

نخستین درس در ستاره شناسی - بخش سوم

درس دوم: فاصله ها در ستاره شناسی

دکتر حسین شناور



پژوهش سرای دانش آموزی امام جعفر صادق (ع) گلستان



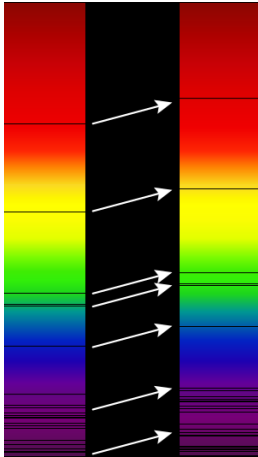
مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلبهار

- این مجموعه درس برای آشنایی مقدماتی دانش آموزان و علاقمندان فارسی زبان با مباحث نجوم، اختر فیزیک و کیهان شناسی طراحی شده است. هدف اصلی این مجموعه درس، افزایش دانش علاقمندان به ستاره شناسی است؛ هرچند، به برخی مهارت های مربوطه نیز پرداخته خواهد شد.
- خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:
h.shenavar@gmail.com
- از همکاران محترم در گلبهار و گلکان، برای همفکری ها و حمایت هایشان از فعالیت های پژوهش سرای دانش آموزی گلکان، کمال سپاسگزاری را دارم.
- برای ضبط این درس ها از نرم افزار Zoom استفاده شده است.

۱ درس دوم: فاصله ها در ستاره شناسی

- اندازه زمین و منظومه شمسی
- فاصله ها در کیهان

آنچه گذشت: نور در ستاره شناسی



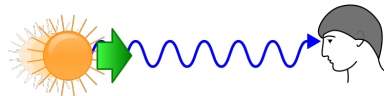
- نور یک موج الکترومغناطیسی است.

- نور انرژی را منتقل می کند.

- نور خاصیت ذره ای نیز دارد. ذرات تشکیل دهنده نور را فوتون می نامند.

- اتم ها و مولکول ها می توانند نور گسیل و یا جذب کنند. این نکته اساس درک ما از کیهان است.

- طیف سنجی به ما کمک می کند جنس اجرام و نیز سرعت، جرم، چرخش و یا میدان مغناطیسی آنها را تعیین کنیم.



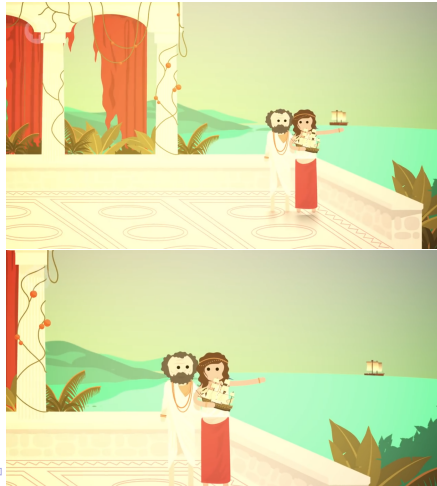
کروی بودن و اندازه کره زمین از زمان باستان مورد بحث بوده است.

- هزاران سال مردم فکر می کردند که ستاره ها، حفره های بسیار کوچکی در کره آسمان هستند که اجازه می دهند نور آسمان به ما برسد. البته آنها ابعاد این کره آسمانی را نمی دانستند؛ هرچند، همه مطمئن بودند که کره مورد نظر بسیار بزرگ است.
- ابعاد دیگر هم چندان مشخص نبود. مثلا اندازه کوه ها، فاصله کوه ها، قطر زمین و یا فواصل زمین تا ماه و ... نیز تا مدت ها نامعلوم بود.
- اگر شما در جاده رانندگی کنید، می بینید که درختان کنار جاده به سرعت نسبت به شما حرکت می کنند. هرچند، کوه های اطراف با سرعت بسیار کمتری جابه جا می شوند. به علاوه، به نظر می رسد ماه و خورشید به همراه شما حرکت می کنند؛ یعنی نسبت به شما ساکن هستند! تشخیص جابجایی و فاصله اجرام دور واقعا مشکل است و نیاز به دقت فراوان دارد.
- هرچند، کم کم و با ابداع روش های مثلثاتی، فواصل و ابعاد بهتر درک شد.



زمین گرد است!

- یونانیان باستان می دانستند که زمین کروی است. آنها برای زمین گرد چند دلیل داشتند:
- ۱ • کشتی هایی که در افق حرکت می کنند به نظر می رسد که از قسمت زیرین کشتی ناپدید می شوند.

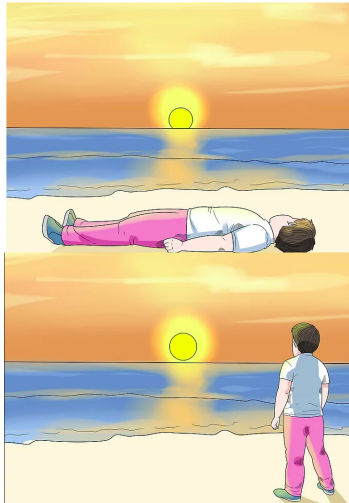


زمین گرد است!

- یونانیان باستان می دانستند که زمین گرد است. آنها برای زمین گرد چند دلیل داشتند:
- در پدیده ماه گرفتگی، سایه زمین بر ماه می افتد و این سایه همیشه گرد است!



زمین گرد است!



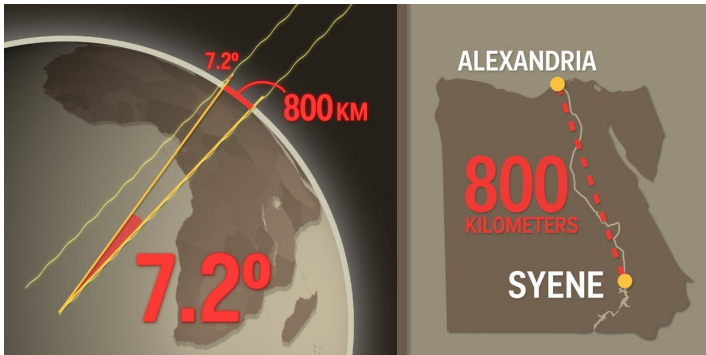
یونانیان باستان می دانستند که زمین گرد است. آنها برای زمین گرد چند دلیل داشتند:

۳ وقتی غروب آفتاب را در ساحل مشاهده می کنید و خورشید کاملاً به زیر افق فرو می رود، فردی که همزمان در یک ارتفاع در ساحل ایستاده است، خورشید را همچنان می بیند.



اراتوستن محیط و شعاع زمین را اندازه گیری می کند.

- اراتوستن (متفکر یونانی، متولد سیرن در لیبی امروزی) می دانست که در زمان انقلاب تابستانی در شهر اسوان (نام باستان: Syene) نور خورشید دقیقا به صورت عمودی به پایین چاه می تابد. او همچنین می دانست که در همین زمان، در اسکندریه نور خورشید با زاویه حدودا ۷ درجه به چاه می تابد. از اینجا، و با یک تناسب ساده او می توانست محیط زمین را اندازه گیری کند؛ البته در صورتی که فاصله دو شهر اسوان و اسکندریه معلوم باشد. بنا به داستان ها، او به فردی هزینه پرداخت تا فاصله دو شهر را اندازه گیری کند (با قدم!).

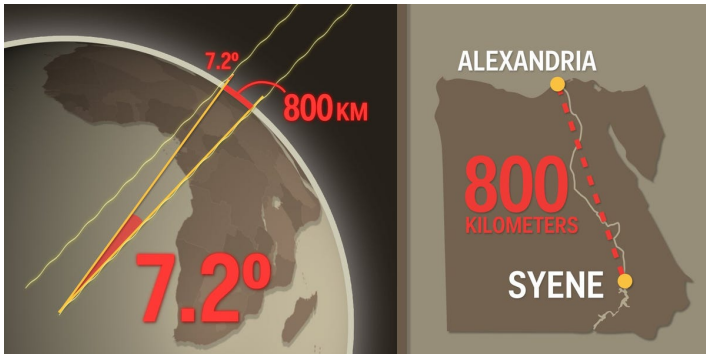


اراتوستن محیط و شعاع زمین را اندازه گیری می کند.

هرچند، احتمالاً او از مأموریت های زمین سنجی پیشین فاصله را می دانست. در هر حال، فاصله این دو شهر بنا به اندازه گیری های امروزی 800 km و 80° و زاویه دقیق دو تابش 7.2° است. بنابراین

$$\frac{7.2^\circ}{360^\circ} = \frac{800 \text{ km}}{P} \Rightarrow P = 800 \times \frac{360^\circ}{7.2^\circ} = 40000 \text{ km}$$

از اینجا شعاع زمین به صورت $P = 2\pi R \Rightarrow R = \frac{P}{2 \times 3.141592...} = 6366 \text{ km}$ که با مقدار امروزی 6371 km در توافق بسیار خوبی است. این اولین اندازه گیری موفق ابعاد جهان است!

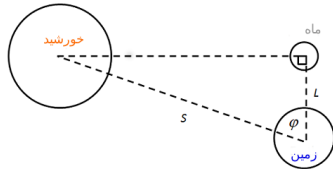


راه برای اندازه گیری های بعدی باز شد.



با دانستن ابعاد زمین می توان فواصل دیگر را تعیین کرد.
مثلا، با استفاده از زمان ورود و خروج ماه به سایه زمین،
و با استفاده از هندسه، می توان اندازه و فاصله ماه را بر
حسب اندازه زمین تعیین کرد.

یکی از یونانیان باستان (آریستارخوس ساموسی) این
محاسبات را ۲۳۰۰ سال پیش انجام داده و روش او هم
قابل قبول است.



همچنین، هلال های ماه به زاویه بین ماه، زمین و خورشید
وابسته اند. با فرض اندازه زمین به عنوان واحد فاصله،
آریستارخوس موفق شد فاصله تا ماه و خورشید، و همچنین
اندازه این دو جرم، را اندازه گیری کند.

هرچند نتایج او چندان دقیق نیستند، ولی روش های او کاملا
دقیق اند. بعدها اَبْرَخُس (یا هیپارکوس!) و بطلمیوس
توانستند از روش او استفاده کرده و مقادیر بسیار خوبی برای
اندازه و فاصله این اجرام به دست آورند.

وضعیت پیچیده تر برای تعیین فاصله بقیه اجرام

- پیدا کردن فاصله تا بقیه اجرام چندان آسان نیست زیرا این اجرام بسیار دورند و اندازه آنها نسبتاً کوچک است. سیارات در آسمان شب تقریباً شبیه نقطه اند. شکل زیر را ببیند (هلال ماه نو بسیار کمرنگ است).
- مشکل تعیین فاصله تا قرن هفدهم میلادی باقی ماند. در واقع این مشکل را می توان یکی از موانع اصلی در غلبه مدل خورشید مرکزی بر مدل زمین مرکزی دانست زیرا بدون تعیین دقیق فاصله اجرام، بررسی علمی منظومه شمسی چندان امکان پذیر نبود.



نیوتن وارد می شود!

- در قرن هفدهم، یوهان کپلر حجم عظیم داده های تیکو براهه را بررسی کرده و سه قانون اصلی سیارات (قوانین کپلر) را معرفی کرد.
- کمی بعد نیوتن موفق شد اولین مدل مکانیکی برای استخراج قوانین کپلر، و بنابراین توضیح علمی منظومه شمسی، را به دست دهد.
- مخصوصاً قانون سوم کپلر بیان می کند که توان دوم زمان تناوب چرخش سیارات به دور خورشید (T) با توان سوم نصف محور بزرگ بیضی (R) متناسب است. از اینجا می توان با اندازه گیری زمان تناوب (بر اساس مشاهده)، فاصله سیارات را اندازه گرفت.



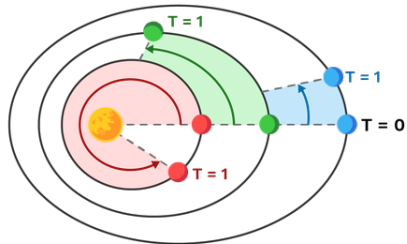
Tycho Brahe
(1546–1601)



Johannes Kepler
(1571–1630)

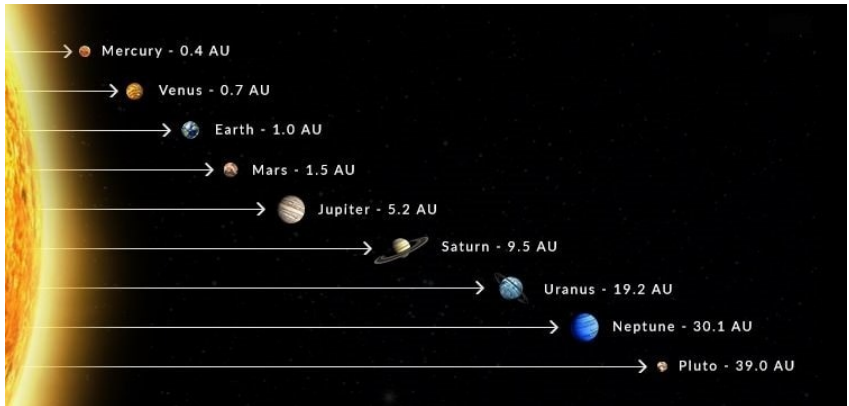


Isaac Newton
(1643–1727)



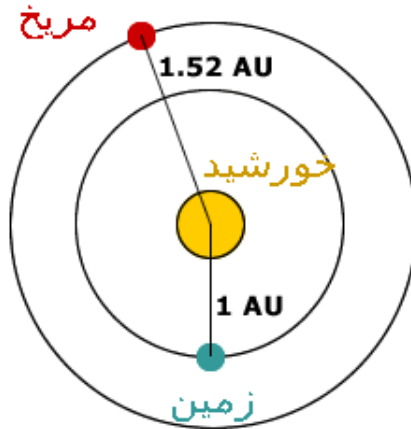
یک مشکل دیگر!

- ولی مشکلی وجود داشت. برای تعیین فاصله دقیق سیارات تا خورشید، باید فاصله دقیق زمین تا خورشید (به عنوان یکای طول) را می دانستیم.
- مثلا این را می دانستیم که فاصله مشتری تا خورشید $5/2$ برابر فاصله زمین تا خورشید است؛ ولی فاصله زمین تا خورشید بر حسب کیلومتر (و یا مایل) معلوم نبود.

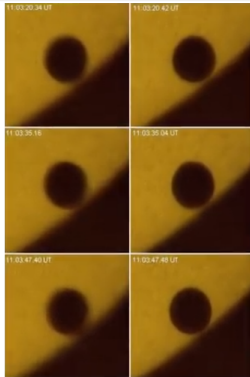


واحد نجومی

- برای تاکید بر اهمیت بنیادی فاصله زمین تا خورشید در محاسبات نجومی، دانشمندان به آن "واحد نجومی" (AU : *Astronomical Unit*) می گویند.



تلاش برای اندازه گیری دقیق واحد نجومی



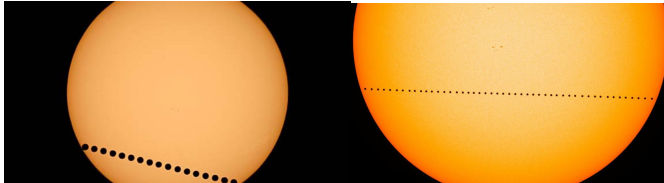
به دلیل اهمیت بنیادی واحد نجومی تلاش های بسیاری برای اندازه گیری دقیق آن انجام شد.

مثلا می توان با اندازه گیری دقیق زمان گذر سیارات تیر و ناهید از قرص خورشید، و با کمی محاسبات، فاصله زمین تا خورشید را اندازه گیری کرد. فیلم ها را ببینید.

برای اینکار سفرهای علمی بسیاری (به بسیاری نقاط کره زمین) انجام شد و سعی بر این بود که دقیق ترین مشاهدات گذرها جمع آوری شود.

هرچند، تاثیر جو زمین بر مشاهدات باعث می شد که خطای اندازه گیری ها زیاد شود.

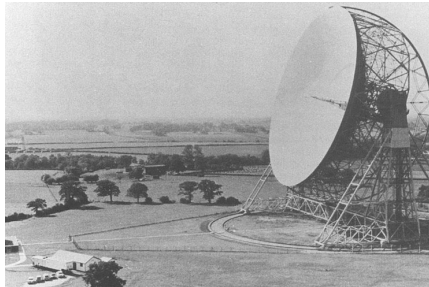
نتیجه به دست آمده: $148510000 \text{ km} \pm 800000 \text{ km}$



تلاش برای اندازه گیری دقیق واحد نجومی

- نتیجه به دست آمده پیشرفت خوبی بود، ولی کافی نبود.
- در نهایت، در دهه ۱۹۶۰، منجمین از رفت و برگشت سیگنال های رادیویی از ناهید استفاده کرده و مقدار واحد نجومی را دقیقاً معلوم کردند.
- از آنجا که مقدار سرعت موج الکترومغناطیسی تا حد بسیار دقیقی معلوم است (در واقع در حال حاضر این مقدار یکی از ثوابت دستگاه یکاهاست)، زمان رفت و برگشت چنین سیگنالی را می توان با دقت بسیار زیادی اندازه گرفت.
- بر اساس محاسبات راداری، اکنون مقدار واحد نجومی (فاصله متوسط زمین تا خورشید) به صورت زیر تعیین شده است:

$$AU = ۱۴۹۵۹۷۸۷۰۷ \text{ km}$$

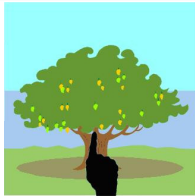


اندازه گیری فواصل دیگر

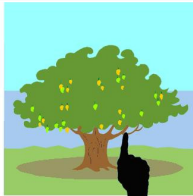
- با اندازه گیری واحد نجومی به صورت دقیق، محاسبات نجومی منظومه شمسی شکل بسیار دقیق تری به خود گرفت. مخصوصا راه برای اکتشافات فضایی نیز باز شد.
- البته حالا می شد فواصل ستارگان و کهکشان را نیز دقیق تر تخمین زد. در این بخش به این مساله می پردازیم.



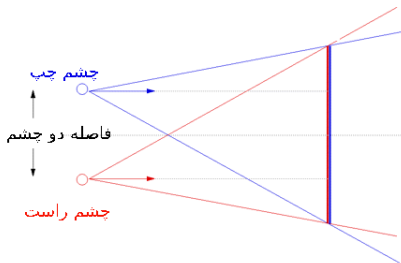
اختلاف منظر



چشم راست باز است



چشم چپ باز است



چشم چپ خود را بسته و اتاق را با چشم راست ببینید. حالا چشم راست را بسته و اتاق را با چشم چپ ببینید. چه تفاوتی احساس می کنید.

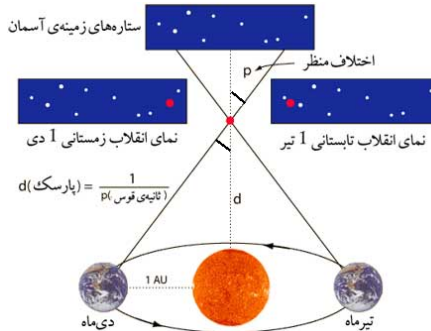
احتمالا تاکنون متوجه شده اید که منظره دیده شده توسط چشم چپ کمی با منظره دیده شده توسط چشم راست تفاوت دارد.

مغز انسان مناظر متفاوت دیده شده توسط دو چشم (در دو زاویه متفاوت) را کنار هم گذاشته، آن دو را با هم مقایسه کرده و کمی محاسبه هندسی انجام می دهد تا تخمینی از فاصله و عمق اشیاء در اختیار ما قرار دهد.

همین روش را می توان در نجوم برای اندازه گیری فاصله ستارگان نسبتا نزدیک به کار برد. فهم این نکته که خورشید در مرکز منظومه شمسی است (و نه زمین) باعث شد که این روش توجیه علمی پیدا کند.

اختلاف منظر

- وقتی منجمین فهمیدند که زمین به دور خورشید در حال دوران است، توانستند دو نقطه مقابل در مدار زمین (مثلا اول زمستان و اول تابستان) را به عنوان دو چشم در نظر گرفته و از روش اختلاف منظر استفاده کنند.
- اختلاف منظر: موقعیت ستاره ای را در آسمان مشاهده کرده و پس از شش ماه همین کار را تکرار می کنیم. اگر موقعیت ستاره نسبت به ستارگان پس زمینه تغییر کرده باشد، بدین معنی است که ستاره مورد نظر در فاصله نسبتا نزدیکی است و می توان فاصله آن را با اندکی محاسبات به دست آورد.

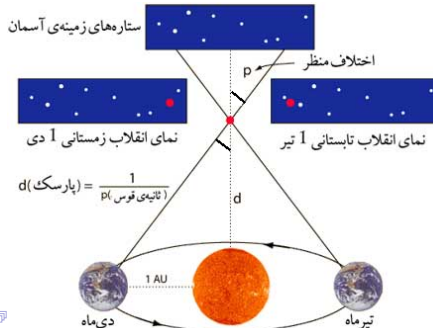


اختلاف منظر

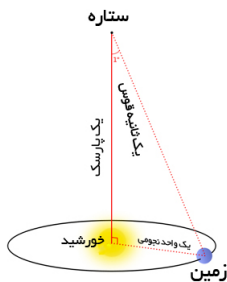
● اگر زاویه اختلاف منظر (در فاصله زمانی شش ماه) را با p بر حسب رادیان اندازه گیری کنیم،
آنگاه فاصله ستاره مورد نظر تا زمین برابر است با $d = \frac{AU}{p}$.

● هرچند، زاویه اختلاف منظر معمولا بسیار کوچکتر از رادیان و یا حتی درجه است و بنابراین با ثانیه قوسی سنجیده می شود. یک درجه برابر با 60 دقیقه قوسی و هر دقیقه قوسی برابر با 60 ثانیه قوسی است.

● ستاره ۶۱ ماکیان اولین ستاره ای بود که فاصله اش به این ترتیب اندازه گیری شد. اختلاف منظر این ستاره برابر $0.286''$ است و بنابراین فاصله آن برابر $721205 AU$ به دست می آید.
تمرین: اثبات کنید!



فواصل واقعا عظیم اند!



فاصله ستاره ۶۱ مایکان تقریبا برابر ۱۰۰ تریلیون کیلومتر است! تازه، این ستاره بسیار به ما نزدیک است!!!

منجمین به زودی دریافتند که برای اندازه گیری فواصل درون کهکشان و کیهان، حتی AU هم واحد کوچکی است. بنابراین به واحدهای طول بسیار بزرگتری مانند پارسک و سال نوری روی آوردند.

پارسک (pc) به عنوان واحد طول: زاویه یک ثانیه قوسی ۱" روبه رو به کمانی از دایره به طول یک واحد نجومی AU را در نظر بگیرید. شعاع چنین دایره ای برابر یک پارسک است:

$$pc = 3,085677581 \times 10^{16} m$$

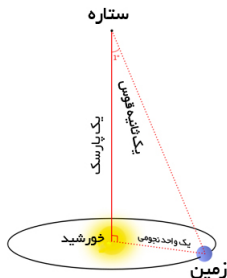
سال نوری "فاصله" ای است که نور در مدت یک سال می پیماید. یک سال نوری تقریبا برابر ۹,۴۶ تریلیون کیلومتر است.

هر پارسک تقریبا ۳,۲۶ سال نوری است:

$$pc = 3,26 ly$$



فواصل واقعا عظیم اند!



نزدیک ترین ستاره به ما حدودا $4.2 ly$ سال نوری از ما فاصله دارد. دورترین ستاره هایی که با چشم دیده می شوند نیز بیش از 1000 سال نوری فاصله دارند.

اکثر ستارگان آسمان که با چشم غیر مسلح دیده می شوند در فاصله حدودا $100 ly$ از ما قرار گرفته اند (به صورت متوسط).

یکی از اصلی ترین کارهای تلسکوپ های زمینی و فضایی تعیین دقیق فواصل ستارگان، سحابی ها، کهکشان ها و ... است.

روش اختلاف منظر برای ستارگان نسبتا نزدیک جواب می دهد (معمولا در فاصله کمتر از 1000 سال نوری). برای اندازه گیری فاصله اجرام دورتر می توان از روش های دیگر (با دقت کمتر) استفاده کرد.

اهمیت روش اختلاف منظر این است که روش های دیگر تعیین فاصله را می توان با آن تنظیم کرد. به این کار کالیبره کردن می گویند.

تعیین فاصله با استفاده از روشنایی ستارگان

- فرض کنید دو لامپ با روشنایی یکسان در یک خیابان داریم. در این حالت، لامپی که به ما نزدیک است پر نورتر به نظر می رسد که در حالی که لامپ دورتر کم نورتر است.
- میزان این کم نور شدن نیز به فاصله ربط دارد؛ به این ترتیب که مقدار نور رسیده به ما با عکس مجذور فاصله $\frac{1}{r^2}$ رابطه دارد.
- مثلا، سه لامپ در فواصل ۱۰۰ متر، ۲۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر را در نظر بگیرید. در این حالت، روشنایی دومی $\frac{1}{4} = \frac{1}{2^2}$ برابر روشنایی اولی و روشنایی لامپ سوم $\frac{1}{100} = \frac{1}{10^2}$ برابر لامپ اول است.
- همین پدیده در مورد ستارگان هم اتفاق می افتد؛ فقط باید مطمئن شویم که هر دو ستاره روشنایی ذاتی یکسانی دارند.



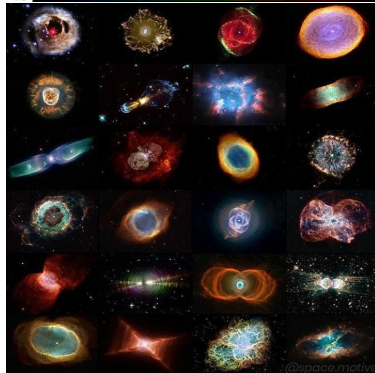
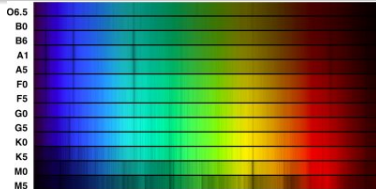
اگر دو ستاره با روشنایی ذاتی یکسان داشته باشیم (یعنی هر دو ستاره میزان انرژی برابری را در واحد زمان بیرون می دهند، مانند دو لامپ ۱۰۰ وات یکسان)، آنگاه اگر هر دو در یک فاصله هم باشند، نور برابری خواهند داشت.

ولی اگر یکی از ستاره ها در فاصله دو برابر نسبت به ستاره دیگر قرار دارد، آنگاه روشنایی دومی $\frac{1}{4}$ برابر روشنایی اولی است. اگر ستاره یکسان دیگری در فاصله 10° برابر ستاره اولی باشد آنگاه روشنایی این ستاره دورتر $\frac{1}{100}$ برابر ستاره اول است.

● حال اگر فاصله ستاره اولی را از روش اختلاف منظر بدانیم می توانیم فاصله دو ستاره دیگر را نیز، از روی میزان روشنایی آنها، بفهمیم.



روشنایی کدام ستاره ها یکسان است.



البته، برای موفقیت روش بالا، باید مطمئن شویم که ستارگان مورد نظر روشنایی ذاتی یکسانی دارند. چطور چنین چیزی را می توان فهمید؟

پاسخ: طیف سنجی! با طیف سنجی ستارگان می توان دمای آن ها را تعیین کرد و مشخص کرد که هرکدام از چه نوعی هستند.

با داشتن طیف ستاره (موضوع جلسه قبل) و فاصله آن (موضوع این جلسه) می توان جرم و حتی قطر ستاره را نیز تعیین کرد. در واقع با مشخص شدن این دو عامل می توان جزییات فیزیکی بسیاری را درباره آنها فهمید. در جلسه بعد بررسی فیزیک ستارگان را شروع خواهیم کرد.

از طرفی با بررسی فیزیک ستارگان به صورت دقیق تر (فهم ستارگان در حال مرگ، ابرنواخترها، تپنده ها و ...) روش های جدیدی برای تعیین فاصله بوجود آمده اند.

برای آشنایی بیشتر با واحدهای نجومی درس زیر را ببینید.

- برای آشنایی بیشتر با واحدهای نجومی، درس چهارم از مجموعه ”یکاهای و تبدیل یکاهای“ با عنوان ”یکاهای نجومی و تبدیل آنها“ را ببینید.

یکاهای نجومی و تبدیل آنها

دوره فشرده یکاهای و تبدیل یکاهای درس چهارم: یکاهای نجومی و تبدیل آنها

حسین شناور

دانشگاه فرهنگیان



نکات مهم این درس

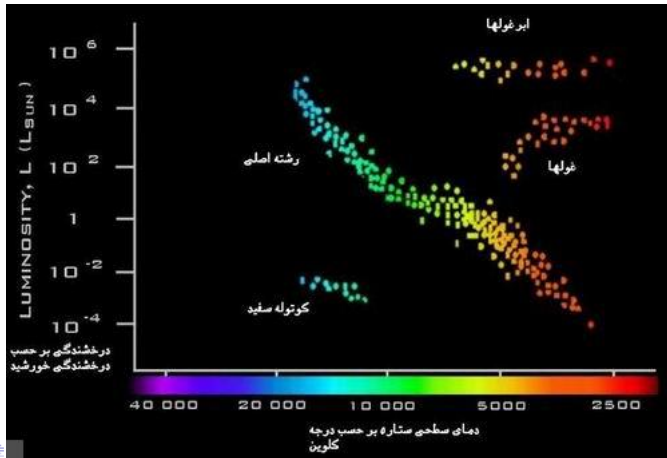
انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید مفاهیم و روش های اصلی تعیین فاصله در ستاره شناسی را بیان کنید. همچنین، انتظار می رود که بتوانید پرسش های زیر را پاسخ گوید:

- ۱ یونانیان چطور می دانستند که زمین گرد است؟ آیا شما روش های دیگری برای اثبات کروی بودن زمین می دانید؟
- ۲ اراتوستن چطور شعاع زمین را اندازه گرفت؟
- ۳ آریستارخوس چطور فاصله زمین تا ماه و زمین تا خورشید را اندازه گرفت؟
- ۴ چرا تعیین فاصله سیارات دیگر تا زمین، نسبت به تعیین فاصله ماه و خورشید تا زمین، سخت تر است؟
- ۵ قانون سوم کپلر را بیان کنید.
- ۶ واحد نجومی چیست و مقدار کنونی آن چقدر است؟
- ۷ چه روش هایی تاکنون برای تعیین واحد نجومی به کار رفته است؟
- ۸ منظور از اختلاف منظر چیست؟
- ۹ چطور می توان از اختلاف منظر برای تعیین فاصله ستارگان استفاده کرد؟
- ۱۰ ثانیه قوسی چیست؟ پارسک چیست؟ سال نوری را تعریف کنید.
- ۱۱ اکثر ستارگان که با چشم دیده می شوند در چه فاصله ای از ما قرار دارند؟
- ۱۲ روش اختلاف منظر برای تعیین فاصله ستارگان تا چه فاصله ای به خوبی جواب می دهد؟
- ۱۳ برای تعیین فاصله ستارگانی که اختلاف منظر آنها بسیار ناچیز است چه روش هایی داریم؟
- ۱۴ چطور می توان تعیین کرد که آیا دو ستاره از نظر توان تابشی (روشنایی و یا نور گسیل شده) یکسان هستند و یا نه؟

اگر درباره هر کدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، می توانید درس را یک بار دیگر مرور کنید.

مبحث بعدی: ستارگان

در جلسه بعد فرا می گیریم که چطور منجمین ستارگان را بر اساس طیف سنجی آنها دسته بندی می کنند. همچنین نمودار هرتسپرونگ-راسل، که یکی از مهم ترین نمودارهای اخترفیزیک است، را بررسی خواهیم کرد. به علاوه با مفهوم رشته اصلی آشنا خواهیم شد.



منابع درس

- ۱ PBS Crash Course Astronomy by Phil Plait, available on YouTube and PBS website

- ۱ نجوم به زبان ساده، مایر دگانی، ویراست سوم، ترجمه محمدرضا خواجه پور، انتشارات گیتاشناسی، ۱۳۹۳
- ۲ اساس ستاره شناسی، مایکل سیدز، جلد های ۱ و ۲، ترجمه اشرفی و صالحی، ویراسته خواجهوی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۰

با سپاس از توجه شما،
لطفا ما را در شبکه های
اجتماعی دنبال کنید.