

نخستین درس در ستاره‌شناسی - بخش سوم

درس چهارم: سیارات فراخورشیدی

دکتر حسین شناور



پژوهش‌سرای دانش‌آموزی امام جعفر صادق (ع) گلستان



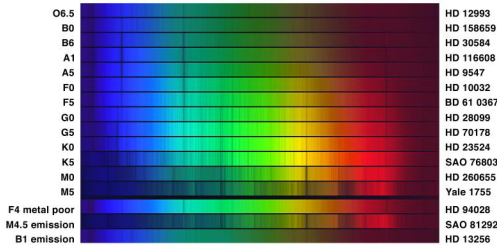
مدیریت آموزش و پرورش شهرستان گلپه‌ار

- 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 چهارم: سیارات فراخورشیدی

- یافتن سیارات فراخورشیدی
- گوناگونی سیارات فراخورشیدی

آنچه گذشت: ستارگان



در جلسه پیش مفاهیم اصلی مربوط به رده بندی طیفی ستارگان را فرا گرفتیم:

۱ طیف جذبی و گسیلی ستارگان

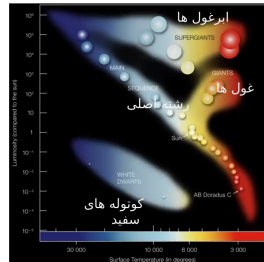
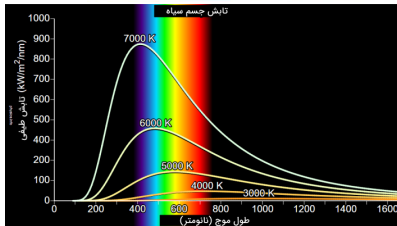
۲ تابش جسم سیاه

۳ رده بندی طیفی ستارگان

۴ رنگ خورشید

۵ درخشندگی و واحدهای آن

۶ نمودار هرتسپرونگ-راسل



جهان های دیگر



وقتی به آسمان پرستاره می نگریم، و با توجه به تعداد بسیار زیاد ستارگانی که تاکنون توسط تلسکوپ ها کشف شده اند، همیشه ممکن است این نوع سوالات به ذهن ما خطور کند:

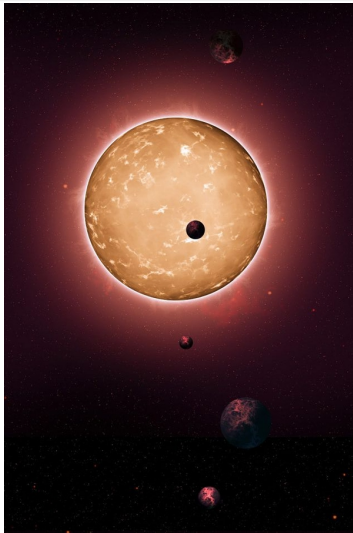
۱ آیا سیاراتی وجود دارند که به دور آن ستارگان بگردند؟

۲ آیا سیاراتی شبیه به زمین در دیگر نقاط کیهان وجود دارند؟

انسان برای هزاران سال به چنین سوالاتی فکر کرده است؛ ولی تا همین اواخر هیچوقت جواب درستی برای پرسش هایش نداشته است.

• اکنون، برای اولین بار در تاریخ، می توانیم به این سوالات به صورت علمی بیندیشیم و به آنها جواب دهیم!

آیا سیارات به راحتی به وجود می آیند؟



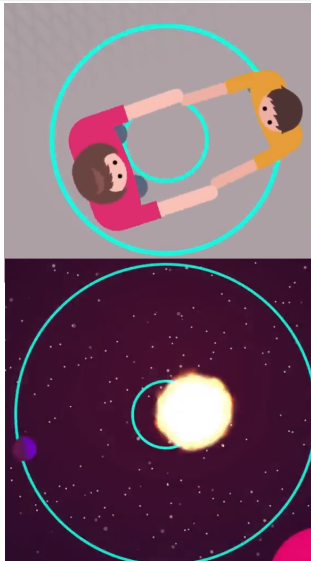
وقتی به منظومه خورشیدی می نگریم، می بینیم که انواع سیارات در حال گردش به دور خورشید هستند: سیارات کوچک، بزرگ، با و بدون اتمسفر، سنگی، گازی، سرد، داغ و غیره. با این مشاهده، ممکن است فکر کنیم که سیارات به آسانی و با تنوع بسیار به وجود می آیند.

حتی اگر تشکیل سیارات مشکل باشد، با توجه به تعداد بسیار زیاد ستارگان، می توان تصور کرد که احتمالاً ستارگان دیگری نیز (به جز خورشید) موفق به تشکیل سیاره شده اند.

منجمین برای پیدا کردن چنین سیاراتی به مدت بسیار طولانی تلاش کرده اند. هرچند، پیدا کردن چنین اجرامی سخت است.

اصلی ترین مشکل در یافتن سیارات فراخورشیدی این است که این گونه اجرام بسیار کم نورند. از طرفی اگر این سیاره به ستاره اش نزدیک باشد، مشکل مشاهده دوچندان می شود چون تشخیص یک جرم کم نور کوچک در نزدیکی یک جرم پرنور و بزرگ بسیار دشوار است. وضعیت مثل یافتن یک ذره در نزدیکی یک لامپ بسیار پرنور است.

حرکت بازتابی سیستم های دو جرمی



هرچند آشکارسازی مستقیم سیارات فراخورشیدی مشکل است، می توان این اجرام را به صورت غیرمستقیم آشکارسازی کرد. چگونه؟

دو کودک (یکی بزرگتر و دیگری کوچکتر) را تصور کنید که مانند شکل، روبرو به هم هستند و در حالی که دست یکدیگر را گرفته اند، می چرخند.

وقتی کودکان به این صورت در حال چرخیدن هستند، کودک کوچکتر دایره بزرگتر را می پیماید در حالی که کودک بزرگتر دایره کوچکتر را می پیماید.

همین اتفاق در حرکت ستاره و سیاره نیز رخ می دهد. سیاره در حال گردش به دور یک ستاره دایره بزرگتر را می پیماید در حالی که ستاره (جرم بزرگتر) دایره کوچکتر را می پیماید.

البته مسیر دو جرم در واقع بیضی است و ما برای ساده سازی از دایره در شکل استفاده کرده ایم.

چنین حرکتی را حرکت بازتابی (*reflex motion*) می نامند.

مرکز جرم مهم است!

تلاش برای آشکارسازی سیارات فراخورشیدی

- منجمین، برای مدتی طولانی، تلاش کردند که حرکت بازتابی را در ستارگان نزدیک آشکار سازی کنند. کشف چنین حرکتی در ستارگان می توانست به معنی وجود سیارات فراخورشیدی باشد.
- ولی معلوم شد که حرکت بازتابی بسیار کوچک است و آشکار سازی آن بسیار سخت می باشد.
- در سال ۱۹۹۲ همه چیز تغییر کرد. منجمین آلکساندر وُلشن و دِیل فریل وجود دو سیاره، که به دور یک تپاختر (*pulsar*) در حال دوران بودند، را اعلام کردند.



PSR B1257+12

تلاش برای آشکارسازی سیارات فراخورشیدی

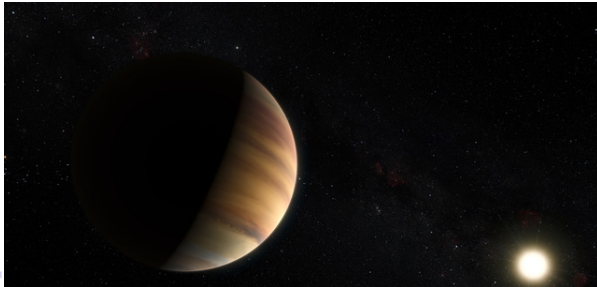
- تپ اخترها باقی مانده مُرده برخی ستارگان منفجر شده هستند. برای درک بهتر تپ اخترها به بخش سوم مراجعه کنید.
- این کشف بسیار عجیب بود زیرا وقتی یک ستاره منفجر می شود، چنان انفجار مهیبی رخ می دهد که هرگونه سیاره ای به دور آن را تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین، در ابتدا انتظار نمی رفت که سیارات در چنین شرایطی یافت شوند.
- هرچند، پژوهش های بعدی نشان داد که این سیارات واقعا به دور تپ اختر مورد نظر در حال دوران هستند. چند سال بعد، سیاره سومی هم در این سیستم پیدا شد!



PSR B1257+12

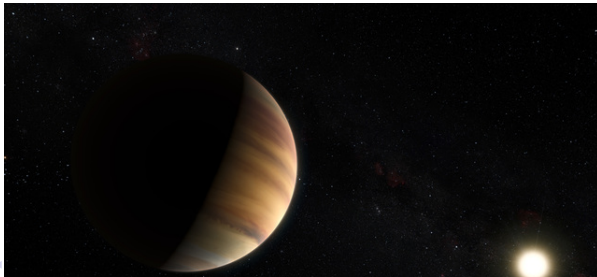
اطراف ستارگانی مانند خورشید چه خبر است؟

- کشف اخیر بسیار شگفت انگیز بود؛ هرچند، هنوز سوالات دیگری باقی مانده بود. مخصوصاً از این جهت که تپ اخترها اجرام عجیبی هستند (از نظر فیزیکی همچنان بحث برانگیزند). به علاوه، به نظر می رسد که سیارات کشف شده پس از انفجار ابرنواختری تشکیل شده اند (از مواد باقیمانده از انفجار).
- از طرفی، این وضعیت به سناریوی تشکیل منظومه شمسی شبیه نبود. بنابراین، این سوال همچنان باقی ماند که آیا سیاراتی وجود دارند که به دور ستارگانی مانند خورشید بچرخند؟
- در سال ۱۹۹۵، منجمین سویسی میشل میور و دیدیه کیلوس سیاره ای را یافتند که به دور ستاره *Pegasi ۵۱* در حال دوران است. این ستاره بسیار شبیه به خورشید است و فقط ۵۰ سال نوری با ما فاصله دارد.



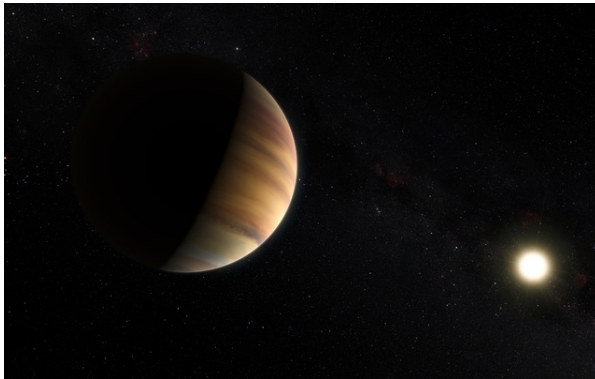
حرکت بازتابی ستاره بالاخره آشکار سازی شد!

- سیاره *Pegasi b* ۵۱ به وسیله حرکت بازتابی ستاره کشف شد. با وجودی که این اثر بسیار کوچک است، معلوم شد که ستاره در اثر حرکت بازتابی خود برخی اوقات به سمت ما حرکت کرده و برخی اوقات از ما دور می شود. در نتیجه، نور ستاره دچار یک جابجایی داپلر (درس اول از بخش سوم) می شود.
- برای کشف این جابجایی داپلر بسیار کوچک، ابزارهای بسیار دقیقی ابداع شده اند.
- سیاره فراخورشیدی کشف شده کمی عجیب است. نخست اینکه دوره گردش مداری این سیاره به دور ستاره اش ۴/۲۳ روز است!! از اینجا می توان نتیجه گرفت که سیاره مورد نظر، به ستاره اش بسیار نزدیک است؛ حدود هشت میلیون کیلومتر. این مقدار را با فاصله سیاره تیر تا خورشید (۵۵ میلیون کیلومتر) مقایسه کنید.

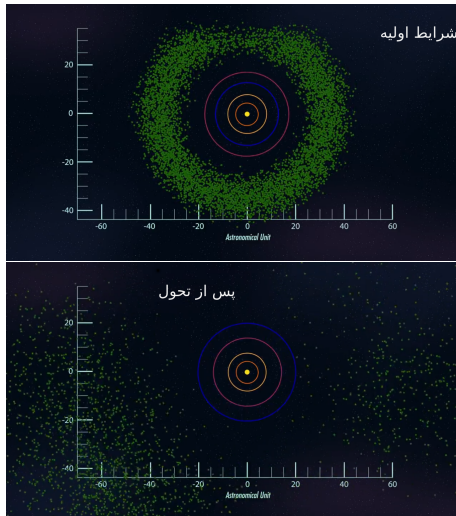


سیاره *Pegasi b* ۵۱

- دوم اینکه، مقدار جابجایی داپلر ستاره به جرم سیاره بستگی دارد. سیاره ای که پرجرم تر باشد، ستاره را با نیروی بیشتری جذب کرده و در نتیجه سرعت داپلر ستاره بیشتر می شود. با استفاده از این روش معلوم شد که جرم سیاره *Pegasi b* ۵۱ حداقل نصف جرم مشتری است!
- بنا به مدل های تشکیل سیاره، چنین چیزی ممکن نبود! بنا به این مدل ها، سیارات بسیار بزرگ نمی توانند در نزدیکی ستاره تشکیل شوند.



مهاجرت سیارات!

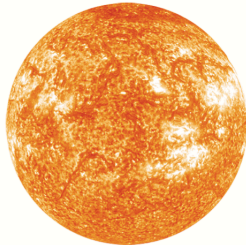


پاسخ کنونی منجمین به این مشکل ایده "مهاجرت سیارات" است. بنا به این ایده، سیارات بزرگ در فاصله زیاد از ستاره خود تشکیل می شوند (مثل مشتری). ولی سیاره ای مانند *Pegasi b* ۵۱، می تواند در نتیجه برهمکنش با دیسک سیارات جوان اطراف خود به سمت ستاره مهاجرت کند.

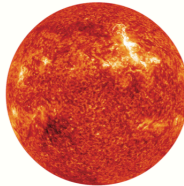
برخی مدل های تشکیل منظومه شمسی پیش بینی می کنند که مشتری هم در فاصله زیادی از خورشید تشکیل شده است؛ ولی بعداً در اثر برهمکنش با دیگر سیارات به خورشید نزدیکتر شده است. هرچند، برهمکنش با زحل باعث شده است که مشتری به خورشید زیاد نزدیک نشود.

با توجه به اینکه سیاره *Pegasi b* ۵۱ جرم همراهی مانند زحل نداشته است، بسیار به ستاره اش نزدیک شده است (مهاجرت بزرگتری داشته است).

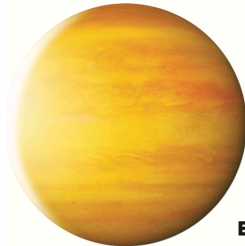
مشتري های داغ



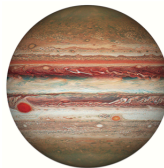
51 Pegasi



The sun



51 Pegasi b



Earth

Jupiter

سیاراتی مانند *Pegasi b* ۵۱ را مشتري داغ می نامند. مشتري داغ یا سیاره تفتیده نوعی سیاره فراخورشیدی گازی است در ابعاد سیاره مشتري و یا بزرگتر از آن. این سیارات، به دلیل فاصله بسیار کمی که با ستاره خود دارند، از دمای زیادی برخوردارند.

سیاره *Pegasi b* ۵۱ آنقدر پر جرم است که اتمسفر متراکم آن تاکنون توسط دما و بادهای خورشیدی ستاره اش نابود نشده است.

وقتی سیاره *Pegasi b* ۵۱ پیدا شد، تیم های بسیاری از منجمین شکار سیارات بسیار نزدیک به ستارگان (سیارات با دوره کوتاه مداری) را آغاز کردند. در طی چند سال بعد، تعداد زیادی سیاره فراخورشیدی به این روش پیدا شد و اتفاقا بسیاری از این سیارات از نوع مشتري داغ بودند.

منجمین همیشه مشکوک هستند؛ و باید هم باشند!

WWW.ANDERZTOONS.COM



"Either there's a spider on the lens, or we need to call somebody."

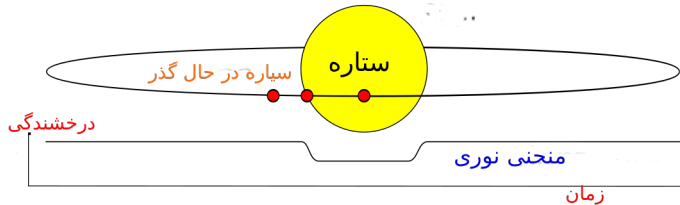
در ابتدا منجمین بسیاری نسبت به اکتشاف سیارات فراخورشیدی مشکوک بودند. دلیل این دانشمندان این بود که اتفاقات زیادی می تواند باعث شود که ما در تشخیص این اجرام، و اندازه گیری های مربوطه، دچار اشتباه شویم (مانند لکه های ستاره ای، ستاره تپنده، ستارگان پشت زمینه و ...).

دانشمندان با بحث های بسیار داغ این احتمالات را پیگیری می کنند. اینکار معمولاً از طریق نوشته های علمی در مجلات مختلفی انجام می شود که کار ساینرین را به چالش می کشد.

یکی از وظایف اصلی دانشمندان تلاش برای عدم فریب خود و دیگران است؛ بنابراین، یک دانشمند خوب باید از به چالش کشیده شدن ایده هایش استقبال کند. اگر ایده فرد اشتباه باشد، ناراحت کننده خواهد بود؛ ولی دانستن اشتباه بهتر از ندانستن آن است!

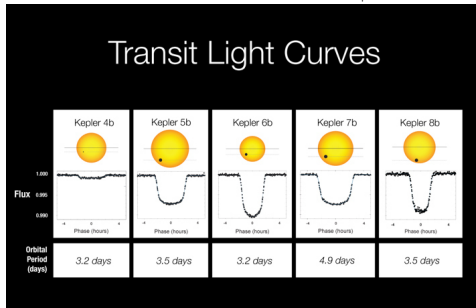
تایید وجود سیارات فراخورشیدی در گذر سیارات

- شک منجمین در سال ۱۹۹۹ تبدیل به یقین شد. در این سال، سیاره $HD\ 209458\ b$ با مشاهده گذران از مقابل ستاره اش کشف شد.
- سیاره $HD\ 209458\ b$ در فاصله بسیار کمی از ستاره اش در حال دوران است. دوره مداری این سیاره ۳/۵۲ روز است!
- از خوش شانسی ما، سیاره $HD\ 209458\ b$ وقتی از روی زمین دیده می شود، از قرص ستاره اش عبور می کند. یعنی در هر دوره مداری یکبار از جلوی ستاره اش می گذرد. این پدیده را گذر می نامند. در هنگام گذر سیاره، قسمتی از قرص ستاره توسط سیاره پوشیده می شود؛ در نتیجه منحنی درخشندگی ستاره دچار افت می شود. شکل زیر را ببینید.

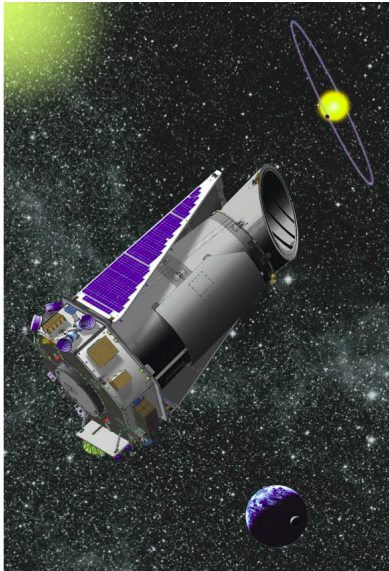


تعیین مشخصات فیزیکی سیارات فراخورشیدی

- قشنگی روش کشف سیارات فراخورشیدی با استفاده از گذر این است که مقدار افت در نور ستاره می تواند اندازه سیاره را برای ما تعیین کند. سیارات بزرگتر باعث مقدار افت بیشتری در نور می شوند.
- همچنین، اگر مقدار جرم سیاره را از جابجایی داپلر ستاره آن به دست آوریم، آنگاه می توانیم چگالی سیاره مورد نظر را نیز تعیین کنیم.
- تعیین چگالی سیارات بسیار مهم است. غول های گازی مانند مشتری چگالی بسیار کمتری نسبت به سیارات سنگی مانند زمین دارند.
- بنابراین، حتی بدون مشاهده مستقیم این سیارات، می توان اطلاعات فیزیکی خوبی درباره آنها به دست آورد.



عصر ماهواره کپلر

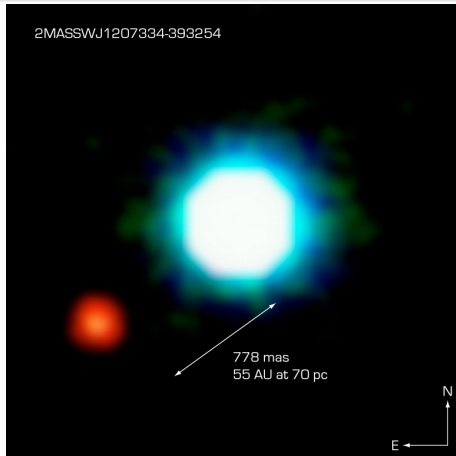


در سال ۲۰۰۹ سازمان فضایی ناسا ماهواره کپلر را برای بررسی دقیق ۱۵۰ هزار ستاره (در صور فلکی شلیاق، ماکیان و اژدها) به فضا فرستاد. هدف اصلی کپلر کشف گذر سیارات است. نتیجه فوق العاده بود!

تا سال ۲۰۱۵ تلسکوپ فضایی کپلر بیش از هزار سیاره فراخورشیدی (تایید شده) را گزارش کرده بود. همچنین تا آن سال، تلسکوپ های زمینی نزدیک به پانصد سیاره فراخورشیدی را گزارش کرده بودند. به علاوه، در آن سال نزدیک به ۳۲۰۰ کاندیدای سیاره فراخورشیدی نیز منتظر تایید و یا رد منجمین بودند.

تا ماه می ۲۰۲۳ تعداد سیارات فراخورشیدی تایید شده به ۵۳۶۶ رسیده است. این سیارات در ۳۹۶۲ سیستم سیاره ای قرار داشته و ۸۵۶ مورد از این سیستم ها بیش از یک سیاره گزارش شده دارند.

تایید مستقیم وجود سیارات فراخورشیدی



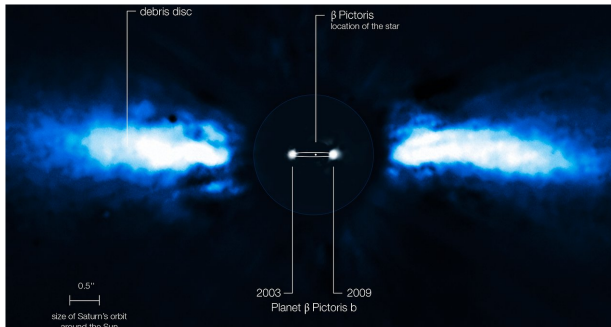
همه روش هایی که تاکنون برای کشف سیارات فراخورشیدی توصیف شده اند، بر اساس مشاهده غیرمستقیم بنا شده اند. ولی آیا امکان دارد سیارات فراخورشیدی را به صورت مستقیم دید و از آنها عکس گرفت؟

عکسبرداری مستقیم سیارات فراخورشیدی سخت است، زیرا این اجرام بسیار کم نورند. ولی اینکار ناممکن نیست. در سال ۲۰۰۴ اولین تصویر از یک سیاره فراخورشیدی به نام $2M1207b$ منتشر شد. جرم این سیاره پنج برابر جرم مشتری است و به دور یک کوتوله قهوه ای گردش می کند.

این سیستم جوان است و سیاره مورد اشاره اکنون به دلیل دمای زیادش می درخشد. به همین دلیل، درخشندگی این سیاره در نور فروسرخ بیشتر است.

و حتی سیارات بزرگتری نیز کشف شده اند ...

- تاکنون ده ها سیاره دیگر به این صورت کشف و تصویربرداری شده اند.
- یکی از سیارات جالبی که به این شیوه دیده شده است، سیاره بتا پیکتوریس بی (*Beta Pictoris b*) می باشد. جرم این سیاره تقریبا هفت برابر جرم مشتری است و دوره مداری آن تقریبا بیست سال است.
- همانطور که شکل زیر نشان می دهد، جابجایی این سیاره در عکس های سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۹ کاملا مشخص است.
- **عکسبرداری مستقیم از فراخورشیدی ها واقعا مشکل است، ولی ابزارهای ما هم در حال بهبودند.**



تنوع سیارات فراخورشیدی

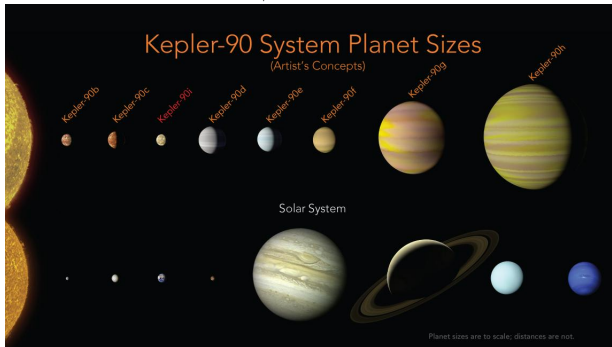
● تنوع سیارات فراخورشیدی بسیار جالب است:

● پیدا کردن مشتری های داغ آسان است، زیرا این سیارات بزرگ و سریع هستند.
● هرچند با بهبود تکنیک های ما، سیاراتی با جرم های کمتر نیز پیدا شده اند.
کوچکترین سیاره فراخورشیدی که تا سال ۲۰۱۳ کشف شده بود، از تیر کوچکتر و کمی از ماه بزرگتر بود (شعاع این سیاره ۰/۲۹۶ برابر شعاع زمین است).
حالا، با پیشرفت تکنولوژی ما، سیاراتی به مراتب کوچکتر کشف شده اند. مثلا، شعاع سیاره $SDSS\ J1228+1040\ b$ تقریبا ۱٪ برابر شعاع زمین است.



سیارات ابرزمین

- تنوع سیارات فراخورشیدی بسیار جالب است:
- سیاراتی که از زمین بزرگترند ولی از نپتون کوچکتر می باشند را ابرزمین می نامند.
- تاکنون تعداد زیادی سیستم سیاره ای با تعداد سیارات بالا یافت شده اند. در این بین، مخصوصاً سیستم $Kepler - 90$ با هشت سیاره تایید شده و $TRAPPIST - 1$ با هفت سیاره تایید شده مهم هستند.

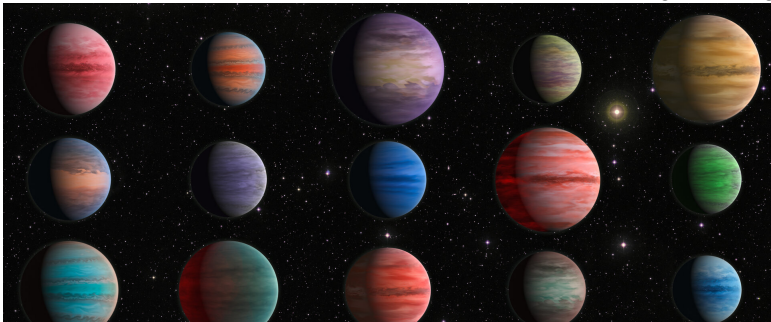


سیارات اطراف همه انواع ستارگان یافت می شوند.

• تنوع سیارات فراخورشیدی بسیار جالب است:

• سیارات فراخورشیدی را می توان اطراف تقریباً همه انواع ستارگان مشاهده کرد. تاکنون سیارات فراخورشیدی اطراف ستارگانی مانند خورشید، کوتوله های قرمز سرد، ستارگان پرجرم داغ و آبی، و حتی اطراف غول های قرمز که در مراحل آخر زندگی شان قرار دارند، یافت شده اند.

• یک سیاره فراخورشیدی که در سال ۲۰۱۵ پیدا شد بسیار قدیمی است. ستاره این سیاره بیش از یازده میلیارد سال عمر دارد!

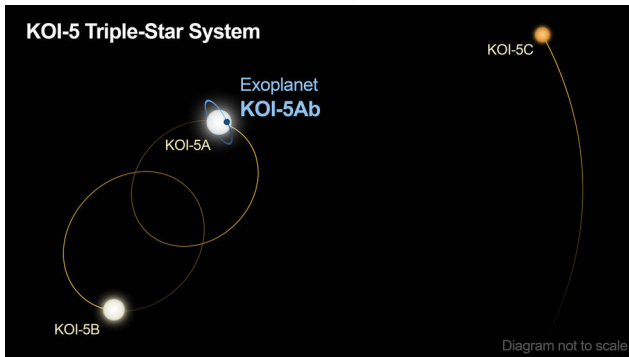


سیستم های دو ستاره ای و چند ستاره ای

- تنوع سیارات فراخورشیدی بسیار جالب است:

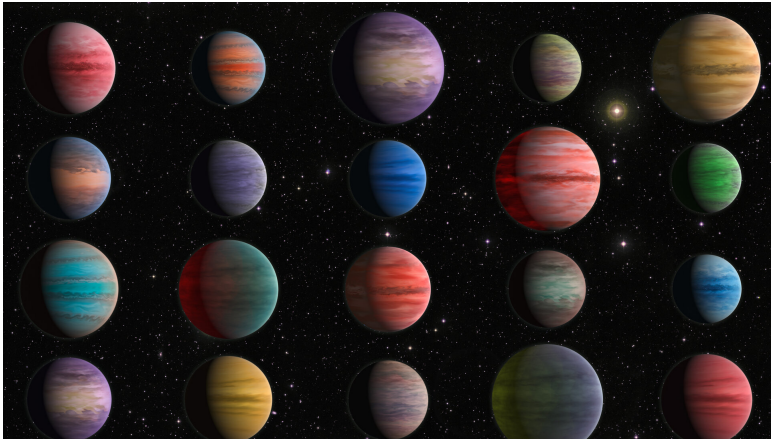
- برخی سیارات به دور ستارگان دوتایی می چرخند. این پدیده از لحاظ نجومی، فیزیکی و ریاضیاتی بسیار جذاب است. "مساله سه جسمی" یکی از قدیمی ترین مسائل حل نشده علم است. چنین سیستم هایی می توانند به شدت ناپایدار باشند.

- حتی سیاره $KOI - 5Ab$ در یک سیستم سه ستاره ای کشف شده است.



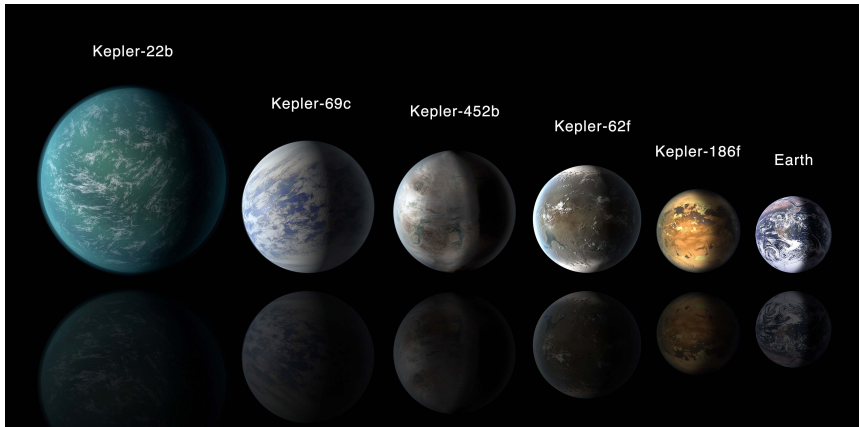
تخمین تعداد سیارات فراخورشیدی

- تاکنون تعداد زیادی سیاره فراخورشیدی کشف شده اند. بنابراین می توانیم تخمینی از تعداد احتمالی آنها داشته باشیم.
- مثلاً تخمین زده می شود که فقط در کهکشان راه شیری صدها میلیارد سیاره وجود دارد. در واقع ممکن است تعداد سیارات از تعداد ستارگان بیشتر باشد.



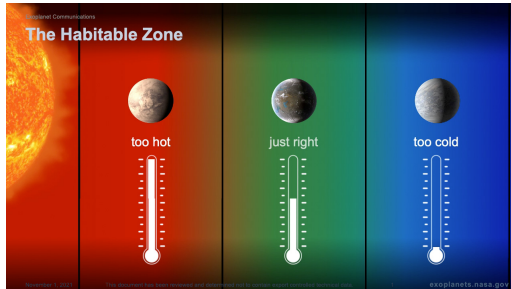
سیاراتی به اندازه زمین

- اگر برخی سیارات بسیار بزرگتر از مشتری و برخی سیارات کوچکتر از تیر باشند، طبیعتاً برخی از آنها نیز باید تقریباً به اندازه زمین باشند. آیا چنین سیاراتی تاکنون کشف شده اند؟
- پاسخ: بله، تاکنون صدها سیاره با اندازه تقریبی زمین پیدا شده اند. در واقع به نظر می رسد که ساختن سیاراتی به اندازه زمین برای ستارگان نسبتاً آسان است.



سیاراتی شبیه به زمین

- چه تعداد از این سیارات ممکن است زیست پذیر (شبیه به زمین) باشند؟ پاسخ: برای زیست پذیری، سیاره مورد نظر باید آب مایع داشته باشد. در نتیجه، آن سیاره باید در فاصله مشخصی از ستاره اش قرار گرفته باشد. این فاصله را کمر بند حیات می گویند.
- تخمین های نسبتاً خوشبینانه می گویند که کهکشان راه شیری می تواند شامل ده میلیارد سیاره شبیه به زمین باشد! البته ما هنوز نمی دانیم که این سیارات چه نوع جو و یا ترکیباتی دارند. همچنین نمی دانیم که آیا آنها میدان مغناطیسی (برای حفاظت از طوفان های خورشیدی) دارند و یا نه. بعداً این موضوع را به صورت مفصل بررسی خواهیم کرد.



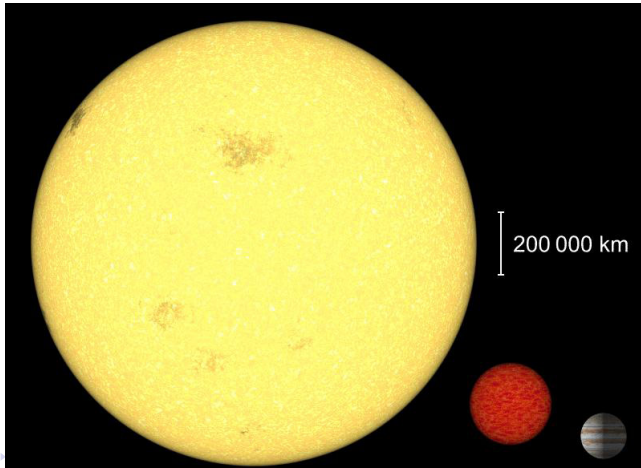
سوالات بسیار مهم

- پس از گذشت هزاران سال، انسان توانسته است در طی بیست سال گذشته پاسخ چند پرسش اساسی را بیابد:
- آیا سیارات خارج منظومه شمسی وجود دارند؟ پاسخ: قطعاً بله!
- آیا سیاره ای شبیه به زمین وجود دارند؟ پاسخ: به احتمال زیاد بله؛ ولی هنوز آنها را نیافته ایم.
- هنوز در ابتدای این راه هستیم.



مبحث بعدی: کوتوله های قهوه ای

- کوتوله قهوه ای جرمی است کوچکتر از ستاره و بزرگتر از سیاره که به علت کم بودن جرمش واکنش های هسته ای در آن انجام نشده و در نتیجه از خود نور ندارد. هرچند، این گونه اجرام منتشرکننده نیرومند پرتو فروسرخ هستند. در جلسه بعد با کوتوله های قهوه ای 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، جلد‌های ۱ و ۲، ترجمه اشرفی و صالحی، ویراسته خواجه‌وی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۹۰

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