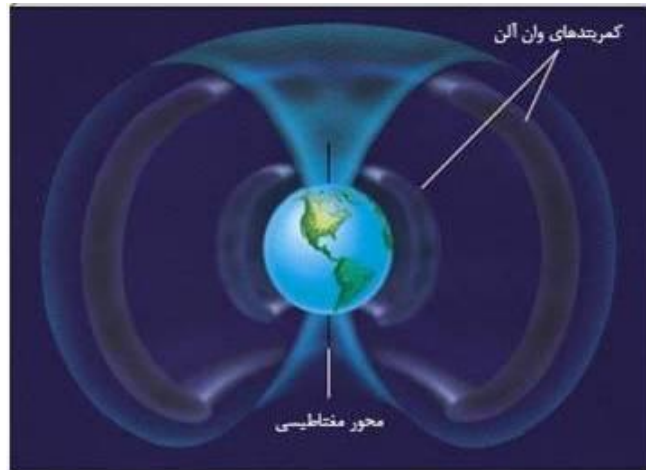


شکل ۱۲ میدان مغناطیسی: میدان مغناطیسی زمین شبیه به میدان مغناطیسی یک آهن ربای میله ای است که در مرکز زمین قرار گرفته است. پیکان های روی خطوط میدان نشان دهنده جهتی است که عقربه قطب نما نشان می دهد.

همانطوری که در فصل قبل عنوان شد میدان زمین، ناشی از پدیده دینامو است. قطب های مغناطیسی شمال و جنوب یعنی جایی که خطوط میدان، سطح زمین را به طور عمودی قطع می کنند، به طور تقریبی با محور چرخش زمین هم خط هستند. این قطب ها نسبت به سیاره ی ما، ثابت نیستند و با سرعت ۱۰ کیلومتر بر سال تغییر موقعیت می دهند. بر خلاف نقاط شمال و جنوب زمین، قطب های مغناطیسی متقارن نیستند. درحال حاضر قطب شمال مغناطیسی در کانادای شمالی واقع در عرض جغرافیایی ۸۰ درجه شمالی و قطب جنوب مغناطیسی در عرض جغرافیایی حدود ۶۰ درجه جنوبی دراسترالیا قرار دارد.

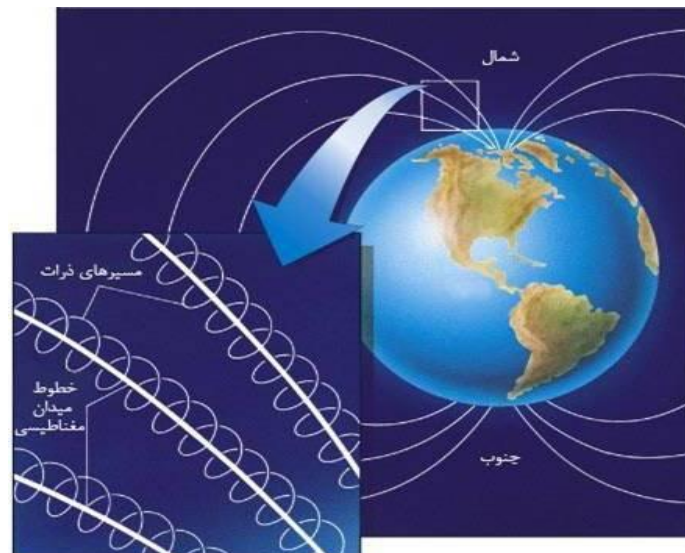
کمربند های وان آلن:

کمربندهای وان آلن دو ناحیه چنبره ای شکل، مملو از ذرات باردار پر انرژی هستند (شکل ۱۳). کمربند درونی که بیشتر از پروتون تشکیل شده، از ارتفاع حدود ۲۰۰۰ کیلومتری بالای سطح زمین شروع و تا ارتفاع ۵۰۰۰ کیلومتری گسترده شده است. کمربند بیرونی که الکترونها در آن به دام می افتاده اند، با ضخامتی در حدود ۶۰۰۰ کیلومتر در ارتفاع میانگین ۱۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. این کمربند ها را برای اولین بار جیمز وان آلن در سال ۱۹۵۸ میلادی توانست توسط دستگاهی که روی یک ماهواره ابتدایی قرار داده بود شناسایی کند. نواحی مذکور همچون کمربندی، سیاره ما را در بر گرفته اند. در واقع این دو ناحیه چنبره ای شکل قسمت هایی از مغناطیس سپهر هستند که ذرات باردار ناشی از خورشید و اشعه های کیهانی در آنها به دام افتاده اند.



شکل ۱۳ کمربند های وان آلن: در بالای جو زمین، مغناطیس سپهر، دو ناحیه دونات شکل است که ذرات باردار ناشی از خورشید و اشعه های کیهانی در آن ها به دام افتاده اند.

سرچشمه بیشتر این ذرات، بادهای خورشیدی است. ذرات خنثی و پرتوهای الکترومغناطیسی تحت تاثیر مغناطیس سپهر زمین قرار نمی گیرند اما ذرات باردار الکتریکی به شدت متاثر می شوند. همان طور که شکل ۱۴ نشان می دهد میدان مغناطیسی بر ذره ی باردار متحرک نیرو وارد کرده موجب حرکت مارپیچی ذره در اطراف خطوط میدان می شود.



شکل ۱۴ اثر میدان مغناطیسی: یک ذره باردار در اطراف خطوط میدان حرکت مارپیچی انجام می دهد. همگرایی خطوط نزدیک قطب های مغناطیسی موجب می شود ذرات از بین دو قطب حرکت کنند. بنابراین ذرات باردار به علت میدان مغناطیسی زمین درون خطوط میدان به دام افتاده اند.

به این ترتیب، ذرات باردار و عمدتاً الکترون ها و پروتون های موجود در بادهای خورشیدی توسط میدان مغناطیسی زمین مهار شده و در کمربندهای وان آلن جمع می شوند. ذراتی که در کمربند درونی به دام می افتند (درمقایسه با بیرونی) پراثرژی و متراکم تر هستند. واقعیت این است که چون کره خاکی ما دائماً تحت بمباران شدید این ذرات قرار دارد، بنابراین بدون محافظت کمربندهای وان آلن حتی موجودات تک سلولی نیز نمی توانستند در زمین زنده بمانند. برای مثال بدون حفاظ کافی روی سفینه فضایی آپولو، زنده ماندن فضا نوردان در عبور از مغناطیس سپهر در سفر به ماه ممکن نبود.

به طور خلاصه مغناطیس سپهر در کنترل آثار مخرب ذرات باردار، مهمترین نقش را برای ساکنان زمین ایفا می کند. حتی بعضی پژوهش گران بر این عقیده اند که اگر مغناطیس سپهر از ابتدا وجود نداشت هرگز حیات روی این سیاره بوجود نمی آمد.

شفق قطبی:

در اوقاتی که فعالیتهای خورشید زیاد می گردد تراکم ذرات باردار درون کمربندهای وان آلن زیاد می شود. برخورد این ذرات با مولکول ها یا اتم های موجود در جو در نزدیکی قطبها، منظره ای بسیار تماشایی به نام شفق قطبی را به وجود می آورد (شکل ۱۵).



(الف)

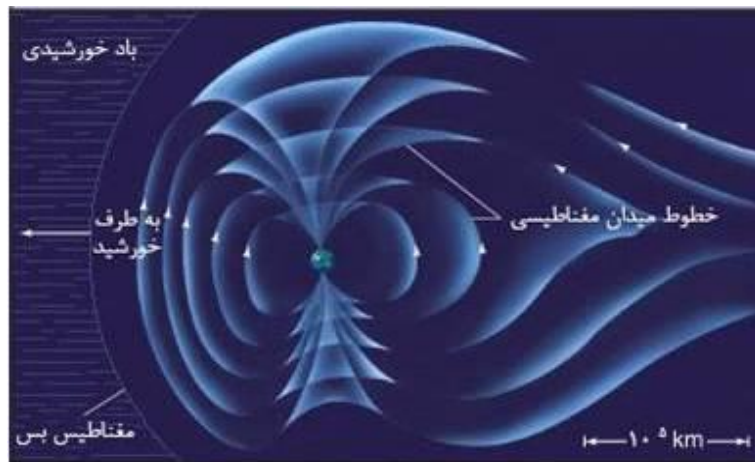


(ب)

شکل ۱۵ شفق قطبی: (الف) شفق رنگی به سرعت در آسمان تابش می کند همانند پرده بزرگ رقصانی که در تاریکی شب می درخشد. بعد از این که ذرات مغناطیس سپهر با مولکول های جوی برخورد می کنند شفق قطبی به وسیله گسیل نور تولید می شود. وقتی که یون ها، اتم ها و مولکول های پراکنده به حالت پایه شان بر می گردند، رنگ ها تولید می شوند (ب) شفق قطبی را از بالای سطح زمین نشان می دهد که از ماهواره فضایی ناسا گرفته شده است.

مولکول های هوا در برخورد با ذرات باردار پر انرژی، برانگیخته شده و هنگام بازگشت به حالت پایه از خود نور گسیل نموده و شفق را به وجود می آورند. گذار بین لایه های مختلف در انواع اتم ها و مولکول های موجود در جو، دلیل ایجاد رنگ های گوناگون شفق قطبی است که البته به سرعت در آسمان از بین می رود. بیشترین درخشندگی این پدیده در عرض های جغرافیایی بالا و نزدیک به قطب شمال و جنوب رخ می دهد. در شمال، این منظره تماشایی، شفق شمالی و در جنوب، شفق جنوبی نامیده می شود. معمولاً بعد از طوفان های شدید خورشیدی، کمربند های وان آلن بیشتر از حد معمول بار اضافی پیدا کرده و تغییر شکل می دهند. در چنین مواقعی شفق ها، در عرض های جغرافیایی پایین تر نیز دیده می شوند. برای مثال در آمریکای شمالی، شفق شمالی به طور منظم در کانادای شمالی و آلاسکا رخ می دهد ولی در زمان فعالیت های شدید خورشیدی، این پدیده در جنوب ایالات متحده هم رویت می گردد.

کره مغناطیسی آن چنان که در شکل ۱۶ نشان داده شده مقارن نیست. ماهواره ها شکل صحیح آن را برای ما مشخص کرده اند. در واقع این کره، توسط بادهای خورشید از شکل کره کامل در آمده و در امتداد نیمکره ی از زمین، که خلاف جهت خورشید است، همچون حفره ای اشک مانند تا فواصل طولانی در فضا گسترش یافته است. در عوض آن قسمت از کره مغناطیسی که رو به خورشید قرار دارد توسط جریان ذرات با انرژی بالای موجود در بادهای خورشیدی فشرده گردیده است. مرز بین مغناطیس سپهر و بادهای خورشیدی با عنوان مغناطیس بس شناخته می شود و حدوداً ۱۰ برابر شعاع زمین از سیاره ما فاصله دارد. خطوط میدان مغناطیسی در طرف دیگر امتدادی بسیار طولانی داشته و حتی گاهی از مدار ماه هم فراتر می رود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ مغناطیس سپهر زمین: شکل نشان می دهد که چگونه مغناطیس سپهر زمین به وسیله باد های خورشیدی تغییر شکل داده و امتداد آن در ناحیه ای که خلاف جهت خورشید است تا فواصل طولانی در فضا گسترش یافته است.

جزر و مد (کشند):

زمین در میان سیارات منظومه شمسی از این نظر که مقادیر بسیار زیادی آب بر روی پوسته خود دارد منحصر به فرد است. تقریباً سه چهارم سطح زمین با عمق متوسطی در حدود ۳/۶ کیلومتر از آب پوشیده شده است. تنها ۲ درصد از کل آبهای روی زمین را دریاچه ها، رودخانه ها، ابرها و توده های یخ تشکیل می دهند. ۹۸ درصد باقیمانده، مربوط به اقیانوس هاست که به هیدروسپهر معروف هستند.

پائین رفتن و بالا آمدن آب در هیدروسپهر و یا به عبارتی نوسان شبانه روزی سطح تراز اقیانوس ها را جزر و مد می نامند. در همه مناطق ساحلی در هر شبانه روز، دو جزر و دو مد اتفاق می افتد.

با توجه به مکان خاص روی زمین و همچنین زمانی از سال که این پدیده رخ می دهد، ارتفاع جزر و مد ها می تواند از چند سانتی متر تا چندین متر باشد. ارتفاع نوعی مد که در اقیانوس های آزاد حدود یک متر است اگر به صورت قیف به درون یک دهانه باریک مثل دهانه یک رودخانه هدایت شود می تواند ده ها متر باشد. مثلاً دربخش هایی از سواحل آمریکا، ارتفاع مد حدود ۲۰ متر (کمی بیشتر از یک ساختمان ۶ طبقه) بالاتر از سطح تراز جزر است. جزر و مد در هر شبانه روز نسبت به شبانه روز قبلی حدوداً با ۴۰ دقیقه تأخیر رخ می دهد. علت اصلی این موضوع به حرکت ماه وابسته است چون ماه هر شب نسبت به شب قبلی حدوداً ۴۰ دقیقه دیرتر طلوع می کند.

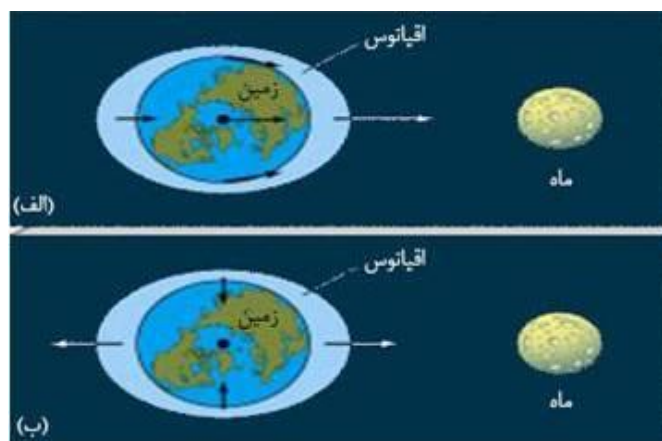
تغییر شکل گرانشی:

عامل جزر و مد چیست؟

با دقت در زمان های وقوع این پدیده، که می توان آنها را به دوره های مختلف روزانه، ماهانه و سالانه تقسیم کرد، می توان به این پرسش پاسخ داد.

در واقع، جزر و مدها نتیجه مستقیم تأثیرات گرانشی ماه و خورشید روی زمین هستند. همان طور که می دانیم نیروی جاذبه گرانشی، زمین و ماه را در مداری در کنار یکدیگر و هر دوی آنها را در مداری به دور خورشید نگه می دارد.

در ابتدا و برای سادگی بیشتر تنها بر همکنش متقابل زمین و ماه را در نظر می گیریم (در قسمتهای بعد خورشید را هم وارد می کنیم). با توجه به آن که قدرت نیروی گرانشی به فاصله جدایی دو جسم از یکدیگر بستگی دارد، پس جاذبه گرانشی ماه روی قسمتی از زمین که رو به ماه قرار دارد، نسبت به طرف مقابل که حدوداً ۱۲۸۰۰ کیلومتر (به اندازه قطر زمین) دورتر است، بیشتر می باشد. اختلاف گرانش ماه از یک طرف تا مرکز زمین، یک نمونه از نیروهای گرانشی اختلافی یا جزر ومدی است. هم چنان که نیروی گرانشی میانگین بین دو جسم، شکل مدار آنها به دور یکدیگر را مشخص می سازد، نیروی جزر ومدی روی این برهمکنش میانگین تاثیر گذاشته منجر به تغییر شکل اجسام می شود. این نیرو، با حاصلضرب جرم های دو جسم رابطه مستقیم و با توان سوم فاصله آنها رابطه عکس دارد. این اختلاف در نیروی گرانشی علیرغم کوچکی (فقط حدود ۳ درصد)، اثر قابل توجهی به روی زمین می گذارد که به برآمدگی جزر و مدی معروف می باشد. همان گونه که در شکل ۱۷ دیده می شود، زمین در راستای محور خود که تمایلش به سمت ماه است کمی طویل تر شده است.

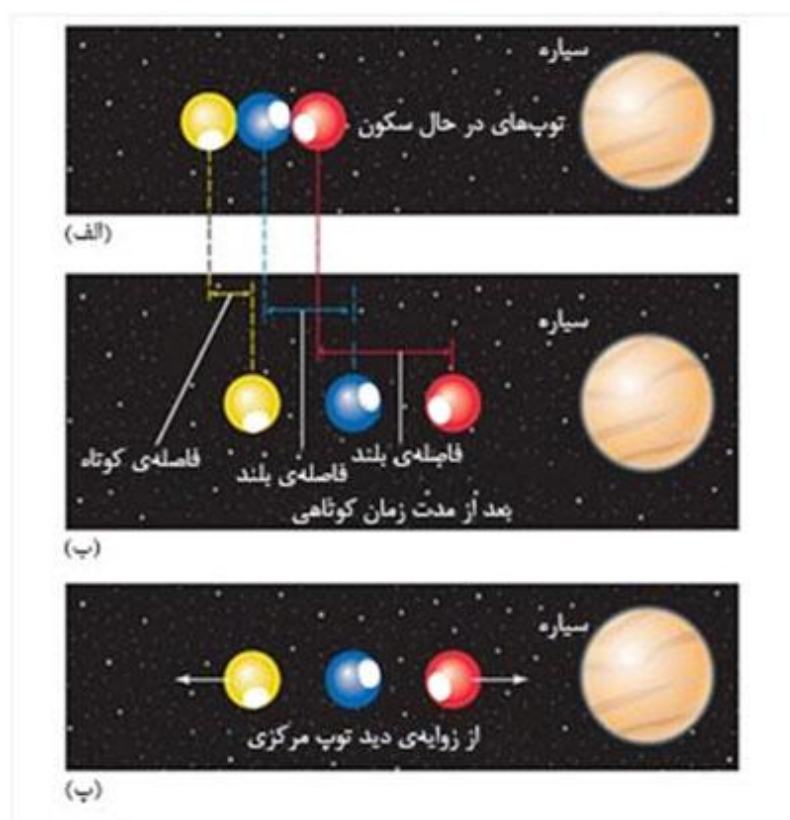


شکل ۱۷ جزر و مد ماه: شکل نمایش اغراق آمیزی از چگونگی ایجاد جزر ومد روی هر دو لبه ی زمین به وسیله ماه است (طول پیکان ها قدرت نسبی جاذبه گرانشی ماه روی قسمت های مختلف زمین را نشان می دهد). (الف) نیروی گرانشی ماه روی مناطق مختلف سطح و داخل زمین عمل می کند. اندازه این نیرو برای لبه نزدیک تر زمین بیشتر و برای لبه دیگر (دورتر به ماه) کمتر است. (ب) این شکل اختلاف میان نیروهای گرانشی ماه به یک نقطه را با نیرویی که بر مرکز زمین اثر می کند، نشان می دهد. پیکان ها به جهت برآمدگی یا تراکم در اثر نیروی اختلافی وارده از سوی ماه اشاره می کنند. موادی که در لبه نزدیک به ماه قرار دارند در معرض دور شدن از مرکز و موادی که در طرف مقابل هستند نیز در جهت مخالف از مرکز دور می شوند و لذا یک برآمدگی به وجود می آید.

به دلیل آنکه مایعات بیشتر از سایر مواد تحت تأثیر نیروهای اختلافی قرار دارند، بنابراین آبهای سرتاسر زمین بیشترین تغییر شکل را دارند. نتیجه این نیرو های جزر و مدی آن است که اقیانوس ها در امتداد خط واصل زمین و ماه، عمیق تر و عمود بر آن، کم عمق تر می شوند. البته این برآمدگی در مواد جامد زمین هم وجود دارد که صد برابر کوچکتر از برآمدگی آبها است.

جزر و مدهای شبانه روزی که به دلیل چرخش زمین به دور خود آنها را تجربه می کنیم ناشی از همین برآمدگی ها است. پیکان های شکل (۱۷-الف) جهت نیروی گرانش ماه را بر قسمت های مختلف زمین نشان می دهد. مطابق این شکل بیشترین کشش گرانشی در مناطقی از زمین رخ می دهد که نزدیک به ماه قرار دارد. مقدار این نیرو در مرکز زمین کمتر و در طرف مقابل ماه، باز هم کمتر می شود. همین موضوع باعث می شود که برآمدگی دو طرف زمین که در امتداد ماه قرار دارند تقریباً مساوی باشند. در واقع از دید ناظر مرکز زمین که اثر کل نیروها را ارزیابی می کند، نیروهای جزر و مدی اثری مطابق شکل ب را خواهند داشت.

برای درک بهتر، تصور کنید که سه توپ در امتداد یک خط و نزدیک به سیاره ای قرار گرفته اند (شکل ۱۸). مطابق قانون گرانش نیوتون، نیروی وارد بر توپ قرمز از طرف سیاره بیشتر از توپ آبی بوده و همچنین نیروی وارد بر توپ آبی بیشتر از توپ زرد است.

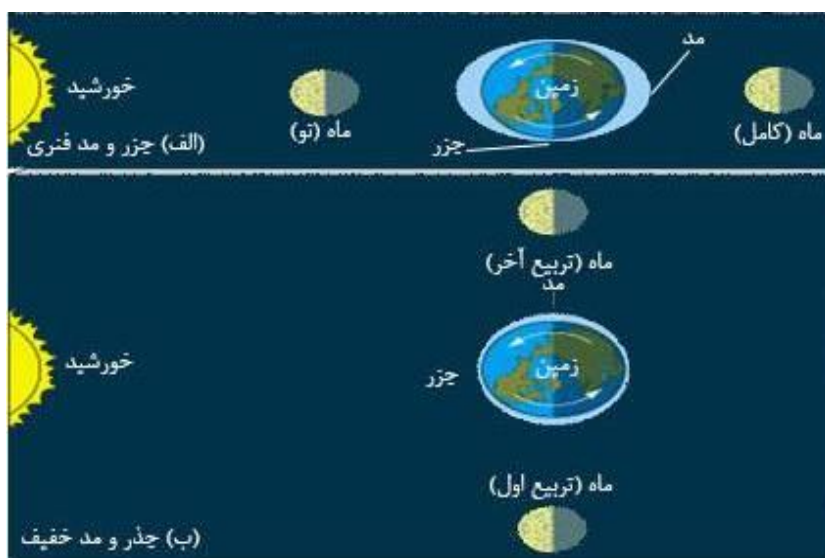


شکل ۱۸ منشأ نیروی کشندی: الف) سه توپ یکسان را که در فاصله ای از سیاره قرار دارند و رها می شوند در نظر بگیرید. ب) توپ نزدیک تر به سیاره نیروی گرانشی بیشتری را دریافت می کند بنابراین بعد از زمان کوتاهی که توپ ها از حالت سکون رها می شوند توپ آبی بیشتر از توپ زرد به سمت سیاره حرکت می کند و توپ قرمز مسافت بیشتری نسبت به بقیه حرکت می کند. پ) از نظر ناظر توپ آبی (ناظر مرکز جرم) به نظر می رسد که توپ قرمز به سمت سیاره حرکت می کند و توپ زرد از سیاره دور می شود. این نیروها، نیروهای اختلافی (کشندی) نامیده می شوند.

حال تصور کنید توپ ها به سبب جاذبه به سوی سیاره رها شوند. مسلماً پس از مدت کوتاهی توپ قرمز بیشتر از توپ آبی و توپ آبی بیشتر از توپ زرد به سیاره نزدیک می شود. اما از دید ناظر روی توپ آبی (ناظر مرکز جرم بین سه توپ)، به نظر می رسد که توپ قرمز دارد به سیاره نزدیک و توپ زرد از آن دور می شود.

ماه بر قسمت های مختلف زمین، اثری شبیه به سیاره ی شکل ۱۸ بر سه توپ دارد. نیروهای جزر و مدی ناشی از این قمر، زمین را در راستای خط واصل زمین- ماه کش می آورد و در راستای عمود بر آن فشرده می کند. قسمت های جامد زمین در اثر این نیروها تغییر محسوسی نداشته، اما آب های اقیانوس ها تغییر شکل می دهد. به همین علت در طول یک شبانه روز ساکنان هر نقطه روی زمین شاهد دو جزر و دو مد خواهند بود.

دقیقاً مشابه اثر ماه بر روی زمین، خورشید هم بر روی آب ها، نیرو وارد می کند. به علت فاصله زیاد خورشید از زمین، تأثیر این نیرو تقریباً نصف نیروی ناشی از ماه است. اما در مجموع، به جای آن که یک جفت برآمدگی جزرو مدی رخ دهد، دو جفت برآمدگی به وجود می آید که یکی از آنها به طرف ماه و دیگری به طرف خورشید است. این عوامل، ارتفاع جزر و مدها را در دوره های مختلف یک ماهه و یا یک ساله را تعیین می کنند. این تغییرات به طور مستقیم به موقعیت های مختلف ماه و خورشید نسبت به زمین بستگی دارد.



شکل ۱۹ جزر و مد خورشیدی و قمری: اثرات ترکیبی ماه و خورشید تغییراتی را در جزر و مد ایجاد می کنند. (الف) وقتی که ماه در مقارنه و بدر کامل است با، زمین و خورشید تقریباً در یک امتداد قرار دارند و برآمدگی های جزر و مدی اقیانوس ها که به وسیله ماه و خورشید ایجاد می شوند یکدیگر را تقویت می کنند. (ب) در تربیع اول و سوم اثرات جزر و مدی ماه و خورشید نسبتاً یکدیگر را خنثی کرده کوچک ترین جزر و مد ها را ایجاد می کنند. از آن جا که اثرات ماه از خورشید بیشتر است بنابراین برآیند برآمدگی به سمت ماه است.

ماه و خورشید وقتی که تقریباً با زمین در یک راستا قرار می گیرند (شکل ۱۹- الف)، اثرات یکدیگر را تقویت کرده و بلندترین جزر و مدها را تولید می کنند. این پدیده که همزمان با ماه نو یا بدر کامل رخ می دهد را جزر و مدهای فنی می نامند. درعوض هنگامی که خط واصل زمین- ماه بر خط واصل خورشید- زمین عمود شود، یعنی هنگامی که ماه در تربیع

اول و سوم از فازهای حرکت خود به دور زمین قرار دارد، جزر و مدهای روزانه کمترین مقدار خود را دارند و در اصطلاح جزر و مدهای خفیف رخ می دهند (شکل ۱۹-ب). با توجه به آنکه اثرات کششی ماه از خورشید بیشتر است بنابراین برآیند برآمدگی به سمت ماه خواهد بود.

اثرات جزر و مدها بر چرخش زمین:

همان طور که در فصل اول عنوان شد، یک شبانه روز نجومی مدت زمانی برابر با ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه است. واقعیت این است که این زمان در طول قرن ها ثابت نمی ماند. امروزه، از مطالعه فسیل های مرجانی اطلاعاتی به دست آمده است که حاکی از کند شدن تدریجی سرعت چرخش زمین است. این کاهش سرعت باعث شده تا طول شبانه روز ۱/۵ میلی ثانیه در هر قرن افزایش یابد.

البته این زمان در مقیاس زندگی انسان محسوس نیست ولی به هر حال این کاهش یکنواخت سرعت چرخش زمین در طول میلیون ها سال می تواند اثر قابل توجهی بر جای بگذارد. با این اطلاعات، در نیم میلیون سال پیش، مدت یک شبانه روز تنها ۲۲ ساعت بوده و یک سال شمسی ۳۹۷ شبانه روز شمارش می گردیده است.

در طبیعت، ساعت های زیستی وجود دارند که ما را به نتیجه اخیر در مورد کاهش سرعت چرخش زمین رهنمون می سازند. گونه ای خاص از مرجان در برخی از سواحل یافت می شوند که بعد از گذشت هر شبانه روز، یک علامت بر روی آنها به جای می ماند. این علامتهای رشد، شبیه حلقه های سالانه ای هستند که در تنه درختان مشاهده می شوند با این تفاوت که در مورد مرجان ها ظهور آنها، متناسب با یک شبانه روز خورشیدی است. در هر حال مرجان ها با رشد فصلی و ثبت علامت ها ی رشد بر روی خود، به ما این اجازه را می دهند که دوره های سالانه را مورد مطالعه قرار دهیم. این گونه ها، امروزه ۳۶۵ نشان رشد را در هر سال گزارش می دهند و این در حالی است که در گذشته تعداد علامت های به جای مانده بیشتر از مقدار کنونی بوده است.

از آن جا که این نشان های رشد، تنها متناسب با تابش خورشید در هر شبانه روز است، به راحتی می توان به این نتیجه رسید که طول شبانه روز در گذشته کوتاه تر، یا به عبارت دیگر سرعت چرخش زمین در ادوار گذشته بیشتر بوده است.

علت اصلی این کاهش سرعت، اثرات جزر و مدی و نیروهای گرانشی اختلافی هستند (خصوصاً اثرات ماه). در حقیقت برآمدگی جزر و مدی روی زمین که به وسیله ی ماه به وجود آمده (بر خلاف آن چه که در شکل های قبلی نشان داده شده است) دقیقاً به سمت ماه نیست (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ برآمدگی جزر و مدی: برآمدگی جزر و مدی روی زمین مستقیماً به طرف ماه نیست. اما به خاطر اثرات اصطکاکی نقاط برآمدگی به آرامی در راستای چرخش زمین جا به جا می شوند (بزرگ نمایی این اثر در شکل بالا به صورتی اغراق آمیز نمایش داده شده است). به دلیل این که جاذبه گرانشی ماه روی طرف نزدیک تر از طرف دورتر بیشتر است و سرعت دوران ماه به دور زمین و سرعت دوران زمین به دور خودش با یکدیگر تفاوت دارند، سرعت چرخش زمین تحت اثر بر آیند به وجود آمده کاهش می یابد.

در این جا اثر بر آیندی به خاطر اثرات اصطکاکی (میان پوسته و اقیانوس ها و همچنین درون خود زمین) وجود دارد که باعث می شود، برآمدگی جزر و مدی در اطراف زمین همراه با آن جا به جا شود و با زاویه ی کوچکی از راستای خط واصل ماه و زمین در جهتی که زمین دوران می کند منحرف شود و نهایتاً منجر به کاهش سرعت چرخش زمین شود.

نیروهای جزر و مدی ناشی از زمین و خورشید بر روی ماه، دلیل اصلی تک رخ بودن ماه از دید ناظر زمینی است (قفل گرانشی). نکته دیگر این که، علیرغم این که ماه آب ندارد اما به دلیل نرم تر بودن سطح آن، برآمدگی های جزر و مدی روی سطح جامد آن اثرات قابل توجه به جای می گذارد.

فصل پنجم:

خورشید

ستاره ی مادر

اهداف فصل:

مطالعه این فصل شما را قادر می سازد:

- اهمیت مطالعه ی خورشید را توضیح دهید.
- خواص کلی خورشید را به طور خلاصه بیان کنید.
- فرآیندی که باعث تولید انرژی در خورشید می شود را توضیح دهید.
- توضیح دهید که چگونه مشاهده هسته ی خورشید دانسته های مبانی فیزیکی اخیر ما را مورد چالش قرار می دهد.
- ساختار کلی خورشید را نام ببرید.
- توضیح دهید که چگونه انرژی از هسته خورشید، از طریق نواحی داخلی خورشید، به فضا منتقل می شود.
- لایه های بیرونی خورشید (جو خورشیدی) را نام ببرید و توضیح دهید که چگونه این لایه ها اطلاعاتی در مورد ترکیبات و دمای سطحی خورشید به ما می دهند.
- فعالیت های خورشیدی را نام برده و هر یک را توضیح دهید.
- در مورد ماهیت میدان مغناطیسی خورشید و رابطه آن با انواع مختلف فعالیت های خورشیدی بحث کنید.

ویژگی های خورشید:

خورشید بزرگ ترین و درخشان ترین شیء در منظومه ی شمسی است که با فاصله ای حدود ۸ دقیقه نوری از زمین، نزدیک ترین ستاره به ما می باشد. به دلیل همین نزدیکی، این ستاره می تواند یک مدل مناسب برای مطالعه به حساب می آید. بدین معنی که، صرف نظر از زمان و مکان شکل گیری، خواص فیزیکی و شیمیایی آن خیلی شبیه به بسیاری از ستارگان آسمان می باشد. با توجه به این واقعیت، منجمان می توانند دانش پدیده های خورشیدی را برای تعداد زیادی از ستاره ها به کار ببرند. شاید جالب باشد که بدانیم بعد از خورشید، آلفای قنطورس با فاصله ای حدود ۴/۳ سال نوری، ۳۰۰،۰۰۰ برابر بزرگتر از فاصله زمین تا خورشید است.

خورشید نه تنها تعیین کننده ی روز و شب برای ساکنان زمین می باشد، بلکه منبع اصلی انرژی است که آب و هوا، تغییرات فصل ها و زندگی روی زمین را کنترل می کند. این گوی درخشان گازی که حیات بشر بدون آن ممکن نیست، انرژی خود را از همجوشی هسته ای تامین می کند. ویژگی های خورشید در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱ : داده های خورشید

فاصله ی میانگین از زمین	۱ واحد نجومی- ۱۴۹۵۹۸۰۰۰ km
قطر زاویه ای متوسط	۳۲ دقیقه
جرم	$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$
	جرم زمین 3.33×10^5
شعاع استوایی	696000 km
	شعاع زمین 109
چگالی میانگین	$1410 \text{ kg} / \text{m}^3$

چگالی زمین	0.255
گرانش سطحی	274 m/s^2
۲۸ برابر زمین	
سرعت فرار	618 Km/s
دوره تناوب چرخش نجومی	25.1 (استوا) روز خورشیدی
	30.8 (عرض جغرافیایی) روز خورشیدی
قطب ها	36
داخلی	26.9
انحراف محوری	نسبت به استوا 7.25°
میانگین دمای سطحی (دمای موثر)	5800 K
دمای مرکز	$1.55 \times 10^7 \text{ K}$
درخشندگی	$3.86 \times 10^{26} \text{ w}$
فاصله از مرکز کهکشان	26000 سال نوری
دوره تناوب گردش به دور مرکز کهکشان	220000000 سال

فاصله

امروزه فاصله ی اجسام خاکی موجود در منظومه شمسی، را با ارسال یک پرتو لیزری به جسم مورد نظر و تعیین زمان رفت و برگشت پرتو تعیین می کنند. اما با توجه به ساختار گازی شکل خورشید، منجمان از روش های اندازه گیری غیر مستقیم استفاده می نمایند. بدین ترتیب که با مشخص بودن فاصله و دوره ی گردش یک شی که به دور خورشید می گردد، می توان از قانون سوم کپلر استفاده کرد و فاصله بین خورشید و زمین را محاسبه نمود.

به عنوان مثال می دانیم که فاصله ی متوسط بین زمین و مریخ 78389294 کیلومتر است. با توجه به قانون سوم کپلر :

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

$$\frac{(1.88)^2}{(1)^2} = \frac{(x + 78389294)^3}{x^3}$$

$$x = 149597890 \text{ km}$$

که T_1 دوره ی تناوب گردش مریخ و T_2 دوره ی تناوب گردش زمین و r_1 فاصله ی متوسط مریخ از خورشید است. بنابراین فاصله ی زمین تا خورشید 149597890 km (یک واحد نجومی) تعیین می گردد.

دمای مؤثر و چگالی

این ستاره مادر با دارا بودن بیشترین دمای سطحی به عنوان منبع اصلی تولید انرژی گرمایی برای کل منظومه به شمار می آید. دمای سطحی با استفاده از قوانین تابش و به وسیله طیف نگاری اندازه گیری می شود. توزیع تابش، تقریباً شبیه به منحنی یک جسم سیاه با دمای حدوداً 5800 کلوین است. حرارت متوسطی که از این روش به دست می آید، به عنوان دمای مؤثر خورشید شناخته می شود. مدل های خورشیدی دمای مرکز را در حدود پانزده میلیون کلوین برآورد می کنند.

چگالی میانگین خورشیدی در حدود 1400 kg/m^3 است که کاملاً شبیه به سیارات مشتری گون و حدود یک چهارم چگالی متوسط زمین است.

چرخش

خورشید همانند سیاره های منظومه شمسی به دور خود می چرخد. این پدیده را می توان با دنبال کردن لکه های خورشیدی (بخش آخر این فصل) و دیگر ویژگی های سطحی آن اندازه گیری کرد. این مشاهدات نشان می دهد که تمام نقاط این گوی بزرگ گازی شکل، همانند یک جسم صلب دارای سرعت زاویه ای یکسان نمی باشند. در واقع حرکت چرخشی نقاط مختلف، وابسته به عرض جغرافیایی آنها می باشد. این حرکت در استوا سریع تر و در حدود ۲۵ روز، و در قطب ها کندتر و حدوداً ۳۶ روز طول می کشد. به دلیل همین اختلاف، این چرخش به چرخش تفاضلی موسوم است.

درخشندگی:

در فصل ۳ با ویژگی هایی از سیاره های منظومه مانند شعاع، جرم، چگالی، سرعت چرخش و... آشنا شدیم. خورشید به دلیل آنکه یک ستاره است یک ویژگی دیگر نیز دارد.

این ستاره در هر لحظه مقدار زیادی انرژی به طور یکنواخت و در همه جهت ها به فضای اطراف تابش می کند. به کمک یک صفحه حساس به نور (سلول خورشیدی) که در راستای عمود بر پرتو ها قرار گرفته باشد، می توانیم آهنگ انرژی فرودی را

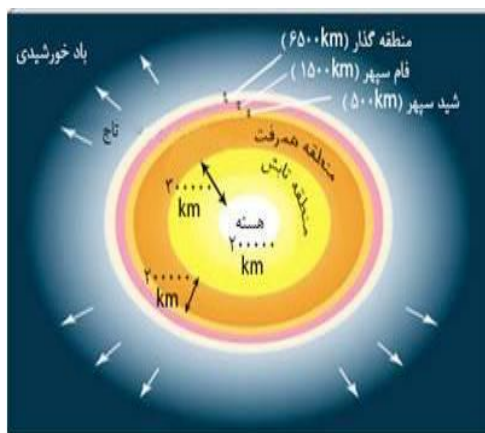
اندازه گیری کنیم. مقدار انرژی که در هر ثانیه به واحد سطح می رسد، به عنوان ثابت خورشیدی شناخته می شود که در حدود ۱۴۰۰ وات بر متر مربع است. شخصی که در آفتاب دراز کشیده و دارای سطحی حدود نیم متر مربع است انرژی را با آهنگ ۷۰۰ وات دریافت می کند.

برای بدست آوردن مقدار انرژی کل خروجی، کره ای سه بعدی به مرکز خورشید و شعاع یک واحد نجومی را در نظر می گیریم به طوری که سطح کره فرضی، مرکز زمین را قطع کند (شکل ۱). با ضرب کردن ثابت خورشیدی در مساحت کره ($\times 10^{23} \text{ m}^2$)، می توانیم آهنگ کل انرژی خروجی از سطح را محاسبه کنیم. این کمیت درخشندگی خورشید نامیده می شود.



شکل ۱ درخشندگی: یک کره فرضی به مرکز خورشید و شعاع یک واحد نجومی رسم کنیم. با ضرب کردن مساحت کره در ثابت خورشیدی، درخشندگی خورشید- مقدار انرژی که در هر ثانیه از خورشید گسیل می شود- قابل محاسبه است.

ساختار کلی خورشید:



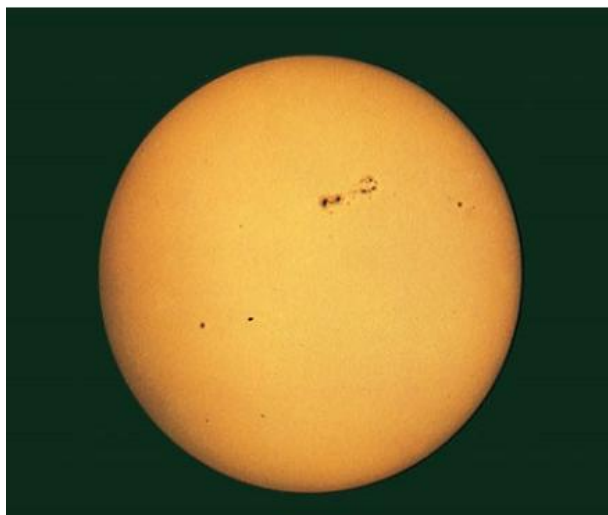
شکل ۲ ساختار کلی خورشیدی: نواحی اصلی خورشید و ضخامت فیزیکی آنها مشخص شده است.

جدول ۲: مدل استاندارد خورشیدی

خواص	چگالی kg/m^3	دما K	شعاع داخلی km	
تولید انرژی از طریق همجوشی هسته ای	150000	15000000	0	هسته
انتقال انرژی از طریق تابش الکترومغناطیس	15000	7000000	200000	منطقه تابش
انتقال انرژی از طریق فرآیند همرفت	150	2000000	500000	منطقه همرفت
سطح ظاهری خورشید - فرار تابش الکترومغناطیس از این سطح	2×10^{-4}	5800	696000 *	شید سپهر
جو پایینی خورشید - خنک	5×10^{-6}	4500	696500 *	فام سپهر
افزایش سریع دما	2×10^{-10}	8000	698000 *	منطقه گذار
جو بالایی خورشید - چگالی پایین - داغ	10^{-12}	1000000	706000	تاج
فرار مواد خورشیدی به فضا از سیستم خورشیدی	10^{-23}	2000000	10000000	باد خورشیدی

شکل ۲ قسمت های اصلی خورشید را نشان می دهد. مشخصات این نواحی در جدول ۲ به طور خلاصه بیان شده است.

سطح خورشید جامد نیست بلکه کره ی گازی زرد رنگی است که ما آن را با چشم (در هنگام کسوف) یا از طریق تلسکوپ و البته با صافی مناسب می بینیم. این سطح ظاهری خورشید شید سپهر نامیده می شود. فاصله این قسمت از مرکز در حدود ۷۰۰۰۰۰ کیلومتر، و ضخامت آن حدود ۵۰۰ کیلومتر است. شید سپهر نازک ترین ناحیه این ستاره محسوب می شود و به همین علت است که لبه خورشید را دقیق و واضح می بینیم (شکل ۳).



شکل ۳ شید سپهر: لایه ای از جو خورشید است که نور مرئی از آن گسیل می شود. توجه کنید که خورشید در لبه ها تاریک تر به نظر می رسد، این لبه ها بخش بالایی شید سپهر است که نسبتاً خنک تر بوده و بنابراین با نور کمتری می درخشد. (همچنین لکه های تاریک خورشیدی نواحی نسبتاً خنک ترند).

دقیقاً بالای شید سپهر، ناحیه ی پایینی جو خورشید با ضخامتی در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر قرار دارد که فام سپهر نامیده می شود. از ۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر بالای شید سپهر، ناحیه ای به نام منطقه گذار واقع شده که در آن دما به طور فوق العاده ای افزایش می یابد. بعد از این منطقه، تاج خورشیدی قرار دارد که قسمتهای بالای جو محسوب می شود. به علت دمای بالا در این منطقه ذرات پر انرژی از قسمت های بالایی تاج به خارج، و در تمام منظومه پخش می شوند که به آنها باد خورشیدی می گویند. اغلب شید سپهر، فام سپهر و تاج را جو خورشید می نامند.

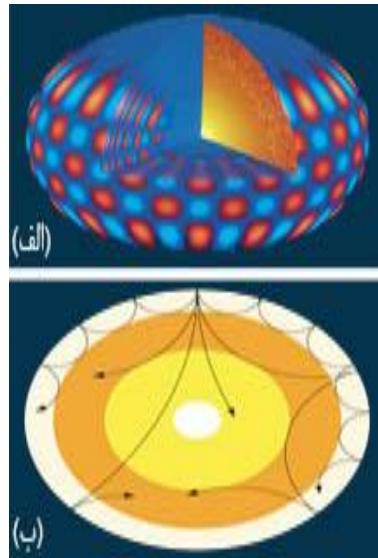
۲۰۰۰۰۰ کیلومتر پایین تر از شید سپهر منطقه ای وجود دارد که به ناحیه ی همرفت موسوم می باشد. این نام گذاری به این خاطر است که انتقال انرژی از نواحی داخلی به سمت جو، در این قسمت و از طریق فرایند همرفت رخ می دهد. پایین این ناحیه، منطقه تابش قرار دارد که در آن انرژی خورشیدی به وسیله تابش به ناحیه همرفت منتقل می شود. هسته یا قلب خورشید، با شعاعی حدود ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر مهمترین ناحیه این ستاره را تشکیل می دهد، زیرا تولید انرژی از طریق واکنش های گرما هسته ای در این قسمت انجام می شود.

هسته، منطقه های تابش و همرفت را ناحیه داخلی خورشید می نامند.

زلزله شناسی خورشیدی:

نوری که از خورشید به چشم ما می رسد مربوط به ناحیه ی شید سپهر است. از آن جا که هیچ گونه اطلاعات مستقیمی درباره نواحی پایین تر از این قسمت در دسترس نمی باشد، بنابراین منجمان مجبور هستند تا به روش های غیر مستقیم رو آورند. آنها به منظور تکمیل تحقیقات، مدل های ریاضی را شبیه سازی و همه مشاهدات قابل دسترس را با مفاهیم فیزیکی ترکیب کرده و نتیجه را به عنوان مدلی موسوم به مدل استاندارد خورشیدی ارائه نموده اند.

یکی از قدرتمندترین روش ها برای آزمودن و بهبود بخشیدن به مدل استاندارد، اندازه گیری ارتعاشات خورشید است. مطالعه ی ارتعاشات ابزار مفیدی برای آزمایش ساختار درونی بسیاری از اشیا است. میوه فروشان برای این که رسیده بودن هندوانه ها را بررسی کنند با زدن ضربه هایی روی آنها صدای ارتعاشات درون هندوانه را گوش می کنند. همچنین در فصل قبل دیدیم که زمین شناسان ساختار درونی زمین را از راه بررسی ارتعاشات ناشی از زمین لرزه، مطالعه می کنند.



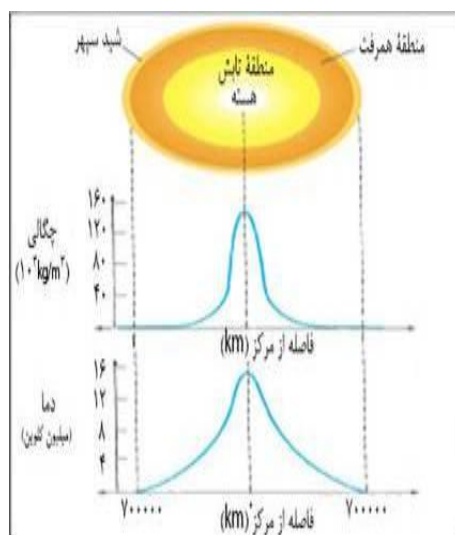
شکل ۴ ارتعاشات خورشیدی: (الف) خورشید با شیوه ای پیچیده ارتعاش می کند. دانشمندان با مشاهده حرکت سطح خورشید طول موج و بسامدهای امواج را به طور جداگانه تعیین می کنند و اطلاعاتی از درون آن به دست می آورند که با روش های دیگر به دست نیامده اند. بخش هایی که به سمت درون حرکت می کنند با رنگ قرمز و آنهایی که به سمت بیرون حرکت می کنند با رنگ آبی نشان داده شده اند. (ب) با توجه به جهت های اولیه ی امواج، نوسانات خورشیدی ممکن است به عمق داخلی حرکت کنند و اطلاعات بسیار مهمی درباره ی لایه های درونی خورشید بدهند.

سطح خورشید شبیه مجموعه ای از ناقوس ها ارتعاش می کند. این واقعیت را نخستین بار رابرت لیتون از موسسه ی فناوری کالیفرنیا (کلتک) در دهه ۱۹۶۰ میلادی کشف کرد. او با اندازه گیری انتقال دوپلری که در قسمت های مختلف سطح اتفاق می افتد، نشان داد که بعضی نقاط در حدود ۱۰ متر در هر ۵ دقیقه بالا و پایین می روند. این ارتعاشات که در شکل ۴ - الف، نشان داده شده، نتیجه فشار داخلی امواجی (از نوع صوتی) هستند که به بیرون از شید سپهر بازتاب، و به طور مداوم در داخل این ستاره رفت و آمد می کنند (شکل ۴ - ب). از آن جایی که این امواج به اعماق داخلی نفوذ می کنند تجزیه و تحلیل الگوی سطحی آن ها این اجازه را به اخترشناسان می دهد تا شرایط زیر سطح را مطالعه کنند. این فرایند شبیه به روشی است که زمین شناسان با مشاهده امواج P و S تولید شده توسط زلزله، ساختار درون زمین را بررسی می کنند. به علت همین تشابه، مطالعه ی الگوی سطح خورشید را زلزله شناسی خورشیدی می نامند.

از اواسط دهه ی ۱۹۷۰ رصدها ارتعاشات خفیف تری از سطح را گزارش کردند که دوره ی تناوب آنها بین ۲۰ تا ۱۶۰ دقیقه بود. برای بررسی این پدیده ها، ستاره شناسان شبکه ای از تلسکوپ ها را در نقاط مختلف زمین و همچنین در مدارهایی بین زمین و خورشید قرار دهند تا پیوسته این ارتعاشات را ثبت کنند.

طرح تحقیقاتی به نام GONG (Global Oscillations Network Group) جزئیات دقیق ارتعاشاتی که در سطح روی می دهد را مطالعه می کند. ستاره شناسان می توانند همه روزه با مشاهده مداوم خورشید، داده های گسترده ای را به طور پیوسته به دست بیاورند.

در سال ۱۹۹۵ ماهواره ی سوهو (Solar and Heliospheric Observatory – SOHO) توسط آژانس فضایی اروپا پرتاب شد. این کاوشگر که امروزه بین زمین و خورشید، و در فاصله ۱/۵ میلیون کیلومتری از زمین مستقر شده است، امکان دیده بانی دائمی از جو و سطح این ستاره را فراهم می کند. تحلیل داده های این کاوشگر اطلاعات زیادی را در مورد دما، چگالی، سرعت چرخش و وضعیت همرفت نواحی داخلی، و امکان مقایسه بین نظریه و واقعیت را فراهم می کند. با مطالعه بخش های بزرگی از خورشید، توافق بین مدل استاندارد و مشاهده های انجام شده چشمگیر است. فرکانس ها و طول موج های مشاهده شده نوسانات خورشیدی (با حدود یک درصد خطا)، با پیش بینی های مدل استاندارد در تطابق می باشد.



شکل ۵ تغییرات چگالی و دما در درون خورشید: نمودار نظری چگالی و دمای داخلی نشان داده شده است. هر سه قسمت تغییرات این کمیت ها را نسبت به مرکز توصیف می کند.

شکل ۵ یکی از پیش بینی های مدل استاندارد است که بر اساس آن، تغییرات چگالی و دمای خورشید را بر حسب فاصله از مرکز نشان می دهد. توجه کنید که با افزایش شعاع، چگالی (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب) ابتدا خیلی سریع افت می کند و سپس نزدیک شید سپهر به کندی کاهش می یابد. با دور شدن از مرکز، مقدار این کمیت از ۱۵۰۰۰۰ (۲۰ برابر چگالی آهن)، تا مقدار متوسط ۱۰۰۰ (چگالی آب)، تغییر می کند. این عدد در شید سپهر به 2×10^{-4} (۱۰۰۰۰ برابر کمتر از چگالی هوای زمین)، می رسد. مشاهده می شود که چگالی هسته، بسیار بالا است به طوریکه تقریباً ۹۰ درصد جرم خورشید در نیم-شعاع داخلی آن قرار دارد. چگالی در بیرون از شید سپهر به شدت کاهش می یابد تا این که در فواصل دور از تاج به 10^{-23} می رسد. این مقدار یعنی بهترین خلاءای که فیزیکدانان در آزمایشگاه ها می توانند ایجاد کنند.

دما نیز با افزایش شعاع کاهش می یابد (اما با شیبی ملایم تر از چگالی). مدل استاندارد دمای حدود ۱۵ میلیون کلون را در قلب خورشید پیش بینی می کند. این دما با حداقل دمای مورد نیاز برای شروع واکنش های هسته ای (حدود ۱۰ میلیون کلون) سازگار است. دما در شید سپهر به حدود ۵۸۰۰ کلون کاهش می یابد.

انتقال انرژی از هسته ی خورشید به سطح:

در این قسمت به سوالات زیر پاسخ می دهیم:

- چرا با مطالعه ی فوتون های خارج شده از سطح نمی توان اطلاعاتی از مرکز خورشید به دست آورد؟
- چرا از شعاع ۵۰۰۰۰۰ کیلومتر به بالا انتقال انرژی به جای تابش از طریق همرفت صورت می گیرد؟
- چرا لبه ی شید سپهر تاریک به نظر می رسد؟
- چگونه می توان فام سپهر و تاج را مشاهده کرد؟
- علت افزایش ناگهانی دما در تاج چیست؟

ساختار درونی خورشید:

هسته یا قلب خورشید محل واکنش های گرما هسته ای است. در این فرآیند، همجوشی اتم های سبک هیدروژن منجر به تولید هلیوم و مقادیر زیادی انرژی (به شکل فوتون و نوترینو) می شود. اما این انرژی چگونه به سطح خورشید رسیده، و نهایتاً به فضای اطراف منتشر می گردد؟

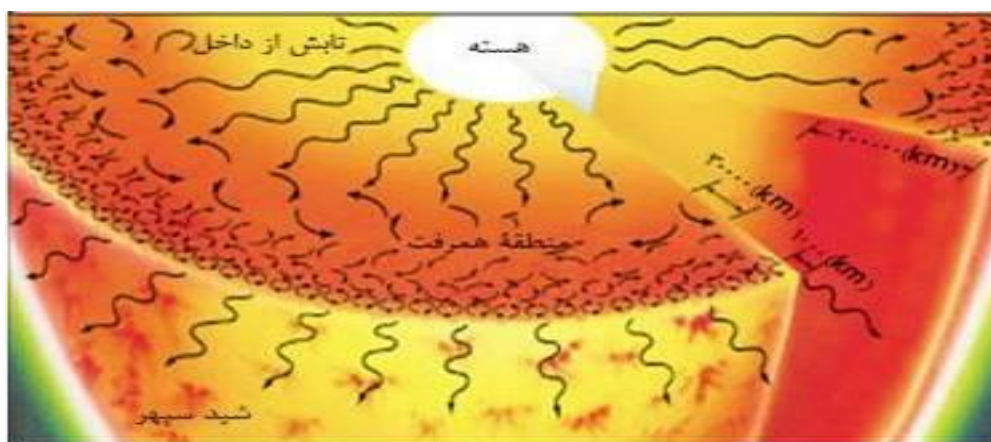
شروع منطقه تابش ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر بالاتر از مرکز خورشید است. به علت دمای بالا در این منطقه (حدود هفت میلیون کلون) الکترون در قید هسته باقی نمی ماند تا با فوتون های تولید شده ناشی از واکنش های هسته ای بر هم کنش کند. به عبارت دیگر محیط نسبت به تابش شفاف بوده و فقط ممکن است پراکندگی برای فوتون ها رخ دهد. نتیجه آن که انرژی تولید شده در قلب خورشید توسط فرآیند تابش به سطوح بالاتر می رسد.

با دور شدن از مرکز خورشید و کاهش دما، الکترون به هسته مقید شده و اتم ها شکل می گیرند. فوتون توسط اتم ها جذب شده و محیط نسبت به تابش کدر می شود، این قسمت شروع منطقه ی همرفت است.

در منطقه ی همرفت گازهای داغ به طور طبیعی به سمت بیرون و همزمان گازهای سرد به سمت قلب خورشید حرکت کرده تا الگوی مشخصی از سلول های همرفتی را ایجاد نمایند. همان طوری که در شکل ۶ نشان داده شده سلول های همرفتی به صورت گروهی، و در ردیف هایی با عمق های متفاوت قرار دارند. بزرگترین گروه، شامل سلول های به ضخامت ده ها هزار کیلومتر، در عمق ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر زیر شید سپهر واقع شده است. گرما به طور پیوسته از میان گروهی از سلول ها جابجا شده و نهایتاً به کوچک ترین مجموعه، با ابعادی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر، می رسد.

در واقع ابتدای ناحیه شید سپهر، بالاترین قسمت منطقه همرفت است که از دید ما سطح مرئی خورشید می باشد. اگر این امکان فراهم باشد که با یک تلسکوپ قوی به این قسمت نگاه کنیم، ابعاد سلول های بیرونی به طور مستقیم قابل مشاهده خواهد بود. مدل های ارائه شده مربوط به قسمتهای همرفتی که در زیر سطح مرئی قرار دارند غالباً از مدل های کامپیوتری استنتاج می شوند.

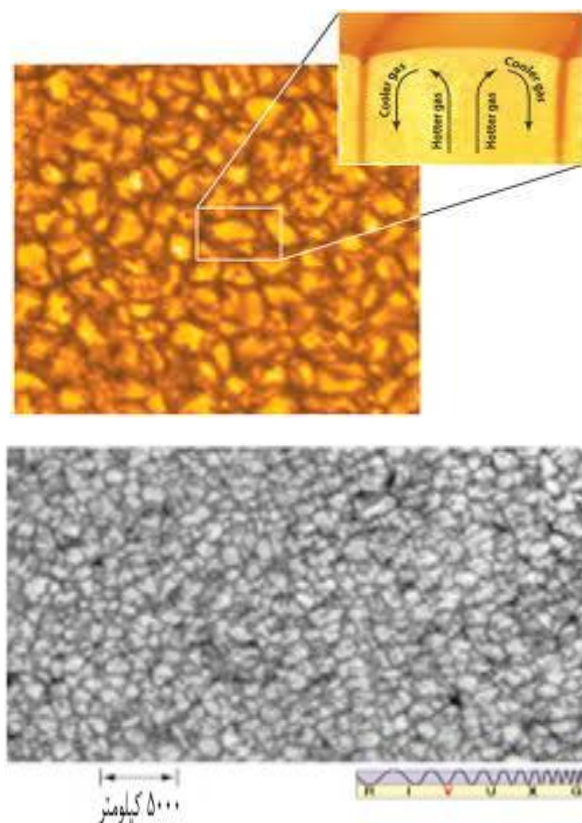
هر چه از قلب دور می شویم چگالی کاهش می یابد. بنابراین در فواصل دور از این قسمت، گاز خورشیدی بسیار رقیق شده و گرما نمی تواند توسط جریان همرفت منتقل شود. چگالی گاز در این قسمتی که تقریباً بر سطح پایینی شید سپهر خورشید منطبق شده، آن قدر کم است که گاز شفاف می شود و بار دیگر انتقال انرژی توسط تابش صورت می گیرد. فوتون های رسیده به این ناحیه آزادانه به فضا می گریزند و شید سپهر مانند هر جسم داغ دیگر تابش گرمایی گسیل می کند. چون انتقال از کدری به شفافیت کامل، خیلی سریع رخ می دهد، شید سپهر باریک به نظر می رسد. دقیقاً زیر شید سپهر گاز هنوز در منطقه همرفت است و تابش مستقیمی به ما نمی رسد.



شکل ۶ همرفت خورشیدی: شکل انتقال انرژی در منطقه ی همرفت را نشان می دهد. می توانیم قسمت فوقانی این ناحیه را به صورت دریایی از گاز جوشان و متلاطم تصور کنیم. حلقه های همرفتی در این محدوده ، عرضی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر دارند. ابعاد سلول های همرفتی با نزدیک شدن به سطح به تدریج کوچک تر می شوند.

سیمای دانه دانه ای (خالداری) شید سپهر شاهی بر انتقال انرژی از طریق فرآیند همرفت در درون خورشید است. شکل ۷، عکس بسیار تفکیک پذیر از سطح خورشید را نشان می دهد. دانه های ریز، ناحیه هایی از گاز هستند که به صورت نقاط روشن و تاریک نشان داده شده است. ابعاد دانه ها ۱۰۰۰ کیلومتر است و عمری بین ۵ تا ۱۰ دقیقه دارند. اختلاف دمای دانه های روشن و تاریک کمتر از ۵۰۰ کلوین است. در هر زمان حدود ۴۰۰۰۰۰۰ دانه سطح خورشید را می پوشانند. خطوط طیفی آشکار شده از دانه های روشن، نشان دهنده انتقال به آبی گازهایی هست که با سرعت یک کیلومتر بر ثانیه به ما نزدیک می شود. در حالی که طیف نمایی های نواحی تاریک تر نشان دهنده انتقال به قرمز خطوط طیف و دور شدن گاز در امتداد

مرز بین دانه های روشن است. این رخداد های طبیعی در فوقانی ترین قسمت ناحیه ی همرفت (یا پایینی ترین قسمت شید سپهر) به وجود می آید.



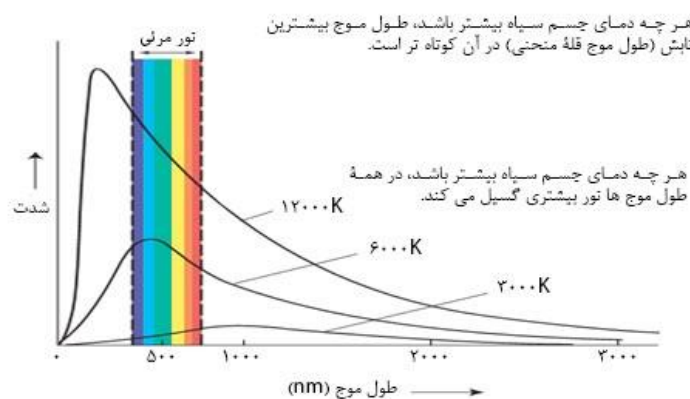
شکل ۷ سطح دانه دانه ای شید سپهر: قسمت درخشان شکل نواحی را نشان می دهد که مواد داغ از زیر به سمت بالا حرکت می کنند. نواحی تاریک متناظر با گازهای سرد تری است که به سمت داخل خورشید، پایین می روند. (رصد خانه خورشیدی دب اکبر)

جو خورشیدی:

قبل از این که با مطالعه و بررسی طیف خورشید، اطلاعاتی در مورد ترکیبات این ستاره به دست آوریم، مختصری به بحث طیف سنجی می پردازیم: (یادگیری مطالب این بخش در فصل ستارگان نیز به شما کمک خواهد کرد.)

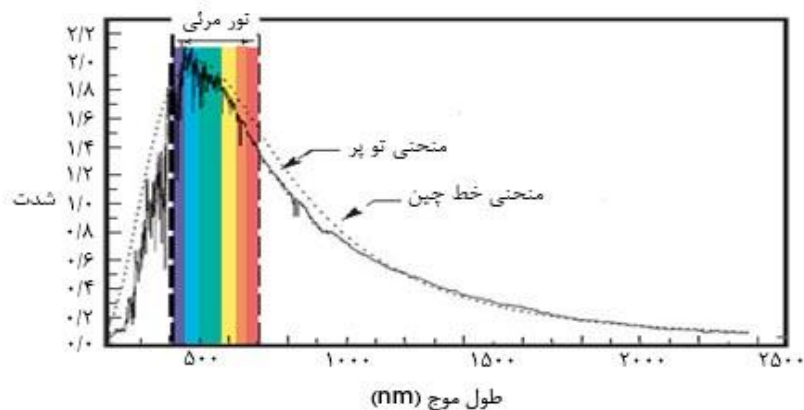
در اوایل سال ۱۸۱۴ جوزف فون فرانیهوفر پرتویی از نور خورشید را از میان منشور گذراند و کشف کرد که طیف پیوسته مربوطه در ناحیه ی مرئی، شامل صدها خط نازک و تیره است که امروزه این خطوط به خطوط جذبی معروف می باشند. فرانیهوفر حدوداً ۶۰۰ خط تیره را در طیف خورشید شمرد. امروزه بیشتر از ۳۰۰۰۰ خط جذبی می شناسیم.

شکل ۸ منحنی های پیوسته مربوط به طیف جسم چگال ایده آلی است که جسم سیاه نامیده می شود. جسم سیاه کامل هیچ نوری بازتاب نمی کند بلکه هر تابشی را که به آن می رسد را جذب می کند. از آن جایی که چنین جسمی هیچ نوع تابش الکترومغناطیس را بازتاب نمی کند تمام تابشی که از آن گسیل می شود مربوط به گرمای داخلی آن است. در این نوع از تابش شکل منحنی ها به طور مستقیم به دما وابسته است.



شکل ۸ منحنی جسم سیاه: هر یک از منحنی ها شدت نور بر حسب طول موج را برای یک جسم سیاه و در دماهای متفاوت نشان می دهد. نوار رنگین کمانی، طول موج های نور مرئی را نشان می دهد. شدت منحنی 12000 K حدود 1000 برابر قله ی شدت منحنی 2000 K است.

تابش جسم سیاه مربوط به اجسام چگال و داغ است. از مقایسه ی انرژی تاییده شده از خورشید، با طیف حاصل از چنین جسمی، می توان چنین نتیجه ای گرفت که این گوی درخشان بسیار داغ مانند جسم سیاهی با دمای سطحی 5800 کلوین رفتار می کند (شکل ۹).



شکل ۹ خورشید به عنوان جسم سیاه: نمودار (منحنی توپر) نشان دهنده ی شدت طیف خورشید در گستره ی وسیعی از طول موج هاست که منطبق با منحنی شدت تابش گسیل شده از یک جسم سیاه در دمای ۵۸۰۰K است (منحنی خط چین). اندازه گیری در بالای جو زمین انجام شده است (که طول موج های معینی از نور خورشید را جذب می کند).

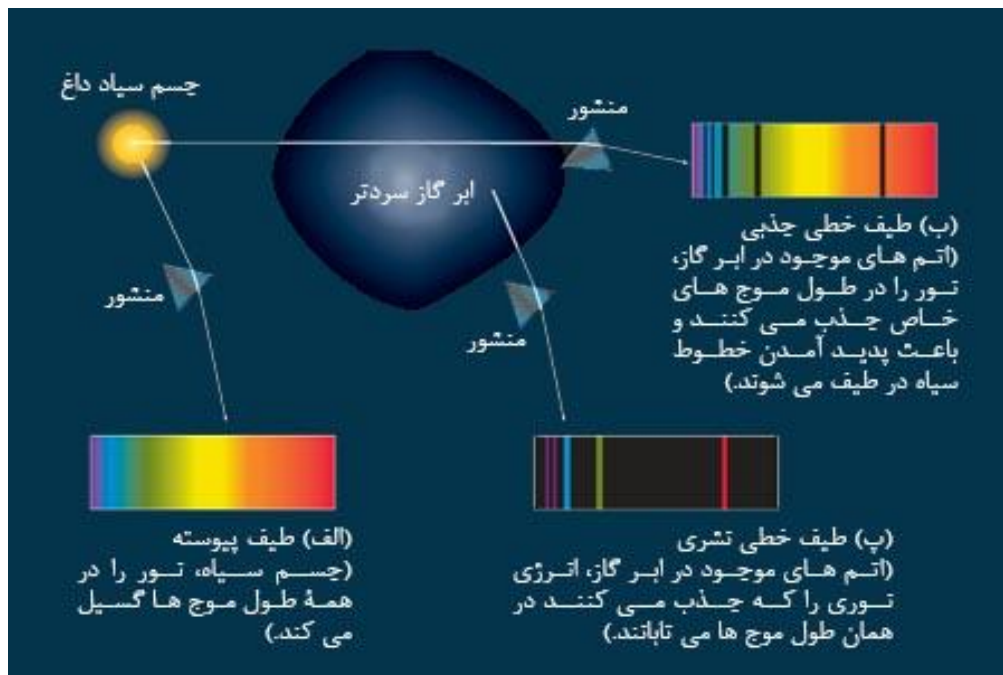
هر عنصر شیمیایی خطوط طیفی مخصوص به خود دارد. شناسایی عناصر بر اساس الگوی خطوط طیفی آنها اولین مرتبه، در سال ۱۸۵۹ میلادی ابداع شد. این شیوه، که اهمیت زیادی در ستاره شناسی دارد، منجمان را قادر می سازد که با بررسی طیف ستارگان، ترکیبات و میزان درصد مواد تشکیل دهنده آن ها را شناسایی کنند.

به طور کلی طیف اجسام بنا بر قوانین کیرشهف به سه صورت توضیح داده می شوند (شکل ۱۰).

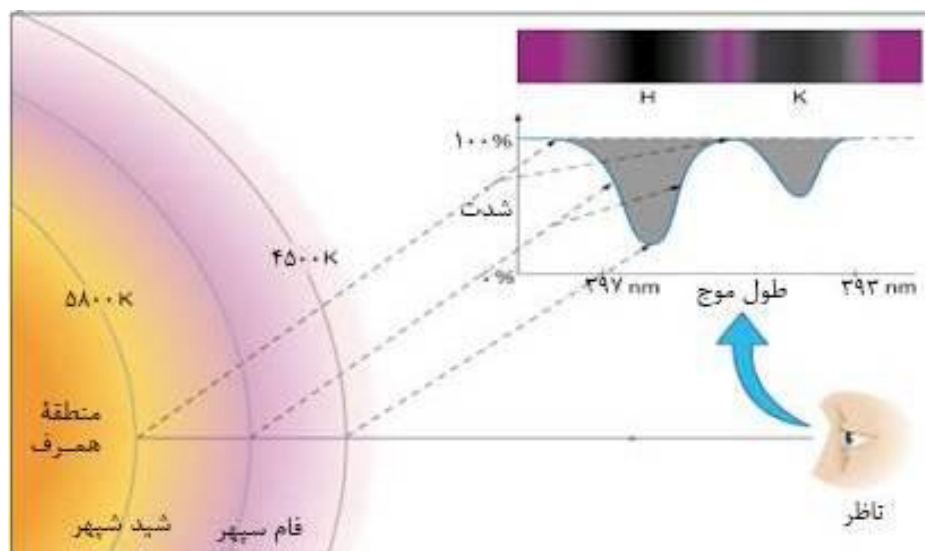
۱- جسم داغ و غلیظ (جسم سیاه کامل)، که طیفی پیوسته تولید می کند. یک رنگین کمان کامل از رنگ ها در ناحیه مرئی (شکل الف).

۲- گاز سرد و شفاف و رقیق، که به طور مستقیم در مقابل یک منبع تولید طیف پیوسته قرار داشته باشد. چنین گازی طیف جذبی خطی تولید می کند. یک سری از خطوط سیاه در زمینه ای رنگی (شکل ب).

۳- گاز سرد و رقیقی که با جذب انرژی، گرم شود. گرما باعث برانگیخته شدن عناصر این گاز شده و این ابر داغ و شفاف و رقیق شده، از خود طیف نشری خطی ساطع می کند. یک سری از خطوط روشن در زمینه ای تاریک (شکل پ).



شکل ۱۰ طیف پیوسته، جذبی خطی و طیف نثری خطی: جسم داغ و کدر (شبیه جسم سیاه) یک طیف پیوسته از نور تولید می کند (الف). اگر این نور پیوسته از میان ابری از گاز سرد و رقیق عبور کند، ابر طول موج های خاصی را جذب می کند و طیف نوری که مستقیماً از این ابر گذشته است طیف جذبی خطی تاریک خاصی را ایجاد می کند. طول موج های خاصی که جذب می شوند بستگی به ترکیبات شیمیایی ابر دارد (طیف ب). ابر نمی تواند تمام انرژی نوری را که جذب کرده در خود نگه دارد بلکه آن را در تمام جهات تابش می کند. طیف این نور تابشی طیف نثری خطی است (طیف پ). طول موج های نثری با خطوط جذبی طیف ب یکسان است.

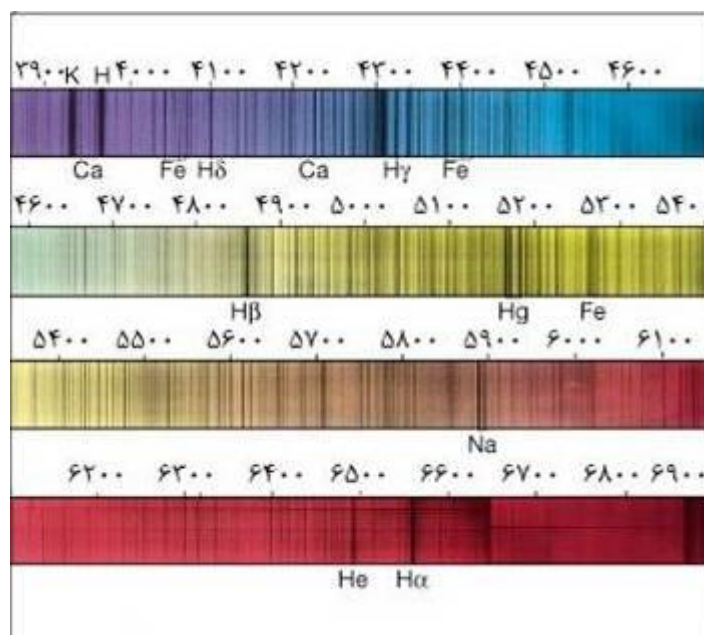


شکل ۱۱ گری خطوط طیفی: فوتون هایی که انرژی بیشتری از گذار اتمی دارند می توانند از شید سپهر خورشیدی فرار کنند، اما آنهایی که انرژی شان نزدیک به گذار اتمی است قبل از این که از سطح فرار کنند مجدداً جذب می شوند، بنابراین فوتون هایی که ما روی زمین می بینیم به ترازهای بالاتر و سردتر تمایل دارند. شکل بزرگ شده ۲۰۰۰ خط جذبی خورشیدی را نشان می دهد، خطوط H و K کلسیم در طول موج ۳۹۵ نانومتر هستند.

همان طور که گفته شد جوّ خورشید شامل سه لایه می باشد: شید سپهر، فام سپهر و تاج خورشیدی. شید سپهر پایین ترین لایه ی جوّ خورشید است. در زیر شید سپهر (منطقه ی همرفت)، گاز خورشیدی به اندازه کافی چگال است و بر هم کنش میان فوتون ها، با الکترون ها و یون ها مانع از آن می شود که تابش به طور مستقیم به فضا برسد. اما در جوّ خورشید، احتمال این که فوتون بدون بر هم کنش با ماده به فضای خارج بگریزد به مقدار انرژی فوتون بستگی دارد. اگر انرژی فوتون با انرژی گذار الکترونی در اتم ها (یا یون های) موجود در گاز برابر باشد ممکن است فوتون قبل از این که بتواند دور شود مجدداً جذب شود. توجه داشته باشیم لایه های خارجی جوّ با دمای ۴۵۰۰ کلوین از لایه های داخلی با دمای ۵۸۰۰ کلوین خنک تر است. بنابراین جذب اتفاق می افتد و طیف خورشید در این طول موج ها تاریک تر از نواحی مجاور است. به عبارت دیگر طیف جذبی خطی داریم. در شکل ۱۱ قسمت هایی از طیف که بیشترین جذب برای آنها اتفاق می افتد مربوط به فوتون هایی است که از لایه های بیرونی جوّ خارج گردیده اند (خط چین ۳). این بدان خاطر است که انرژی این فوتون ها با انرژی گذار عناصر موجود در جوّ برابر است بنابراین تا به سطوح خارجی برسند تعداد بیشتری عمل جذب برای آنها رخ می دهد، در واقع فوتون های متناظر با خط چین ۲ با احتمال کمتری با ماده برهم کنش داشته اند و از لایه های عمیق تر جوّ خارج گردیده اند.

حال اگر انرژی فوتون ها با هیچ گذاری منطبق نباشد فوتون نمی تواند با گاز برهم کنش داشته باشد، از لایه های عمیق شید سپهر به خارج از سطح خورشید انتقال پیدا می کند و در فضای میان ستاره ای باقی می ماند یا شاید توسط یک منجم روی زمین آشکار سازی شوند (شکل ۱۱ خط چین ۱).

اگر می توانستیم از زیر شید سپهر طیف خورشید را مشاهده کنیم، مسلماً شاهد خطوطی پیوسته بودیم. اما وقتی این فوتونها از ناحیه بالایی همرفت با دمایی حدود چند میلیون کلوین آزاد گشته و در نهایت از شید سپهر با دمای ۵۸۰۰ کلوین می گذرند، طیف جذبی خطی شامل مجموعه ای از خط های تاریک در زمینه ی روشن ایجاد می کنند. منجمان می توانند با تحلیل این خطوط اطلاعات بسیاری در مورد خورشید به دست بیاورند. شکل ۱۲ یک طیف دقیق از خورشید در محدوده ای از طول موج های ۳۶۰ تا ۶۹۰ نانومتر را نشان می دهد.



شکل ۱۲ طیف خورشیدی: خطوط جذبی وجود ۶۷ عنصر مختلف را در مراحل گوناگون برانگیختگی و یونیدگی در شید سپهر خورشیدی نشان می دهند. طول موج ها بر حسب نانو متر در شکل نشان داده شده است. (رصد خانه پالومار) (Palomar Observatory Caltech)

تا کنون ده ها هزار خط در طیف خورشید مشاهده و طبقه بندی شده اند. در مجموع تعداد ۶۷ عنصر در این ستاره شناخته شده اند که اکثراً در حالت های یونش و یا برانگیخته می باشند. جدول ۳ ده تا از فراوان ترین عناصر موجود در خورشید را نشان می دهد. توجه کنید که هیدروژن و بعد از آن هلیوم فراوان ترین عناصر هستند. این توزیع دقیقاً همان چیزی است که در سیارات مشتری گون نیز می بینیم. اغلب منجمان معتقد هستند که داده های جدول ۳ بیانگر عناصر کل خورشید به استثنای هسته ی خورشید هستند. این اعتقاد به دلیل توافق بسیار خوبی است که بین مدل استاندارد و مشاهدات خورشیدی وجود دارد. احتمالاً عناصر بیشتری با فراوانی بسیار کم در خورشید وجود دارند، به طوری که ابزارهای کنونی قادر به آشکارسازی آنها نیستند.

جدول ۳

ترکیبات

خورشید

فراوانی (درصد بر اساس جرم کل)	فراوانی (درصد بر اساس تعداد اتمها)	عنصر
۷۱/۰	۹۱/۲	هیدروژن
۲۷/۱	۸/۷	هلیوم
۰/۹۷	۰/۰۷۸	اکسیژن
۰/۴۰	۰/۰۴۳	کربن
۰/۰۹۶	۰/۰۰۸۸	نیتروژن
۰/۹۹	۰/۰۰۴۵	سیلیکان
۰/		
۰/۰۷۶	۰/۰۰۳۸	منیزیم
۰/۰۵۸	۰/۰۰۳۵	نئون
۰/۱۴	۰/۰۰۳۰	آهن
۰/۰۴۰	۰/۰۰۱۵	سولفور

فام سپهر:

دومین لایه از سه لایه ی جوّ خورشید، فام سپهر نامیده می شود که با دمایی در حدود ۴۵۰۰ کلوین خنک تر از شید سپهر است. این ناحیه نور بسیار کمی از خود گسیل می کند که در شرایط عادی به صورت مرئی قابل مشاهده نیست. شید سپهر بسیار پر نور است و بر تابش فام سپهر غلبه می کند. با توجه به چگالی فام سپهر که یک ده هزارم شید سپهر (10^{-8}) برابر چگالی جوّ زمین) است پس نامرئی بودن آن عجیب نیست.

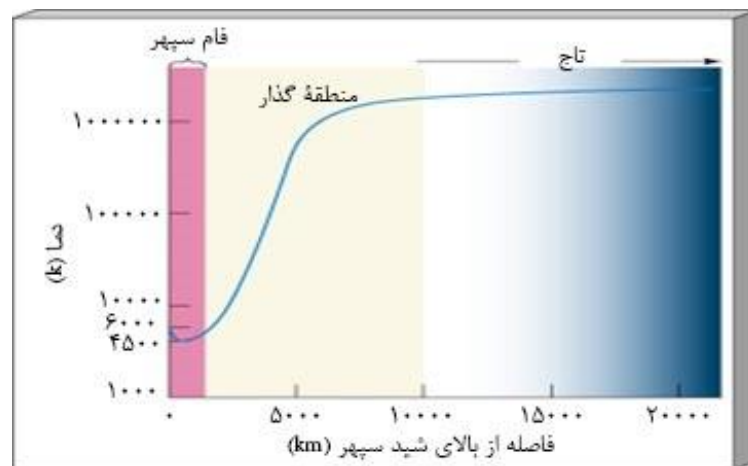
شکل ۱۴ کسوف کامل خورشید را نشان می دهد که در آن شید سپهر به وسیله ی قرص ماه پوشانده شده است. با توجه به چگالی کم فام سپهر، این ناحیه نسبت به نور شفاف است. فام سپهر خورشیدی در طول موج هایی که شید سپهر تیره به نظر می رسد، تابش می کند و طیف نشری خطی تولید می کند. بررسی طیف فام سپهر نشان می دهد که بر خلاف شید سپهر در این ناحیه با افزایش ارتفاع، دما نیز افزایش می یابد (شکل ۱۵). رنگ متمایل به صورتی در این ناحیه به سادگی در شکل ۱۴ قابل مشاهده است. این رنگ مربوط به خط نشری H_{α} (هیدروژن آلفا) با طول موج ۶۵۶,۳ نانومتر است. در طیف مربوط به این ناحیه همچنین، خطوط نشری مربوط به هلیوم یونیزه نیز یافت می شود. شایان ذکر است که این خطوط طیفی نخستین بار در سال ۱۸۶۸ یعنی تقریباً سی سال قبل از کشف گاز هلیوم روی زمین به دست آمد.



شکل ۱۴ فام سپهر خورشیدی: عکسی از کسوف کامل خورشید که فام سپهر خورشیدی را چند هزار کیلومتر بالای سطح خورشید نشان می دهد. (G. Schneider)

فام سپهر آرام نیست. در این ناحیه هر چند دقیقه، فواره هایی از ماده به نام سیخک به جو بالای خورشید پرتاب می شود (شکل ۱۶). این سیخک های باریک و بلند که گاهی اوقات ارتفاع آن ها به چند هزار کیلومتر هم می رسد، نوعاً سطح خورشید را با سرعتی حدود ۲۰ متر بر ثانیه (۷۲ کیلومتر بر ساعت) ترک، و به درون تاج فوران کرده و سپس فرو می نشیند. تقریباً در هر زمان ۳۰۰ هزار سیخک در فام سپهر به وجود می آید که مجموعاً در حدود یک درصد از سطح خورشید را می پوشانند.

اما عامل به وجود آورنده سیخک ها چیست؟ پاسخ به این سؤال را بعد از بررسی خارجی ترین لایه جو خورشید یعنی تاج به تعویق می اندازیم.



شکل ۱۵ تغییرات دمای جو خورشید: تغییرات دمای گاز در اتمسفر پایینی خورشید بسیار چشمگیر است. فام سپهر حداقل دما را دارد. بعد از آن دما به طور ناگهانی در منطقه ی گذار بالا می رود و سرانجام در تاج خورشیدی در دمای حدود سه میلیون کلوین وضعیت ثابتی به خود می گیرد.



شکل ۱۶ سیخک‌های خورشیدی: آن‌ها فوران‌های باریک و کم دوام گازند که در حدود چند دقیقه عمر می‌کنند. سیخک‌ها نواحی باریک، تاریک و سنبه‌مانندی از ماده هستند. آنها به این علت که از شید سپهر خورشیدی خنک‌تر هستند در مقابل سطح ظاهری خورشید تاریک به نظر می‌رسند. (NOAO)

تاج خورشیدی:

اگر شرایط کسوف کلی آن چنان مهیا باشد که برای لحظاتی ماه، قسمت‌های شید سپهر و فام سپهر را بپوشاند، نور شبح‌واری در اطراف خورشید دیده می‌شود که موسوم به تاج خورشیدی است (شکل ۱۷). این ناحیه بیرونی‌ترین لایه جو است که از بالای فام سپهر آغاز می‌گردد و تا چندین کیلومتر گسترش می‌یابد. علیرغم این گستردگی عظیم درخشش این ناحیه 10^{-6} برابر شید سپهر است. تاج، طیف نشری خطی دارد که ویژگی گازهای رقیق و داغ است. لازم به ذکر است که تعداد اتم‌ها در هر متر مکعب از این ناحیه در حدود 10^{11} است. این مقدار در مقایسه با 10^{23} اتم در هر متر مکعب در شید سپهر و یا 10^{25} اتم در هر متر مکعب هوایی که تنفس می‌کنیم به طور چشم‌گیری کم است.

به طور کلی هنگامی که نور شید سپهر حذف می‌شود شکل خطوط طیفی گسیل شده از خورشید به طور کامل تغییر می‌کند، یعنی خطوط جذبی به نشری تبدیل می‌شود که این تغییر با قوانین کیرشهف در تطابق است زیرا در تاج و همچنین فام سپهر گاز رقیق، در راستای منبع تولید نور نیست.

خطوط نشری تاج خورشیدی اولین بار در دهه ۱۹۲۰ میلادی به ثبت رسید. چند سال بعد، محققان این خطوط را متعلق به عنصری دانستند که روی زمین یافت نمی شود و فقط متعلق به خورشید است و نام آن را کرونیوم نهادند. در سال ۱۹۳۰ مشخص گردید که کرونیوم وجود خارجی ندارد، بلکه این خطوط نشری، متعلق به همان عناصر موجود در زمین می باشند. اما با یک تفاوت مهم و آن یونیزه بودن این عناصر در این ناحیه از جو خورشید است. این پدیده نشان از بالا بودن دما در این قسمت دارد. امروزه می دانیم که خط سبز رنگ مشاهده شده در تاج با طول موج ۵۳۰٫۳ نانومتر متعلق به اتم های آهن یونیزه است که سیزده تا از بیست و شش الکترون خود را از دست داده اند. آهن برای از دست دادن این تعداد الکترون نیاز به دمایی در حدود دو میلیون کلوین دارد. واقعیت این است که با دور شدن از مرکز خورشید (با دمای ۱۵ میلیون کلوین) و رسیدن به ناحیه ای در حدود ۵۰۰ کیلومتر در جلوی فام سپهر دما کاهش می یابد (به ۴۵۰۰ کلوین می رسد). اما از این ناحیه به بعد دما به طور ناگهانی و سریع شروع به افزایش می کند.

این قسمت از تاج، به ناحیه گذار معروف است. همانطور که شکل ۱۵ نشان می دهد در یک بازه ی مکانی که در حدود ۹۰۰۰ کیلومتر است، دما از حدود ۶۰۰۰ به ۱۰۰۰۰۰۰ کلوین می رسد (شکل ۱۵). افزایش ناگهانی دما در این ناحیه بسیار عجیب است. زیرا تجربه به ما می گوید که با دور شدن از منبع تولید انرژی (قلب خورشید) دما باید کاهش یابد.

نتیجه آن که، انتظار می رود منبع تولید انرژی دیگری در ناحیه تاج وجود داشته باشد. اگرچه علت دقیق این افزایش دما هنوز مشخص نگردیده اما برخی منجمان بر این عقیده اند که توزیع میدان مغناطیسی در قسمت های از شید سپهر می تواند عامل این پدیده باشد.



شکل ۱۷ تاج خورشیدی: وقتی هر دو شید سپهر و فام سپهر به وسیله ماه درطول گرفت تاریک می شوند، تاج خورشید رؤیت می شود. این عکس به وضوح گسیل انرژی تابشی از تاج خورشیدی را نشان می دهد. (G. Schneider)

باد خورشیدی:

گرائش بسیار قوی خورشید باعث می شود بیشتر گازها در قسمت های شید سپهر و فام سپهر نتوانند از جو خورشید فرار کنند. اما دمای بسیار بالای تاج باعث می شود که ذرات موجود در این ناحیه (که بیشتر الکترون و پروتون هستند) با سرعت هایی در حدود ۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه از این قسمت فرار می کنند. این جریان مداوم از ذرات را باد خورشیدی می نامند. همزمان با خروج این ذرات، جو خورشید به طور پیوسته مواد جدید به این ناحیه تزریق می کند. اگر این روند طبیعی اتفاق نمی افتاد بعد از چند روز تاج خورشیدی ناپدید می گردید. با توجه به اینکه باد خورشیدی در هر ثانیه دو میلیون تن از مواد خورشید را از جو خارج می سازد، این گونه برآورد می شود که تنها یک درصد از جرم خورشید از ابتدای شکل گیری این ستاره (۴,۶ میلیارد سال پیش) تاکنون به وسیله بادهای خورشید جدا شده است.

به غیر از الکترون ها و هسته های هیدروژن و هلیوم که تقریباً ۹۹٪ از باد را تشکیل می دهند، یون های اتم های پر جرم مانند سیلیس، گوگرد، کلسیم، کروم، نیکل، آهن و آرگون نیز در باد خورشیدی یافت می شوند.

دمای بسیار بالا در تاج، باعث می شود که پرتوهایی خروجی از این قسمت بر خلاف پرتوهای گسیلی از شید سپهر و فام سپهر، دارای طول موج های کوتاه و بیشتر در نواحی فرابنفش و ایکس باشند. منشأ این پرتوها گذار الکترون از لایه های پایین به ترازهای بالاتر در یون های موجود در این ناحیه می باشد. با توجه به این که جو زمین نسبت به این امواج کدر است، بنابراین برای آشکارسازی آنها باید تلسکوپ های حساس به این پرتوها را در بالای جو قرار داد. رصدخانه خورشیدی سوهو این مأموریت را بر عهده دارد.

مغناطیس خورشیدی:

خورشید دارای میدان مغناطیسی قوی و پیچیده ای است. اگر چه این میدان در سال ۱۹۰۸ توسط ستاره شناس آمریکایی جرج الری هیل کشف شد، اما هنوز هم برای متخصصان، به عنوان یک معما مطرح است. ساختار خطوط میدان مغناطیسی برای فهم بسیاری از جنبه های قابل رؤیت خورشید و فعالیت های سطحی آن مهم است. جریئات هندسه ی خطوط میدان و چگونگی تولید و تداوم میدان خورشیدی از جمله موضوعاتی است که تا به امروز هم از جمله مسائل تحقیقاتی می باشند. حیرت آور است که کلید فهم تعدادی از جنبه های مغناطیس خورشیدی در پدیده هایی قرار دارد که نخستین بار حدود سه قرن پیش از کشف هیل مشاهده شده است.

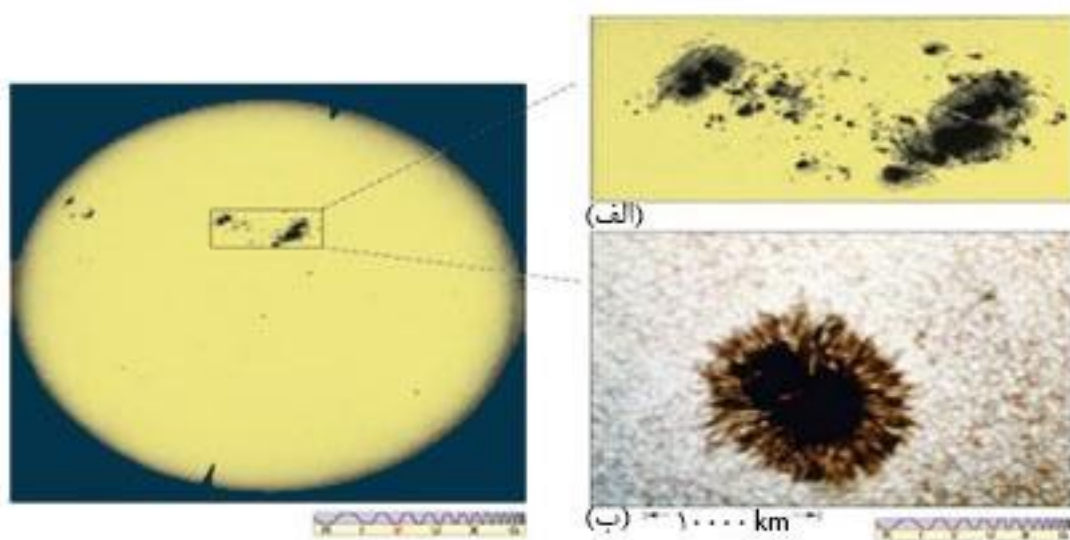
لکه های خورشیدی:

شکل ۱۸ یک عکس اپتیکی از خورشید است، که لکه های تاریک زیادی را بر سطح آن نشان می دهد. این نواحی که نخستین بار در سال ۱۶۱۳ میلادی توسط گالیله دیده شد، اولین سرنخ هایی بود که نشان داد این ستاره موجودی بدون تغییر نیست. البته بعدها مشخص گردید که این تعبیرات از نظم خاصی تبعیت می کنند. این نواحی تاریک، که بعدها به لکه های

خورشیدی موسوم گردیدند، با ابعادی در حدود ۱۰۰۰۰ کیلومتر قابل مقایسه با قطر ی کره زمین هستند. همان طور که شکل نشان می دهد آنها اغلب به صورت گروهی ظاهر می شوند.

سطح خورشید ممکن است در بعضی اوقات معین صدها لکه داشته باشد و یا در مواقعی هیچ لکه ای نداشته باشد.

مطالعات لکه های خورشیدی نشان دهنده ی یک سایه ی تاریک می باشد که به وسیله ی نیم سایه خاکستری رنگ احاطه شده است. شکل بزرگ نمایی شده (۱۸-الف)، نواحی تاریک و شید سپهر درخشنده تر مجاور آن را نشان می دهد. این تغییر تدریجی در تاریکی لکه ها به واقع تغییر تدریجی در دمای شید سپهر است. لکه های خورشیدی را می توان نواحی خنک تر گاز در قسمت شید سپهر دانست. دمای منطقه سایه در حدود ۴۵۰۰ کلوین برآورد می شود که با منطقه ی نیم سایه که دمایی در حدود ۵۵۰۰ کلوین دارد قابل مقایسه می باشد. پس لکه ها قطعاً از گازهای داغ تشکیل شده اند، اما به علت این که در مقابل زمینه روشن تر شید سپهر (دمای ۵۸۰۰ کلوین) ظاهر می شوند، به نظر تاریک می رسند. اگر می توانستیم یکی از این لکه ها را از پیرامون آن جدا کنیم (یا از بقیه ی تابش خورشید جلوگیری کنیم) دقیقاً مانند هر جسم داغی که دمایی در حدود ۵۰۰۰ کلوین دارد، درخشان به نظر می رسید.



شکل ۱۸ لکه های خورشیدی: نمای کلی از خورشید است که در طول دوره ی بیشینه ی فعالیت های خورشیدی گرفته شده است و چندین گروه از لکه های خورشید را نشان می دهد. عرض بزرگترین لکه ها ۲۰۰۰۰km تقریباً دو برابر قطر زمین است. عرض لکه های خورشیدی معمولی در حدود ۱۰۰۰۰km است. (Palomar observatory/Caltech)

شکل (۱۸-الف) کادر بزرگ نمایی شده از تعدادی لکه ی خورشیدی است. ناحیه ی درونی، خنک و تاریک هر لکه، سایه نامیده می شود که ناحیه ای گرم تر و روشن تر به نام نیم سایه آن را احاطه کرده است. لکه ها به این علت تاریک نظر می رسند که از ناحیه ی شید سپهر احاطه کننده ی آنها کمی خنک تر هستند. (ب) شکل نه تنها نشان دهنده ی جزئیات ساختار یک لکه ی خورشیدی منفرد است بلکه سطح دانه دانه ای (خالداری) شید سپهر احاطه کننده ی آن را نشان می دهد. ابعاد هر لکه در حدود قطر زمین است.

میدان مغناطیسی خورشید:

چه چیزی باعث ایجاد لکه خورشیدی می شود؟ چرا آنها نسبت به نواحی مجاور خود سردتر هستند؟ پاسخ این سوالات به ساختار میدان مغناطیسی خورشید مربوط می شود.

همان طور که بیان گردید، تجزیه و تحلیل خطوط طیفی می تواند اطلاعات دقیقی را در مورد منبع تولید این خطوط به ما بدهد. در حقیقت مشاهده اثر زیمن (شکافتگی خطوط طیفی به وسیله ی میدان مغناطیسی) در خطوط مشاهده شده در لکه های خورشیدی باعث کشف مغناطیس خورشیدی توسط هیل شد.

میدان مغناطیسی در یک لکه خورشیدی معمولی در حدود هزار برابر بزرگ تر از میدان مغناطیسی در نواحی شید سپهر مجاور آن است. توجه شود که میدان مغناطیسی شید سپهر، چندین برابر قوی تر از میدان مغناطیسی زمین است و به علاوه خطوط میدان جهت گیری کاتوره ای ندارند بلکه به شکلی منظم و عمود بر سطح خورشید هم جهت شده اند.

قطبیت یک لکه خورشیدی به سادگی نشان دهنده ی جهت میدان مغناطیسی آن لکه است. قراردادی که برای نشان دادن این قطبیت استفاده می شود درست مانند میدان مغناطیسی کره ی زمین است یعنی لکه هایی را که خطوط میدان از آنها خارج می شوند قطبیت S و لکه هایی را که خطوط میدان آنها به سمت داخل خورشید هست با قطبیت N نشان دهیم (بنابراین جهت آنها در بالای سطح خورشید همیشه از S به N خواهد بود).

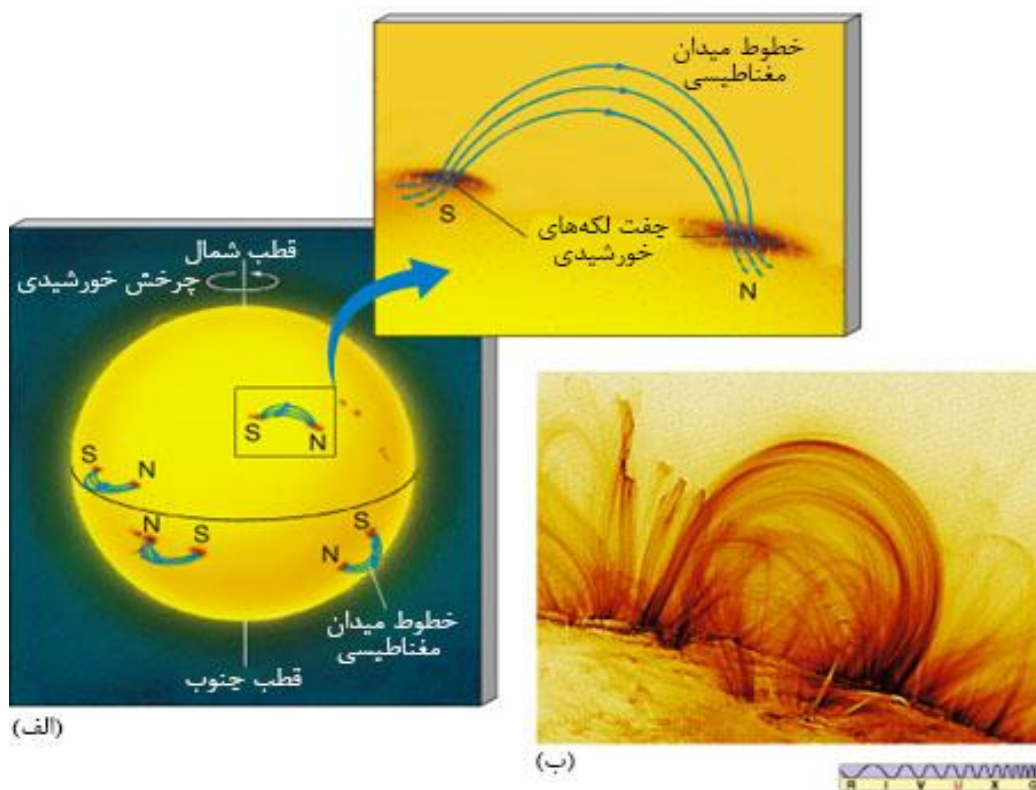
لکه ها غالباً به صورت زوج هایی در عرض های جغرافیایی نزدیک به هم ظاهر می شوند. شکل (۱۹-الف) نشان می دهد که چطور خطوط میدان مغناطیسی از داخل خورشید از قطب S شروع، در جو خورشید به صورت یک حلقه ظاهر شده و سپس در شید سپهر به قطب N وارد می شوند. همانند مغناطیس سپهر زمین، ذرات باردار در امتداد خطوط میدان مغناطیسی خورشید حرکت می کنند.

شکل (۱۹ - ب) تصویر واقعی از حلقه های مغناطیسی را نشان می دهد، که گاز های داغ در امتداد خطوط میدان که دو لکه ی خورشیدی را به هم مرتبط می کنند، حرکت می کنند. منجمان معتقدند که علت سردتر بودن لکه ها نسبت به مناطق مجاور وجود گازهای داغ (نوعاً یونیزه) در امتداد میدان مغناطیسی بالای لکه ها می باشند. این مواد تمایل دارند شار همرفتی گازهای داغ را که در حالت عادی به سمت سطح خورشید بالا می آیند، مسدود کنند.

علیرغم ظهور نامنظم لکه های خورشیدی، میدان مغناطیسی زیر این لکه ها نظم زیادی دارد. همه ی جفت لکه های خورشیدی در نیم کره ی (شمالی یا جنوبی) در هر لحظه آرایش مغناطیسی یکسانی از خود نشان می دهند. یعنی اگر قطبیت S به N برای یک لکه ی مشخص از غرب به شرق است (نیم کره ی جنوبی شکل ۱۹ - الف)، سپس همه ی لکه ها در آن نیم کره دارای همان قطبیت هستند. علاوه بر این در نیم کره ی دیگر در همان زمان، همه جفت لکه های خورشیدی دارای آرایش مغناطیسی مخالفی هستند (قطبیت از شرق به غرب). برای این که این نظم را در قطبیت لکه های خورشیدی بهتر درک کنیم باید میدان مغناطیسی خورشید را با جزئیات بیشتری بررسی کنیم.

ترکیب چرخش تفاضلی و پدیده همرفت، به طور اساسی روی ویژگی های میدان مغناطیسی خورشید اثر گذاشته و نقش مهمی را در تعیین تعداد و موقعیت لکه ها بازی می کنند. این الگو، مدل دیناموی خورشیدی نامیده می شود که در سال

۱۹۶۰ میلادی توسط منجم آمریکایی هاریس بیکاک ارائه شده است. همان طور که در شکل ۲۰ نشان داده شده چرخش تفاضلی خورشید به میزان زیادی خطوط میدان را وا می پیچد و باعث پیچش آن در اطراف استوا شده و سرانجام موجب می شود که خطوط میدان مغناطیسی شمال - جنوب به سمت شرق - غرب جهت گیری کند. همزمان همرفت موجب می شود گاز مغناطیده به سمت سطح خورشید بالا بیاید و در بعض نقاط شید سپهر باعث تقویت و گره خوردن الگوی مغناطیسی میدان شود. گاهی میدان خیلی قوی می شود و در نتیجه بر گرانش خورشید غلبه کرده و حلقه وار از سطح فوران می کند. این فعل و انفعالات باعث بوجود آمدن جفت لکه ی خورشیدی در شید سپهر می شود.



شکل ۱۹ مغناطیس خورشیدی: (الف) جفت لکه های خورشیدی توسط خطوط میدان مغناطیسی به هم مرتبط می شوند. خطوط از یک قطب خارج و از قطب دیگر وارد خورشید می شوند. اعضای همه جفت لکه ها در نیم کره شمالی خورشید دارای قطبیت یکسان هستند (غرب به شرق). اگر خطوط میدان مغناطیسی در یک لکه در امتداد خاصی جهت گیری کنند، بقیه لکه ها در آن نیم کره در همان راستا جهت گیری می کنند. نیم کره جنوبی نیز وضعیت یکسانی دارد با این تفاوت که قطبیت ها در آن متضاد با نیم کره شمالی است (از شرق به غرب). الگوی میدان مغناطیسی به طور کلی هر یازده سال معکوس می شود. (ب) تصویر فرابنفش گرفته شده توسط ماهواره ی (TRACE) (کاوشگر منطقه ی انتقال و تاج) در سال ۱۹۹۹ میلادی نشان می دهد که خطوط میدان مغناطیسی بین دو گروه لکه های خورشیدی قوسی شکل است. توجه کنید که ساختار پیچیده ی خطوط میدان در شکل، از طریق تابش گسیل شده به وسیله گاز های فوق داغی است که در امتداد آنها حرکت می کنند. در این شکل نواحی تاریک دمایی در حدود دو میلیون کلون دارد. (NASA)



شکل ۲۰ چرخش خورشید: چرخش تفاضلی خورشید میدان مغناطیسی را وامی پیچد می کند. به ندرت خطوط میدان از سطح خورشید بیرون می جهند و در جو پائین تر آن حلقه می شوند، و جفت لکه ی خورشیدی ایجاد می کند. الگوی زیرین خطوط میدان مغناطیسی، قطبیت لکه های خورشیدی را توضیح می دهد. اگر حلقه در لبه ی خورشید ایجاد و در مقابل تاریکی فضا دیده شود پدیده ای دیده شده زبانه ی خورشیدی نامیده می شود که در بخش آن را توصیف می کنیم.

چرخه ی خورشیدی:

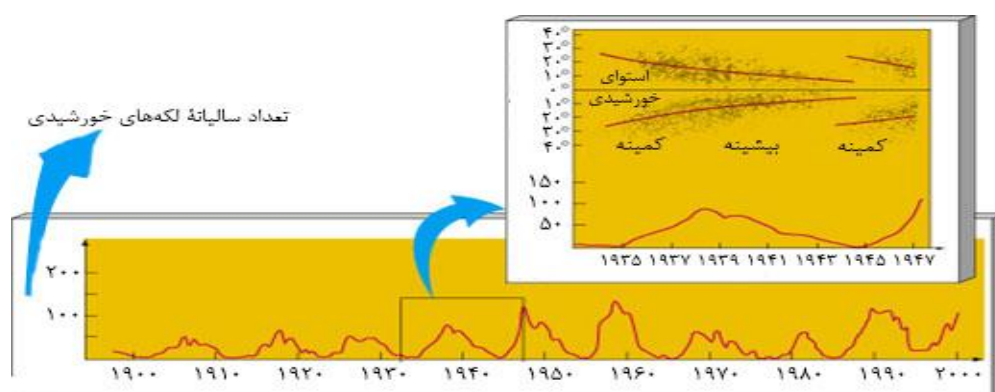
لکه های خورشیدی ثابت نیستند، اغلب اندازه و شکل آنها تغییر می کند. همیشه وجود ندارند بلکه در پاره ای از اوقات ظاهر و سپس ناپدید می شوند. این رفتار لکه ها را نخستین بار یک اختر شناس آلمانی به نام هاینریش شوابه در سال ۱۸۴۳ بعد از سال ها رصد گزارش کرد. لکه های انفرادی از یک تا صد روز دوام می آورند در حالی که گروه بزرگی از آنها یافت می شود که ۵۰ روز دوام دارند. لکه های خورشیدی نه تنها با گذشت زمان ایجاد می شوند و از بین می روند بلکه تعداد و توزیع آنها نیز به طور منظم تغییر می کند. رصد خورشید در طول سالهای متمادی وجود چرخه ی منظمی از لکه ها را اثبات می کند. شکل (۲۱ - الف) تعداد سالیانه لکه های خورشید را در طول قرن بیستم نشان می دهد. تعداد میانگین آنها در یک دوره ی ۱۱ ساله به بیشینه ی مقدار، و سپس قبل از شروع چرخه ی جدید تقریباً به صفر کاهش می یابد.

همین طور که چرخه ی لکه خورشیدی با گذشت زمان پیشروی می کند، عرض جغرافیایی که در آن ظاهر می شوند نیز تغییر می کند. آنها در امتداد عرض جغرافیایی، بالا و پایین نمی روند بلکه همین طور که لکه های قدیم تر که در عرض های جغرافیایی بالاتر قرار دارند کم می شوند لکه های جدید در فاصله نزدیک تری به استوا ظاهر می شوند. شکل (۲۱ - ب) تعداد لکه های خورشید ی را در عرض های جغرافیایی ظاهر شده به صورت تابعی از زمان نشان می دهد. در شروع هر چرخه، تنها تعداد کمی از لکه ها دیده می شوند، آنها که عموماً به دو منطقه ی باریک در عرض جغرافیایی حدوداً ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی و جنوبی از استوای خورشیدی محدود شده اند کمینه ی خورشید ی نامیده می شوند (به عنوان مثال سال ۱۹۳۵ میلادی). به طور تقریبی بعد از گذشت ۴ سال از شروع چرخه، تعداد آنها به وضوح افزایش می یابد. این رشد در عرض های جغرافیایی حدوداً ۱۵ تا ۲۰ درجه یافت می شود و به بیشینه ی خورشیدی معروف است (سال ۱۹۳۸). سرانجام و در پایان چرخه، تعداد لکه ها دوباره کاهش یافته و بیشتر آنها در عرض جغرافیایی حدوداً ۱۰ درجه قرار می گیرند (کمینه خورشیدی دیگر). به نظر می رسد شروع هر چرخه جدید با انتهای چرخه بعدی همپوشانی دارد (شکل ۲۲).

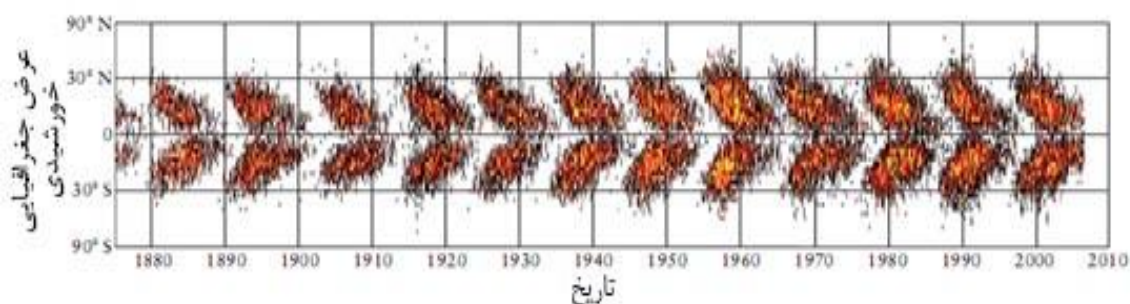
چرخه خورشیدی ۱۱ ساله، در واقع نیمی از یک چرخه ی کامل تر ۲۲ ساله است. در اولین دوره ی چرخه ی ۱۱ ساله، جفت لکه های خاص خورشیدی در نیم کره ی شمالی قطبیت یکسانی دارند. در حالی که لکه ها در نیم کره ی جنوبی دارای

قطبیت مخالفی هستند (شکل ۱۹). سپس در ۱۱ سال بعد علامت قطبیت ها معکوس می شود به عبارت دیگر جهت میدان برعکس می شود. بنابراین چرخه ی کامل خورشیدی هر ۲۲ سال تکرار می شود.

فعالیت های سطح خورشید، نظیر چرخه ی خورشیدی، از تغییرات میدان مغناطیسی ناشی می شود. همان گونه که مشاهدات نشان می دهد میدان مغناطیسی خورشید باید تا یک مقدار بیشینه افزایش و سپس به صفر کاهش یابد و به صورت تناوبی خودش را معکوس کند. تغییر تعداد لکه ها و حرکت آنها به عرض های جغرافیایی پایین تر هر دو نتیجه ای از تقویت شدن و نابودی نهایی خطوط میدان است به طوری که آنها به صورت فشرده ای اطراف استوای خورشیدی پیچ می خورند.



شکل ۲۱ چرخش لکه ی خورشیدی: (الف) تعداد سالیانه ی لکه های خورشیدی در سراسر قرن بیستم، میانگین ۵ ساله ی داده های سالیانه را برای حرکت های آینده ی دور long term tends واضح تر نشان می دهد. چرخه ی خورشیدی ۱۱ ساله به وضوح قابل مشاهده است. در زمان کمینه ی خورشیدی لکه های خورشیدی به ندرت دیده می شوند. تقریباً ۴ سال بعد در بیشینه ی خورشیدی هر سال ۲۰۰-۱۰۰ لکه مشاهده شده اند. آخرین بیشینه ی خورشیدی در ۲۰۰۰ اتفاق افتاد. (ب) خوشه ی لکه های خورشیدی در عرض های بالا وقتی که فعالیت خورشیدی در یک مینیمم است. آنها در عرض های پایین تر ظاهر می شوند همان طور که تعداد لکه ها به اوج می رسد. نهایتاً آنها نزدیک استوای خورشیدی قابل مشاهده هستند همان طور که مینیمم دوباره نزدیک می شود.



شکل ۲۲ تغییرات در عرض جغرافیایی میانگین لکه های خورشیدی: (الگو یا نقش پروانه ای) نقاط نمودار نشان می دهد که چطور لکه ها در شمال و جنوب استوا مشاهده می شوند. در شروع هر چرخه بیشترین لکه های خورشیدی در نزدیکی عرض جغرافیایی ۳۰ درجه ی شمالی و جنوبی یافت می شوند. همین طور که چرخه به جلو پیش می رود لکه ها نزدیک تر به استوا شکل می گیرند. (مرکز پرواز فضایی مارشال NASA)

خورشید فعال:

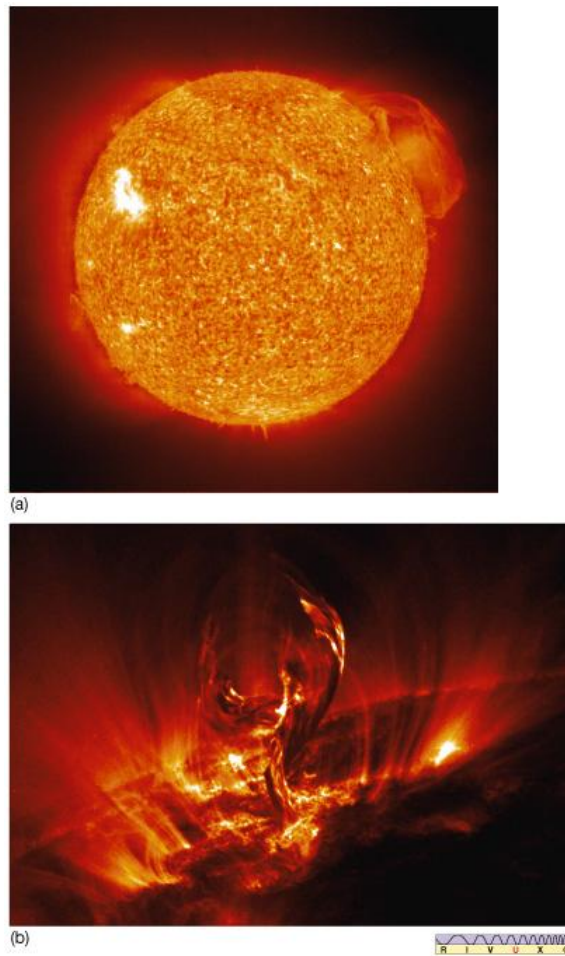
بیشتر درخشندگی خورشید نتیجه ی تابش شید سپهر است. اگر چه این انرژی خروجی منظم و پیوسته می باشد، اما این ستاره در برخی اوقات دارای مؤلفه های نامنظمی از انرژی است که به وسیله ی فعالیت های سطحی انفجاری و غیر قابل پیش بینی، مشخص می شوند. این فعالیت ها، مشارکت نا چیزی در درخشندگی کل خورشید دارند و احتمالاً نقش چندانی در تحول آن به عنوان یک ستاره ندارند. اما این پدیده ها در حیات ساکنان زمین نقش مهمی را ایفا می کنند.

نواحی فعال:

در اطراف لکه های خورشیدی مکان هایی پرتلاطم و انفجاری یافت می شوند که در اصطلاح به نواحی فعال موسوم می باشند. این نواحی که معمولاً در اطراف یک جفت یا گروهی از لکه های خورشیدی ظاهر می شوند در پاره ای از اوقات، فوران هایی از ذرات پر انرژی را به داخل تاج می فرستند. البته شبیه به سایر فعالیت های خورشیدی، این پدیده ها در چرخه های خورشیدی به وقوع می پیوندند و در زمان بیشینه ی فعالیت ها، بیشترین فعل و انفعالات را از خود نشان می دهند.

شکل ۲۳ دو زبانه بزرگ را نشان می دهد که شامل حلقه ها یا ورقه هایی از گازهای درخشان هستند. این زبانه ها از نواحی فعال سطح خورشید فوران کرده، و تحت تاثیر میدان مغناطیسی به داخل تاج حرکت می کنند. اگر چه جزئیات دقیق شکل گیری این زبانه ها هنوز کاملاً مشخص نیست اما احتمال می رود که میدان های مغناطیسی موضعی، (که معمولاً درون و نزدیک گروه لکه ها یافت می شوند) باعث ایجاد این زبانه ها گردند. واقعیت این است که ساختار به سرعت متغیر خطوط میدان و فوران سریع جرم و انرژی از یک قسمت سطح خورشید به قسمت دیگر (ده ها هزار کیلومتر دورتر)، مطالعه ی نظری نواحی فعال را سخت می سازد.

این زبانه ها به دو دسته ساکن و فعال، تقسیم می شوند. زبانه های ساکن برای روزها یا حتی هفته ها دوام می آورند. آنها بر فراز شید سپهر، به وسیله ی میدان مغناطیسی خورشید معلق می مانند. از طرف دیگر زبانه های فعال به طور نامنظم تولید و محو می شوند، در حدود چند ساعت از نواحی فعال فوران می کنند و سپس سریع به سطح بر می گردند. یک زبانه خورشیدی معمولی وسعتی در حدود صد هزار کیلومتر دارد (حدوداً ده برابر قطر زمین). شکل (۲۳ - الف) زبانه هایی را نشان می دهد که تقریباً تا نیم میلیون کیلومتر از سطح خورشید امتداد دارند، زبانه هایی با این ابعاد کمتر متداول هستند و معمولاً در زمان بیشینه ی فعالیت خورشید ظاهر می شوند. بزرگ ترین زبانه ها، انرژی در حدود 10^{25} ژول آزاد می کنند که ذرات و تابش هر دو را در بر می گیرد. اگرچه این میزان انرژی در مقایسه با درخشندگی کل خورشید ($10^{26} \times 4$ وات) زیاد نیست زیرا خورشید در هر ثانیه این مقدار انرژی را آزاد می کند، اما هنوز در مقایسه با استانداردهای زمینی بسیار قابل توجه است (یک میلیارد سال طول می کشد تا نیروگاه های زمینی این میزان انرژی را تولید کنند).



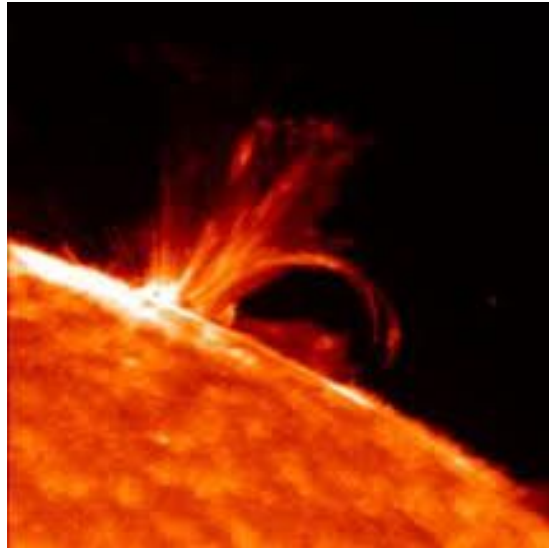
شکل ۲۳ زبانه های خورشیدی: (الف) زبانه ی خورشیدی بزرگ توسط آشکار ساز فرابنفش درون فضا پیمای سوهو در جولای ۲۰۱۰ مشاهده شده است. (ب) شبیه ققنوس بلند شده از سطح خورشید، این رشته از گاز داغ بیشتر از صدها کیلومتر از طول زمین گسترده شده و زمین میان بازوهای گشوده شده آن قرار می گیرد. نواحی تاریک در شکل دمای کمتر از بیست هزار کلوین دارند در حالی که درخشنده ترین نواحی دمایی در حدود ۱ میلیون کلوین را دارا می باشند. گاز مغناطیده، خطوط میدان مغناطیسی خورشیدی را تا نواحی دور از سطح دنبال می کند. بیشتر گازها سپس سرد شده و به شید سپهر باز می گردند. (NASA)

به غیر از زبانه های ساکن و فعال، شراره ها نوع دیگری از فعالیت های خورشیدی هستند که در نزدیکی نواحی فعال جوّ خورشید مشاهده می شوند. اگر چه فعالیت های شراره ها از نظر قدرت بیرون دهی انرژی، شدید تر از زبانه ها هست اما تعداد آنها در طول بازه ی زمانی معین، کمتر است.

آنها اغلب در چند دقیقه در امتداد یک ناحیه شعله ور می شوند و همان طور که به پیش می روند، میزان زیادی انرژی رها می کنند. مشاهدات فضایی خارج از جوّ زمین نشان می دهد که گسیل پرتوهای ایکس و فرابنفش در مرکز بسیار فشرده شراره ها (جایی که دما می تواند تا هزار میلیون کلوین برسد) شدید است.

به علت انفجارهای پر انرژی و عظیم شراره ها، بسیاری از محققان آنها را به بمب های انفجاری در نواحی پایین جوّ خورشید تشبیه کرده اند. یک شراره ی بزرگ فقط در چند دقیقه (یا چند ساعت) از فعالیت خود می تواند انرژی را آزاد کند که بزرگ ترین زبانه ها معادل آن را در چند روز (یا چند هفته) آزاد می کنند. ذرات تولید شده به وسیله یک شراره بسیار پر انرژی تر

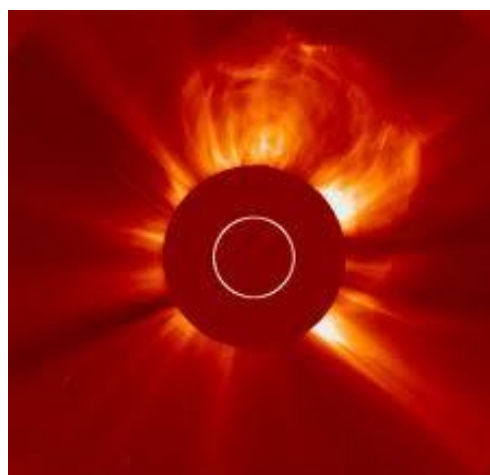
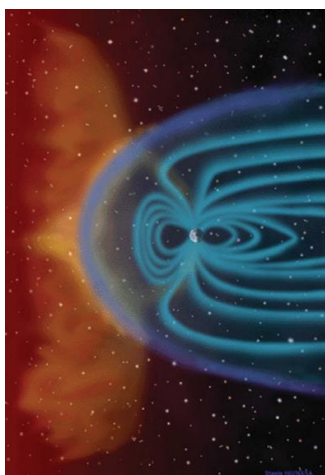
از آن هستند که میدان مغناطیسی خورشید قادر باشد آنها را به سطح بازگرداند و تشکیل حلقه دهند. (بر خلاف حلقه های گازی، که مشخصه ی یک زبانه است). بنابراین قسمت اعظم ذرات به صورت انفجارهای بسیار شدید به فضای اطراف خورشید می گریزند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ شراره خورشیدی: به علت انرژی زیاد ذرات در شراره، اغلب مواد از سطح خورشید به حالت انفجاری خارج می شوند.

یکی دیگر از فعالیت های خورشید به فوران تاجی جرم موسوم است که در بیشتر مواقع (اما نه همیشه) مربوط به شراره ها و زبانه ها هستند (شکل ۲۵). ابعاد و دوام فوران های تاجی به طور مستقیم، تحت تاثیر فعالیت های خورشیدی قرار دارند و بنابراین روی شدت بادهای خورشیدی تاثیر می گذارند.

این فوران ها حباب های مغناطیسی خیلی بزرگی از گاز های یونیزه (پلازما) هستند که از جو خورشید جدا شده و به فضای بین سیاره ای فرار می کنند. چنین فوارن هایی حدوداً یک بار در هفته در زمان کمینه، و حداکثر دو تا سه بار در روز، در زمان بیشینه ی فعالیت خورشیدی اتفاق می افتند. گاهی جهت گیری های میدان مغناطیسی مرتبط با این فوران های تاجی با میدان مغناطیسی زمین ادغام می گردد که این فرایند را باز اتصال گویند، با توجه به حمل مقادیر فراوانی از ذرات پر انرژی توسط این فوران ها، مغناطیس سپهر تحت تاثیر آنها قرار گرفته و موجب اختلالات شدید وسایل ارتباطی در روی زمین می شوند.



شکل ۲۵ فوران تاجی جرم: همان طور که در شکل گرفته شده توسط سوهو در سال ۲۰۰۲ نشان داده شده اس، چند بار در هفته یک حباب مغناطیسی خیلی بزرگ از مواد خورشیدی از سطح جدا می شود و به سرعت به فضا فرار می کند. حلقه ها ساخته ی یک سیستم عکسبرداری هستند که برای جلوگیری از رسیدن نور خورشید طراحی شده و ویژگی های خفیف در شعاع نهایی بزرگ تر را بزرگنمایی کرده است. (ب) میدان مغناطیسی فوران تاجی جرم که بر خلاف جهت میدان مغناطیسی زمین است با میدان مغناطیسی زمین برخورد می کند، همان طور که در شکل نشان داده شده خطوط میدان می توانند به هم متصل شوند.

خورشید در پرتوهای ایکس:

چه نوع تابشی توسط گازی در دمای سه میلیون کلوین گسیل می شود؟

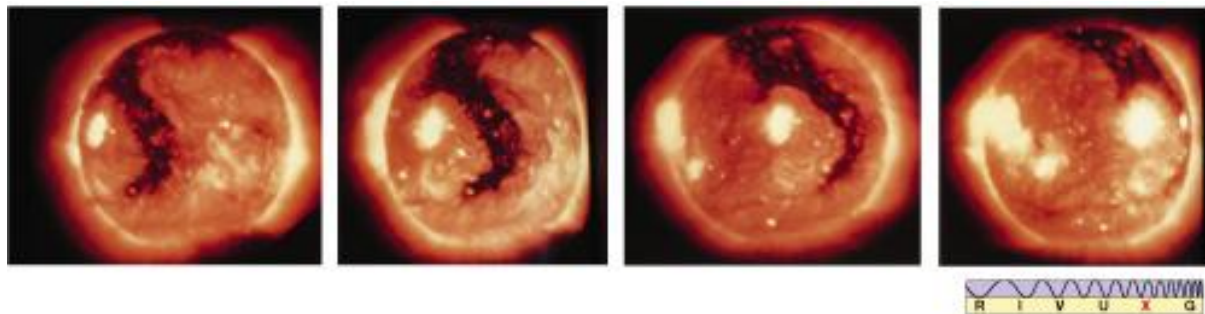
بر خلاف شید سپهر که دمایی در حدود ۵۸۰۰ کلوین دارد و غالباً در ناحیه ی مرئی طیف تابش می کند، گازها، در فوران های تاجی در فرکانس های بالا و عمدتاً در پرتوی ایکس تابش می کنند. به همین دلیل تلسکوپ های پرتوی ایکس ابزار های مهمی در مطالعه ی تاج خورشیدی هستند. شکل ۲۶ چندین عکس را که در ناحیه ی پرتوی ایکس از خورشید گرفته شده است، نشان می دهد. در این تصاویر کل تاج به خوبی در نواحی اطراف قرص خورشید گسترده شده است. چگالی ذرات تاجی گسیل کننده ی تابش به سرعت با فاصله از خورشید کاهش می یابد. شدت تابش پرتوی ایکس در نواحی دورتر بیرونی، خیلی ضعیف است بنابراین در شکل دیده نمی شود.

در نیمه ی سال ۱۹۷۰ میلادی ابزارهای ایستگاه فضایی اسکای لب (Skylab) ناسا کشف کردند که باد خورشیدی غالباً از پنجره هایی که حفره های تاجی نامیده می شوند، فرار می کند. ناحیه ی تاریکی که از چپ به راست شکل ۲۶ حرکت می کند، یک حفره ی تاجی را نشان می دهد. در این نواحی واقعاً حفره وجود ندارد، بلکه چنین ساختارهایی به این دلیل شکل می گیرد که چگالی ماده در آنها حدود ده برابر کمتر از حالت عادی تاج است. نتیجه آنکه که این مناطق بسیار خنک تر از آن است که بتواند پرتوی ایکسی گسیل کند.

در حفره های تاجی، خطوط میدان مغناطیسی خورشیدی از سطح تا نواحی دوری در فضای بین ستاره ای گسترده شده است. بر طبق یافته های سوهو ذرات باردار تمایل دارند در امتداد خطوط میدان پیش روند، بنابراین آنها می توانند، به ویژه از نواحی قطبی خورشید به فضای اطراف فرار کنند. در دیگر نواحی تاج، خطوط میدان مغناطیسی نزدیک به خورشید باقی می

مانند و ذرات باردار را نزدیک به سطح نگاه می دارند و از شارش رو به بیرون باد خورشیدی جلوگیری می کنند.(چگالی نسبتاً بالا باقی می ماند).

بزرگ ترین حفره های تاجی، شبیه آن چه در شکل ۲۶ نشان داده شده می توانند قطری در حدود صدها هزار کیلومتر داشته باشند. ساختار این حفره ها فقط چند بار در هر دهه دیده می شود. حفره های کوچک تر، اندازه ای در حدود چند ده هزار کیلومتر دارند. تشکیل آنها رایج تر بوده و در هر چند ساعت ظاهر می شوند.

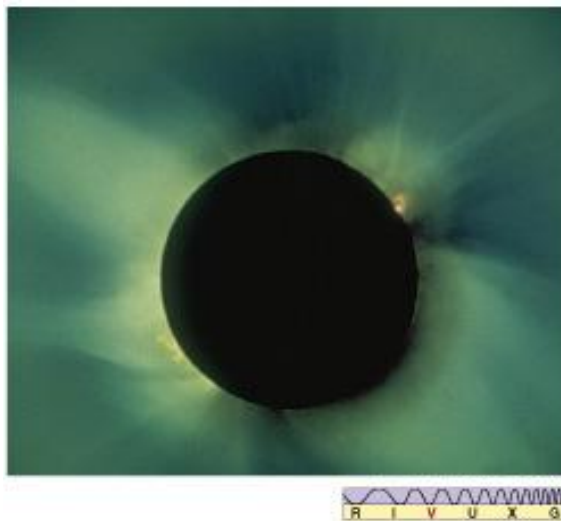


شکل ۲۶ پرتو ی ایکس تاج: شکلی از گسیل پرتو ایکس از خورشید، در بازه ی زمانی دو روزه، که توسط ماهواره ی YOHKOH ژاپن گرفته شده است. توجه کنید که حفره ها ی باریک ۷ شکل از چپ به راست شکل حرکت می کنند، مشاهدات پرتو ایکس با جزئیات چشمگیر نواحی نازک عجیب و غیر عادی را که از طریق آن باد خورشیدی با سرعت بالا به سمت جلو روانه می شوند، ارائه می دهد.

تغییرات تاج خورشیدی:

تاج خورشیدی همگام با چرخه ی لکه ی خورشیدی تغییر می کند. شکل ۱۷ خورشید ساکن را در کمینه ی لکه خورشیدی نشان می دهد. در این شکل تاج تقریباً منظم است و در اطراف خورشید کم و بیش به طور یکنواخت ظاهر می شود. این شکل را با شکل ۲۷ که در زمان اوج چرخه خورشیدی گرفته شده مقایسه کنید که در آن تاج غیر منظم گردیده و تا فاصله زیادی از سطح خورشید گسترده شده است. نوارهای رنگی از مواد، مشخصه ی این فاز هستند.

منجمان معتقدند عمده تاج توسط فعالیت های سطح خورشید گرم شده و میزان زیادی انرژی به قسمت بالای جو وارد می کند. مشاهدات سوهو "فرش مغناطیسی" را به عنوان چشمه ی انرژی در نظر گرفته است. با استفاده از تصور بردار دوپلری مایکلسون، منجمان حلقه های مغناطیسی کوچکی را که مدام ظاهر می شوند و سپس ناپدید می شوند را شناسایی کرده اند. چون این حلقه ها در زمان بیشینه ی فعالیت خورشید در تمام سطح شید سپهر مشاهده می شوند عنوان فرش به آنها اطلاق گردیده است. کل فرش دوباره خودش را به سرعت می سازد (حدوداً هر ۴۰ ساعت) و در نتیجه حلقه ها درست در پایین سطح فرو نمی روند. تقریباً آنها تمایل دارند باز شوند، میزان زیادی انرژی را به جو پایین تر خورشید تخلیه کنند. همراه با این فرآیند، میلیون ها زبانه و شراره با ابعاد کوچک انرژی را که برای گرم شده تاج لازم است، مهیا می کنند. این حیرت آور است که هر دو پدیده یعنی، ظهور تاج نامنظم و دوام باد خورشیدی در ارتباط نزدیک با چرخه خورشیدی هستند.



شکل ۲۷ تاج فعال: عکسی از تاج خورشیدی در کسوف جولای ۱۹۹۱ میلادی در زمان اوج چرخه ی خورشیدی. در این زمان تاج نظم کمتری و لکه های خورشیدی گستردهتری دارد (با شکل ۱۷ مقایسه شود). منجمان معتقدند که گرمای تاجی توسط فعالیت های سطحی خورشید ایجاد می شود. تغییر شکل و اندازه ی تاج نتیجه ی مستقیمی از تغییرات در فعالیت های زبانه ها و شراره ها در طول یک چرخه ی خورشیدی است.

انرژی خورشیدی:

خورشید کره جوشانی است که انرژی عظیمی تولید می کند. شاید بتوان گفت ما این انرژی تابشی را به سه شکل دریافت می کنیم. زیر قرمز که از طریق گرم شدن بدنمان آن را حس می کنیم، نور مرئی که با چشمانمان احساس می کنیم و نور فرابنفش که از طریق برنزه شدن پوست یا آفتاب سوختگی آن را درک می کنیم. با توجه به اهمیت انرژی خورشیدی برای ساکنین زمین، آن چه که دارای اهمیت می باشد انرژی است که از خورشید به سطح زمین می رسد.

این بخش را با سؤالات زیر آغاز می کنیم:

- انرژی خورشید از چیست؟
- آیا فرایندهای شیمیایی می تواند منشا انرژی آزاد شده در خورشید باشد؟
- چه فرآیندهایی در هسته ی خورشید باعث تولید چنین انرژی عظیمی می شود؟
- چه عاملی موجب می شود که خورشید در طی قرن ها بدرخشد؟
- و سؤالاتی نظیر این

پاسخ این سؤالات، اساس ستاره شناسی است. بدون آنها، قادر نخواهیم بود دلیل فیزیکی وجود ستاره ها در کیهان و همچنین وجود حیات روی زمین را درک کنیم.

تولید انرژی خورشیدی:

در گذشته سعی بر آن بود تا تولید انرژی در خورشید را به صورت واکنش های شیمیایی، شبیه به سوختن زغال توضیح دهند. امروزه می دانیم که فرایند سوختن نمی تواند انرژی عظیم خورشیدی را تولید کند. با توجه به آن که تابندگی این ستاره حدوداً 4×10^{26} وات و جرم آن در حدود 2×10^{30} کیلو گرم می باشد. با تقسیم تابندگی خورشید بر جرم آن میزان انرژی را که هر کیلوگرم جرم خورشید در هر ثانیه تولید می کند را j/s 2×10^{-4} محاسبه می کنیم.

در واقع، 0.0002 ژول انرژی در هر ثانیه مقدار زیادی نیست. یک تکه چوب مشتعل تقریباً یک میلیون بار انرژی بیشتری تولید می کند. اما یک تفاوت مهم وجود دارد: چوب به مدت میلیارد ها سال نخواهد سوخت.

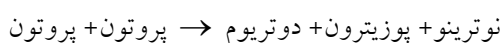
برای پی بردن به میزان انرژی تولید شده توسط خورشید، به جای آن که نسبت تابندگی به جرم آن را بررسی کنیم میزان کل انرژی تولید شده توسط هر گرم از ماده خورشیدی را در تمام طول عمر این ستاره به دست می آوریم. با ضرب این میزان انرژی در سن خورشید که در حدود ۵ میلیارد سال است مقدار میانگین انرژی تابیده شده از هر کیلو گرم ماده خورشیدی از هنگامی شکل گیری آن $3 \times 10^{13} j/kg$ است.

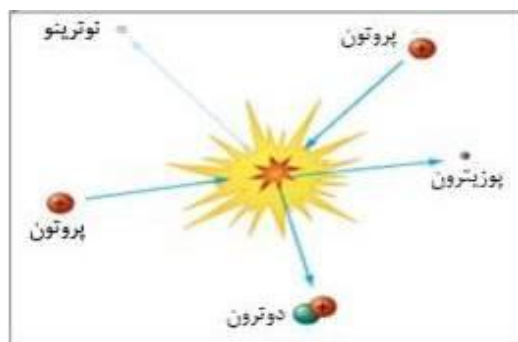
همجوئی هیدروژن (زنجیره پروتون-پروتون):

عمده ترکیبات خورشید (بر اساس جرم) شامل: ۷۴ درصد هیدروژن، ۲۵ درصد هلیوم و ۱ درصد عناصر دیگر است. بنابراین در هسته ی خورشید هیدروژن به وفور یافت می شود. دما در مرکز خورشید $1.55 \times 10^7 K$ و فشار حدود 3.4×10^{11} اتمسفر است. در این شرایط (دما و فشار بالا) هسته های اتمی بر سد کولنی فائق آمده، پروتون ها به شدت به یکدیگر نزدیک شده (فاصله ای در حدود 10^{-15} متر) و در چنین شرایطی نیروهای هسته ای قوی به جای نیروهای کولنی وارد عمل می شوند و در اصطلاح همجوئی هسته ای اتفاق می افتد.

همجوئی دو پروتون در شکل ۲۸ نشان داده شده است. با همجوئی دو پروتون، یکی از ایزوتوپهای اتم هیدروژن به نام، دوتریوم تشکیل می شود. دوتریوم (یا هیدروژن سنگین) در یک نوترون با هیدروژن معمولی تفاوت دارد. می توان این واکنش را به شرح زیر نشان داد:

مرحله (۱)



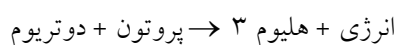


شکل ۲۸ همجوشی پروتون: برخورد دو پروتون آغازی است برای زنجیره همجوشی هسته ای که انرژی خورشید را تامین می کند. نتیجه حاصل از آن دوتریوم (ایزوتوپ هیدروژن)، یک پوزیترون و یک نوترینو می باشد.

پوزیترون، پاد ذره ی الکترون است که تمام ویژگی هایش همانند الکترون است ولی بار مثبت دارد. پوزیترون های تازه خلق شده، خود را درون دریایی از الکترون می یابند و بلافاصله با آنها وارد بر هم کنش می شوند. این ذرات و پاد ذرات یکدیگر را نابود و انرژی خالصی به شکل فوتون های پرتو گاما تولید می کنند. محصول دیگر این آزمایش نوترینو خواهد بود که هیچ بار الکتریکی نداشته و جرم خیلی کمی دارد (جرم دقیق این ذره نامشخص است اما شواهد اخیر نشان می دهد که صفر نیست). آنها دارای سرعتی نزدیک به نور می باشند و به سختی با محیط اطراف خود بر هم کنش می کنند، به همین دلیل آشکار سازی آنها روی زمین با دشواری های فراوان همراه است.

گام بعدی در همجوشی خورشیدی تشکیل یک ایزوتوپ هلیوم است. پروتون ها با دوتریون های تولیدی در مرحله (۱) ترکیب شده و واکنش زیر را می دهد:

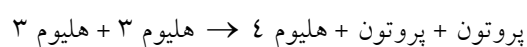
مرحله (۲)



محصول واکنش هلیوم ۳ است. انرژی، این جا نیز به صورت فوتون های پرتو گاما ساطع می شود.

سومین و آخرین مرحله در زنجیره ی پروتون - پروتون تولید هسته ی هلیوم ۴ است. تولید این عنصر در بیشتر مواقع از طریق همجوشی دو هسته هلیوم ۳ تولید شده در مرحله (۲) می باشد. نتیجه ی نهایی، یک هسته هلیوم ۴ و دو پروتون است.

مرحله (۳)



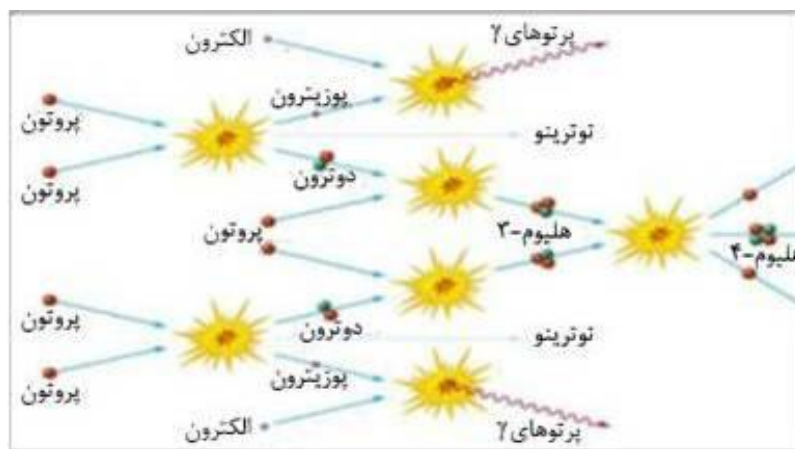
نتیجه ی خالص مراحل (۱) تا (۳) عبارت است از:

چهار هسته هیدروژن ترکیب می شوند تا یک هسته هلیوم ۴، پرتوهای گاما و دو نوترینو تولید کنند. (شکل ۲۹)

نوترینو + انرژی + یک هلیوم ۴ → چهار پروتون

با دور شدن از مرکز خورشید فوتون ها به دفعات توسط الکترون ها و یون ها جذب می شوند، در نهایت با عبور از لایه های سردتر به سطح خورشید رسیده و سرانجام از قسمت شید سپهر، سطح را ترک می کنند.

هلیوم در هسته ی خورشید باقی می ماند. اما نوترینوها آزادانه و بدون برهمکنش با دیگر مواد، از قلب به سطح رسیده و نهایتاً در فضا منتشر می شوند.



شکل ۲۹ همجوشی خورشیدی: مجموع شش پروتون و دو الکترون، به دو پروتون، یک هسته هلیوم ۴ و دو نوترینو تبدیل می شود. از دو پروتون باقیمانده به عنوان سوخت در واکنش های پروتون-پروتون جدید استفاده می شود. بنابراین نتیجه نهایی این است که چهار پروتون همجوشی می کنند و یک هسته هلیوم ۴ تولید می شود. انرژی تولید شده در هر واکنش به شکل اشعه گاما می باشد.

تقریباً نور تابیده شده از اکثر ستاره ها فرایند فوق را طی می کند. واکنش های دیگری که همین نتیجه ی نهایی را بدهند نیز وجود دارند. اما در ستاره هایی معمولی مانند خورشید نسبتاً نادرند. در ستاره هایی که دمای مرکز آنها از دمای مرکز خورشید بسیار بیشتر است همجوشی هیدروژن براساس مجموعه ی متفاوتی از واکنش های هسته ای به نام چرخه ی CNO پیش می رود که طی آن هسته کربن، نیتروژن و اکسیژن، پروتون ها را جذب می کنند تا فوتون را بسازند. در مراحل بعدی بسیاری از ستارگان، همجوشی هلیوم، کربن و اکسیژن نیز رخ می دهد.

انرژی تولید شده در زنجیره پروتون-پروتون:

در این قسمت انرژی تولید شده در فرایند همجوشی را محاسبه کرده و آن را با انرژی مورد نیاز به اندازه تابندگی خورشید مقایسه می کنیم:

آزمایش های دقیق، جرم تمام ذرات شرکت کننده در تبدیل چهار هسته هیدروژن به هسته هلیوم ۴ را تعیین کرده است.

مجموع جرم پروتون ها برابر $6.6943(\sim 6.7) \times 10^{-27} \text{ kg}$ و جرم هسته هلیوم ۴، $6.6466 \times 10^{-27} \text{ kg}$ است. با توجه به آن که نوترینوها (تقریباً) بدون جرمند، تفاوت بین جرم مجموع پروتون ها و هسته هلیوم $0.048 \times 10^{-27} \text{ kg}$ خواهد شد که البته جرم زیادی نیست، اما از ضرب جرم نابود شده در مجذور سرعت نور انرژی کل به آسانی به دست می آید که برابر است با $4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$.

این نشان می دهد که همجوشی یک کیلو گرم هیدروژن معادل $6.4 \times 10^{14} \text{ J}$ انرژی تولید خواهد کرد. این مقدار بیشتر از انرژی کافی برای توان خورشید است، حتی اگر این ستاره پنج میلیارد سال دیگر هم فعالیت داشته باشد. برای سوخت انرژی خروجی خورشید در حال حاضر، هیدروژن باید با سرعت ۶۰۰ میلیون تن بر ثانیه، در هسته به هلیوم تبدیل شود؛ یعنی تبدیل ۴.۳ میلیون تن ماده به انرژی در هر ثانیه.

مشاهده ی نوترینوی خورشید:

امروزه متخصصان فیزیک خورشید کاملاً مطمئن هستند که زنجیره ی پروتون - پروتون در خورشید فعالیت می کند. اگرچه هیچ تابش الکترومغناطیسی، از قلب خورشید خارج نمی شود، اما در عوض نوترینوهای تولید شده از زنجیره ی پروتون - پروتون بهترین دلیل برای تایید و اثبات همجوشی هسته ای در قلب خورشید هستند. با تبدیل هیدروژن به هلیوم در مرکز خورشید در هر ثانیه 10^{38} نوترینو تولید و حدوداً 10^{14} عدد از آنها از هر متر مربع سطح زمین می گذرد. نوترینوهای تولید شده در هسته خورشید که بر هم کنش ضعیفی با ماده دارند چند ثانیه بعد از به وجود آمدن، در فضا حرکت می کنند و ۸ دقیقه بعد به مدار زمین می رسند. از آن جا که نوترینوها بدون بار و دارای جرم بسیار کمی می باشند بدون هیچ بر هم کنشی از فضای میان خورشید می گذرند و بنابراین آشکارسازی آنها دشوار است.

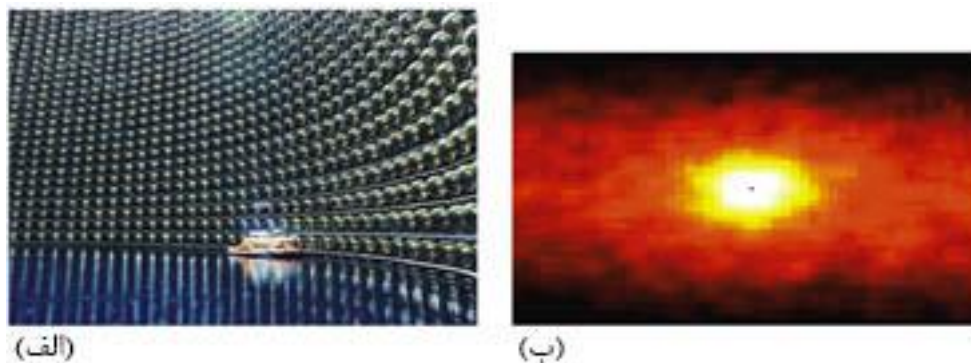
در حدود چهار دهه چهار آزمایش مهم جهت آشکار سازی نوترینوها انجام شد. در موارد بسیار نادر نوترینو با نوترون برخورد و آن را به پروتون تبدیل می کند. بر این اساس در دهه ی ۱۹۶۰ میلادی دانشمندان اقدام به ساخت آشکار سازهای نوترینو کردند. اولین آزمایش در اواخر سال ۱۹۶۰ در آزمایشگاه بروک هاون توسط ریموند دیویس در عمق ۱۵۰۰ متری سطح زمین نزدیک معدن طلای هوم استند در داکوتای جنوبی انجام شد. (برای محافظت از اختلالات ناشی از اشعه های کیهانی و دیگر چشمه ها، مخزن را در عمق زمین قرار دادند). در این آزمایش یک نوترینو با هسته کلر ۳۷ واکنش می دهد و آن را به نوعی آرگون پرتوزا تبدیل می کند. برای این منظور پژوهشگران یک مخزن چهار صد هزار لیتری کلر شامل مواد

شیمیایی (مایع تمیز کننده ای که اغلب در خشکشویی ها استفاده می شود) را در معدن کار گذاشتند و برای این که ببینند آیا کلری به آرگون تبدیل شده است یا نه، مخزن را دائماً چک می کردند. این تبدیل نشانه ای از جذب نوترینو خواهد بود. در طول دوره ی آزمایش، نوترینوها تقریباً به طور میانگین در هر هفته دو بار کشف می شدند. کمبود نوترینوها بیش از دو دهه با وجود کنترل تقریباً مستمر ادامه داشت تا این که آزمایش در ۱۹۹۳ به پایان رسید. سرعت نوترینوهای تولید شده در آزمایش فقط یک سوم نوترینویی است که بر اساس مدل استاندارد خورشیدی (نظریه) انتظار داریم. این اختلاف بین نظریه و مشاهده به عنوان مسئله ی نوترینوی خورشیدی شناخته شده است.

عکس ۳۰ (الف) یک آشکارساز بزرگ در کامیوکانه ژاپن را نشان می دهد که در سال ۱۹۸۰ توسط ماساتوشی کوشیبا (که سال ۱۹۹۰ بهسازی شده است) برای اندازه گیری درخشش نور تولید شده از پس زنی الکترون آب، هنگام برخورد با نوترینو طراحی شده است. این وسیله تقریباً نیمی از تعداد نوترینوهای پیشگویی شده را آشکارسازی می کند. عکس ۳۰ (ب) یک عکس با تفکیک پذیری پایین از خورشید را نشان می دهد که با همین وسیله تهیه شده است.

در سه آزمایش جدید دیگر طراحی آشکارسازها، کاملاً متفاوت است. در دهه ۱۹۹۰ آزمایش SAGE "گالیوم شوروی-آمریکایی" در روسیه با همکاری آزمایش GALLEX "گلکس" در ایتالیا، از عنصر گالیوم (فلز مایع) برای به دام انداختن نوترینوهای خورشیدی استفاده کردند و تقریباً پنجاه تا شصت در صد شار مورد انتظار نوترینو شناخته شد.

ناگزیر نتیجه ی نهایی این است که اگر چه نوترینوهای خورشیدی قابل مشاهده هستند، بین نوترینوهای پیشگویی شده از نظریه و نوترینوهایی که ما روی زمین کشف می کنیم تفاوت واقعی وجود دارد. اما چطور می توانیم این اختلاف را توضیح دهیم. اگر فکر کنیم آشکارسازها بدون خطا کار می کنند فقط دو احتمال وجود دارد. یا نوترینوها چنان که ما فکر می کنیم به کرات تولید نمی شوند یا اگر تولید می شوند همه ی آنها به زمین نمی رسند. اکثر نظریه پردازان فکر می کنند که حل مسئله ی نوترینوی خورشیدی با فیزیک درون خورشید بعید خواهد بود. واکنش های هسته ای که قبلاً توصیف شد به خوبی شناخته شده اند و توافق بین مدل استاندارد و مشاهدات لرزه شناسی خورشیدی به شرایط هسته نزدیک است و ما را از پیشگویی های مدل دور می کند. اما به نظر می رسد اگر نوترینوها جرم بسیار کمی دارند ممکن است ویژگی هایشان تغییر کند و به نوعی دیگر تبدیل شوند، به عبارت دیگر در طول پرواز ۸ دقیقه شان از هسته ی خورشید به زمین، نوترینوها دچار نوسان می شوند. در این نظریه نوترینوها به میزان پیشگویی شده مدل استاندارد خورشیدی تولید ولی در مسیرشان به زمین در واقع به انواع دیگر نوترینوها تبدیل می شوند و قابل آشکارسازی نیستند. یعنی آشکارسازهای زمینی فقط کسری از شار کلی نوترینو را ثبت می کنند. اگر چه در ژوئن ۱۹۹۸ گروه کامیو کانه گزارشی را ارائه دادند که بسیاری از متخصصین شواهدی قانع کننده بر نوسان نوترینوها به دست آوردند در حال حاضر هنوز بسیاری از مسائل را درباره ی خورشید و نوترینوهای آن نمی دانیم. نسل جدیدی از آشکارسازها در ژاپن، کانادا و دیگر نقاط جهان ساخته می شوند که قرار است دانش ما را درباره ی این حوزه ی عجیب در نجوم و فیزیک فراتر ببرند.



شکل ۳۰ تلسکوپ نوترینو: (الف) این آشکار ساز که به اندازه یک استخر شناست، یکی از آشکارسازهای نوترینو است که در زیر یک کوه نزدیک توکیو جای داده شده است و ابرکامیوکانده نامیده می شود. آن در جریان کار با ۵۰ هزار تن آب تصفیه شده پر شده است و برای آگاهی از مسیر نوترینوی در حال عبور، دستگاه شامل ۱۳ هزار آشکار ساز نور می باشد. (ب) عکسی از خورشید که با ابزار کامیوکانده گرفته شده است. آشکارسازهای نوترینو فعلی وضوح خیلی کمی دارند و میدان دید در این جا تقریباً ۹۰ درجه عرض دارد. خال سیاه کوچک، اندازه واقعی خورشید را نشان می دهد. (Institute for cosmic Ray research: NASA)



شکل 31 رصدخانه ی نوترینوی سادبری در حال ساخت: کره ی آکرلیک شفاف حاوی هزار تن آب سنگین است. هر سه نوع نوترینوی تولید شده وقتی با آب سنگین برخورد می کنند درخشش نورانی تولید می کنند. درخشش نوری توسط ۹۶۰۰ آشکارساز نور در اطراف مخزن ثبت می شود. (هنگام گرفتن این شکل همه ی آشکارسازها نصب نشده بودند.) (SNO)

ثابت ها با تقریب های مفید:

$$\pi = 3/14159 \text{ عدد پی}$$

$$c = 2/99793 \times 10^{10} \frac{cm}{sec} \cong 300000 \frac{km}{sec}$$

$$G = 6/668 \times 10^{-8} \frac{dyn-cm^2}{g^2} \text{ ثابت گرانش}$$

$$\dot{A} = 1^{-10} m \text{ واحد انگستروم}$$

$$AU = 1/49598 \times 10^{11} m \cong 150000000 km \text{ واحد نجومی}$$

$$\text{سال نوری} = 206/265 AU = 3/262 \text{ پارسیک}$$

$$9/4605 \times 10^{15} m \cong 9/5 \times 10^{12} km = \text{سال نوری}$$

$$m_s = 1/991 \times 10^{33} g \text{ جرم خورشید}$$

$$m_e = 5/98 \times 10^{27} g \text{ جرم زمین}$$

$$m_p = 1/672 \times 10^{-24} g \text{ جرم پروتون}$$

$$1/674 \times 10^{-24} g = \text{جرم نوترون}$$

$$1/991 \times 10^{33} g = \text{جرم الکترون}$$

$$1/60 \times 10^{-19} \text{ کولن} = \text{بار الکترون}$$

$$6/625 \times 10^{-34} \text{ ژول} = \text{ثابت پلانک}$$

$$980 \frac{cm}{sec^2} = \text{شتاب گرانشی}$$

واژه نامه:

Albedo	آلبدو (سپیدایی)
supernova	ابرنواختر
Oort cloud	ابر اورت
	ابردانه
super cluster	ابر خوشه
blue supergiant	ابرغول آبی
red supergiant	ابرغول قرمز
Doppler effect	اثر دوپلر
greenhouse effect	اثر گلخانه ای
trans-Neptunian object	اجسام فرانتپتونی
	اختر فیزیک
Quasar	اختروش
parallax	اختلاف منظر
spectroscopic parallax	اختلاف منظر طیفی

Eris	اریس
Aristarchus	اریستارکوس
stratosphere	استراتوسپهر
Equator	استوا
celestial equator	استوای سماوی
Equinox	اعتدال
vernal equinox	اعتدال بهاری
autumnal equinox	اعتدال پاییزی
Horizon	افق
Oceans	اقیانوس
Oxygen	اکسیژن
Almagest	المجسطی
primary waves	امواج اصلی
X waves	امواج ایکس
radio waves	امواج رادیویی
longitudinal waves	امواج طولی
secondary waves	امواج فرعی
gamma waves	امواج گاما
Redshift	انتقال به سرخ
angular size	اندازه زاویه ای
angular momentum	اندازه گیری زاویه ای

kinetic energy	انرژی جنبشی
big bang	انفجار بزرگ
summer solstice	انقلاب تابستانی
winter solstice	انقلاب زمستانی
apogee//// zenith	اوج
Uranus	اورانوس
Richard Dixon Oldham	اولدهام
lunar phase	اهله ماه
Main state	ایالت مین
isotope	ایزوتوپ
solar wind	باد خورشیدی
T Tauri wind	باد T-تور
	بازاتصال مغناطیسی
tidal bulges	برآمدگی های جزر و مدی
accretion	برافزایش
prominence	برجستگی
greatest eastern elongation	بزرگترین کشیدگی شرقی
greatest western elongation	بزرگترین کشیدگی غربی
frequency	بسامد

Ptolemy	بطلمیوس
conservation of angular momentum	بقای گشتاور زاویه ای
right ascension	بعد
crystal	بلور
Inge Lehmann	بهازلمان
Bahamas	بهاماس
	بیشینه خورشیدی
parsec	پارسک
pause	پاوز (بس)
light scattering	پراکندگی نور
proton	پروتون
Proxima Centauri	پروکسیما قنطورس
	پلاژ
plastic	پلاستیک
plasma	پلاسما
Pluto	پلوتو
positron	پوزیترون
crust (of earth)	پوسته (زمین)
fusion crust	پوسته همجوئی
subduction zone	پهنه فرورانش

proto sun	پیش خورشید
proto planet	پیش سیاره
radiation	تابش
acoustic radiation	تابش آکوستیک
Black body radiation	تابش جسم سیاه
luminosity	تابندگی
corona	تاج
solar corona	تاج خورشید
epoch	تاریخ مبنا
	تاریک شدگی لبه
pulsar	تپ اختر
troposphere	تراپوسپهر
Kelvin-Helmholtz contraction	تراکم کلین-هلمهولتز
third quarter moon	تربیع آخر
first quarter moon	تربیع اول
chemical composition	ترکیبات شیمیایی
	تبادل حرارتی
gravitational deformation	تغییر شکل گرانشی
chemical differentiation	تفکیک شیمیایی

calendar	تقویم
telescope	تلسکوپ
umbra	تمام سایه
respiration	تنفس
power of ten	توان ده
solar constant	ثابت خورشیدی
arc second	ثانیه قوسی
Doppler shift	جابجایی دوپلر
mantle	جبه
jets	جت
convection current	جریان همرفتی
low tide	جزر
tides	جزر و مد
neap tides	جزر و مد خفیف
spring tides	جزر و مد فنی
earth's atmosphere	جو زمین
universe	جهان
rotation	چرخش
differential rotation	چرخش جزئی/تفاضلی
synchronous rotation	چرخش همزمان (همگام)
	چرخه خورشیدی ۲۲ ساله

solar cycle	چرخه خورشیدی
sunspots cycle	چرخه لکه های خورشیدی
CNO cycle	چرخه CNO
revolve	چرخیدن
density	چگالی
average density	چگالی میانگین
motions of the moon	حرکات ماه
retrograde motion	حرکت برگشتی
precession	حرکت تقدیمی
precession of the equinoxes	حرکت تقدیمی اعتدالین
diurnal motion	حرکت روزانه
apparent motion	حرکت ظاهری
direct motion	حرکت مستقیم
proper motion	حرکت ویژه
perigee/////perihelion	حضیض
coronal holes	حفره های تاج
extinction	خاموشی
interplanetary debris	خرده جرم های بین سیاره ای
asteroid	خرده سیاره
baseline	خط تراز
absorption line	خط جذب

terminator	خط فاصل
line of nodes	خط گره
Fraunhofer absorption lines	خطوط جذبی فرانهورفر
sun	خورشید
solar eclipse	خورشید گرفتگی (کسوف)
partial solar eclipse	خورشید گرفتگی جزئی
annular solar eclipse	خورشید گرفتگی حلقوی
total solar eclipse	خورشید گرفتگی کلی
mean sun	خورشید میانگین
cluster	خوشه
	دانه
granulation of the photosphere	دانه ای بودن شیدسپهر
granulated	دانه دانه کردن
Maria	دریاهای ماه
valleys of the moon	دره های ماه
	دوران تقاضلی
ecliptic	دایرة البروج
Antarctic Circle	دایره جنوبگان
arctic Circle	دایره شمالگان
great circle	دایره عظیمه

little bear	دب اصغر
big bear	دب اکبر
degree	درجه
apparent brightness	درخشندگی ظاهری
celestial coordinate	دستگاه مختصات سماوی
arc minute	دقیقه قوسی
tail of a comet	دم دنباله دارها
dust tail	دم غباری
ion tail	دم یونی
black body temperature	دمای جسم سیاه
condensation temperature	دمای چگالش
comet	دنباله دار
Halley's comet	دنباله دار هالی
visual binary	دوتایی بصری (اپتیکی)
spectroscopic binary	دوتایی طیفی
eclipsing binary	دوتایی گرفتی
deuteron	دوترون
circumpolar	دور قطبی
period	دوره تناوب
sidereal period	دوره تناوب نجومی

synodic period	دوره تناوب هلالی
crater	دهانه
impact crater	دهانه های برخورد
elementary particles	ذرات بنیادی
planetesimal	ذره سیاره ای
radius luminosity temperature relationship	رابطه شعاع-تابندگی-دما
radioactive	رادیواکتیو
milky way	راه شیری
Lord Railigh	رایلی
luminosity class	رده تابندگی
spectral classes	رده های طیفی
	رشته
solar day	روز خورشیدی
apparent solar day	روز خورشیدی ظاهری
mean solar day	روز خورشیدی میانگین
sidereal day	روز نجومی
angle	زاویه
	زبانه
Saturn	زحل
helioseismology	زلزله شناسی خورشیدی

apparent solar time	زمان خورشیدی ظاهری
sidereal time	زمان نجومی
earth	زمین
plate tectonics	زمین ساخت صفحه ای
earthquakes	زمین لرزه
proton–proton chain	زنجیره پروتون–پروتون
Venus	زهرة (ناهید)
biosphere	زیست کره
tropical year	سال گرمسیری
sidereal year	سال نجومی
	یا سال مداری
light-year	سال نوری
umbra	سایه
star	ستاره
evening star	ستاره شام
morning star	ستاره صبح
polar star	ستاره قطبی
nebula	سحابی
solar nebula	سحابی خورشیدی
speed	سرعت
radial velocity	سرعت شعاعی

convection cell	سلول همرفتی
zenith	سمت الرأس
rock	سنگ
Igneous rock	سنگ آذرین
metamorphic rock	سنگ دگرگونی
sedimentary rock	سنگ رسوبی
lithosphere	سنگ کره
radioactive dating	سن یابی رادیواکتیو
Ozone hole	سوراخ ازن
minor planets	سیارات کوچک
asteroid	سیارک
planet	سیاره
superior planet	سیاره بالایی
inferior planet	سیاره پایینی
outer planet	سیاره خارجی
inner planet	سیاره داخلی
comparative planetology	سیاره شناسی تطبیقی
extra solar planet	سیاره فراخورشیدی
active planet	سیاره فعال
inactive planet	سیاره غیر فعال
terrestrial planets	سیاره های زمین مانند

Jovian planet	سیاره های مشتری مانند
black hole	سیاه چاله
	سیخک
ceres	سیرس
binary stars system	سیستم ستارگان دوتایی
color index	شاخص رنگ
	شبهانه روز خورشیدی
	شبهانه روز نجومی
acceleration	شتاب
solar flare	شراره خورشیدی
aurora australis	شفق جنوبی
aurora borealis	شفق شمالی
aurora	شفق قطبی
Oceanic rift	شکاف های اقیانوسی
meteor	شهاب
meteorite	شهاب سنگ
meteoroid	شهابواره
photosphere	شیدسپهر
astrometric method (for detecting extrasolar planets)	شیوه اخترسنجی (برای آشکار کردن سیاره های فراخورشیدی)

radial velocity method (for detecting extrasolar planets)	شیوه سرعت شعاعی (برای آشکار کردن سیاره های فراخورشیدی)
scientific method	شیوه علمی
transit method (for detecting extrasolar planets)	شیوه گذر (برای آشکار کردن سیاره های فراخورشیدی)
moon rocks	صخره های ماه
plate (lithospheric)	صفحه (سنگ کره ای)
ecliptic plane	صفحه دایره البروج
constellations	صورت فلکی
rise	طلوع
longitude	طول جغرافیایی
wave length	طول موج
spectrum	طیف
absorption line spectrum	طیف خط جذب
spectroscopy	طیف نمایی
atomic number	عدد اتمی
latitude	عرض جغرافیایی
Mercury	تیر
nebulousity	غبار
sunset	غروب

giant	غول
blue giant	غول آبی
red giant	غول قرمز
phase of the moon	فاز های ماه
angular distance	فاصله زاویه ای
distance astronomical	فاصله نجومی
chromosphere	فام سپهر
photosynthesis	فتوسنتز
hypothesis	فرضیه
nebular hypothesis	فرضیه سحابی
atmospheric pressure	فشار جوّی
season	فصل
eclipse season	فصل گرفت
epicycle	فلک تدویر
deferent	فلک حامل
photon	فوتون
Space time	فضازمان
nuclear physics	فیزیک هسته ای
	قاره
Stefan–Boltzmann law	قانون استفان-بولتزمن

law of conservation of mass and energy	قانون بقای جرم و انرژی
Wien's law	قانون وین
apparent magnitude	قدر ظاهری
absolute magnitude	قدر مطلق
protoplanetary disk (proplyd)	قرص پیش سیاره
south celestial pole	قطب جنوب سماوی
celestial pole	قطب سماوی
north celestial pole	قطب شمال سماوی
angular diameter	قطر زاویه ای
laws of physics	قوانین فیزیک
celestial sphere	کره سماوی
elongation	کشیدگی ///فاصله زاویه ای
asteroid belt	کمربند سیارک ها
Kuiper belt	کمربند کایپر
Van Allen belts	کمربندهای وان آلن
	کمینه خورشیدی
chondrule	کندروول
action and reaction	کنش و واکنش
white dwarf	کوتوله سفید
red dwarf	کوتوله قرمز

brown dwarf	کوتوله قهوه ای
mountains of the moon	کوه های ماه
galaxy	کهکشان
kilo parsec	کیلو پارسک
new cosmology	کیهان شناسی جدید
heliocentric cosmology	کیهان شناسی خورشید مرکزی
geocentric cosmology	کیهان شناسی زمین مرکزی
gas	گاز
greenhouse gas	گاز گلخانه ای
lava	گدازه
transit	گذر
meridian transit	گذر نصف النهاری
gravity	گرانش
granulated	گرانول
eclipse	گرفت
annular eclipse	گرفت حلقوی
total eclipse	گرفت کامل
totality (solar eclipse)	گرفت کلی (در خورشید گرفتگی)
totality (lunar eclipse)	گرفت کلی (در ماه گرفتگی)

penumbral eclipse	گرفت نیم سایه ای
global warming	گرمایش جهانی
ascending node	گره صعودی
descending node	گره نزولی
seafloor spreading	گسترش بستر اقیانوس
ozone layer	لایه ازن
seismograph	لرزه نگار
sunspot	لکه خورشیدی
Mineral	ماده معدنی
Magma	ماگما
Moon	ماه
synodic month	ماه خورشیدی
full moon	ماه کامل
sidereal month	ماه نجومی
lunar eclipse	ماه گرفتگی (خسوف)
partial lunar eclipse	ماه گرفتگی جزئی
total lunar eclipse	ماه گرفتگی کلی
waxing gibbous moon	ماه محدب افزایشی
waning gibbous moon	ماه محدب کاهشی
new moon	ماه نو
satellite	ماهواره

synodic month	ماه هلالی
triangulation	مثلث بندی
rotation axis	محور دوران
interstellar medium	محیط میان ستاره ای
high tide	مد
	مدار
tropic of Capricorn	مدار رأس الجدی
tropic of Cancer	مدار رأس السرطان
model	مدل
solar standard model	مدل استاندارد خورشیدی
core accretion model	مدل برافزایش هسته
	مدل دینام مغناطیسی
disk instability model	مدل قرص ناپایدار
center of mass	مرکز جرم
epicenter	مرکز زلزله
Mars	مریخ
mesosphere	مزوسپهر
eclipse path	مسیر گرفت
solar neutrino problem	مسئله نوترینو خورشیدی
Jupiter	مشتری
	مشعل

magnetopause	مغناطیس بس (ایست مغناطیس)
magnetosphere	مغناطیس سپهر (مغناط کره)
cosmic distance scale	مقیاس فاصله کیهانی
magnitude scale	مقیاس قدر
Newtonian mechanics	مکانیک نیوتونی
mega parsec	مگا پارسک
black body curve	منحنی جسم سیاه
light curve	منحنی نور
zodiac	منطقه البروج
radiation zone	منطقه تابش
time zone	منطقه زمانی
shadow zone	منطقه سایه
transition zone	منطقه گذار
convective zone	منطقه همرفت
solar system	منظومه شمسی
	موازنه هیدرواستاتیک
P waves	موج P
S wave	موج S
surface wave	موج سطحی
shock wave	موج ضربه
seismic waves	موج لرزه ای

micro lensing	میکرولنزینگ
declination	میل
red giant region	ناحیه غول قرمز
active region	ناحیه فعال
white dwarf region	ناحیه کوتوله سفید
astronomy	نجوم
	نجوم کروی
astronomical	نجومی
meridian	نصف النهار
prime meridian	نصف النهار مبدأ
upper meridian	نصف النهار بالایی
lower meridian	نصف النهار زیرین
theory	نظریه
dynamo theory	نظریه دینامو
capture theory	نظریه گیراندازی
melting point	نقطه ذوب
conjunction	نقطه عطف
superior conjunction	نقطه عطف بالایی
inferior conjunction	نقطه عطف پایینی
opposition	نقطه مقابله

exponent	نما
powers-of-ten notation	نماد توان ده
H-R diagram	نمودار H-R
color magnitude diagram	نمودار رنگ-قدر
	نمودار مغناطیسی
neutrons	نوترون
neutrino	نوترینو
	نوترینو خورشیدی
violet light	نور بنفش
	نور سپهر
photometry	نورسنجی
infrared light	نور فروسرخ
southern lights	نورهای جنوبی
northern lights	نورهای شمالی
neutrino oscillations	نوسانات نوترینو
nitrogen	نیتروژن
tidal force	نیروی جزر و مدی
weak nuclear force	نیروی ضعیف هسته ای
gravitational force	نیروی گرانش
differential	نیروی گرانش اختلافی

gravitational force	(تفاضلی)
strong nuclear force	نیروی قوی هسته ای
Nicolas Copernicus	نیکلاس کوپرنیک
penumbra	نیم سایه
New Brunswick	نیوبرانسویک
radioactive decay	واپاشی رادیواکتیو
astronomical unit	واحد نجومی
core	هسته
outer core (of Earth)	هسته خارجی (زمین)
inner core (of Earth)	هسته داخلی (زمین)
waxing crescent moon	هلال افزایشی
waning crescent moon	هلال کاهشی
helium	هلیوم
fusion	همجوشی
	همجوشی گرما هسته ای
nuclear fusion	همجوشی هسته ای
helium fusion	همجوشی هلیوم
	همجوشی هیدروژن
convection	همرفت
Hipparchus	هپارخوس
hydrogen	هیدروژن

liquid metallic

هیدروژن فلزی مایع

hydrogen

hydrosphere

هیدروسفر

ice

یخ

ionosphere

یون سفر

یون منفی هیدروژن

اعلام:

Aristarchus	آریستارکوس
Stefan	استفان
Inge Lehmann	اینگ لمان
Ptolemy	بطلمیوس
Boltzmann	بولتزمن
Tycho Brahe	تیکو براهه
James Van Allen	جیمز وان آلن
Doppler	دوپلر
Robert Leighton	رابرت لیتون
Rayleigh	رایلی
Richard Dixon Oldham	ریچارد دیکسون اولدهام
Raymond Davis	ریموند دیویس
Kelvin	کلوین
Kuiper	کوپر
Kirchhoff	کیرشهف
Galilei	گاليله
Masatoshi Koshiba	ماساتوشی کوشیبا
Nicolaus Copernicus	نیکلاس کپرنیک
Newton	نیوتون

Wien

وین

Halley

هالی

Heinrich Schwabe

هاینریش شوابه

Hipparchus

هیپارخوس

Johannes Kepler

یوهان کپلر