۱۴ گام
به سوی کیهان

روش های آموزشی ویژه معلمان
و دانش آموختگان رشته های علوم

شبکه آموزش ستاره شناسی مدارس
اتحادیه ستاره شناسی بین المللی

ویرایش: رزا ماریا رز
بئاتریز گارسیا

۱۴ گام به سوی کیهان

روش‌های آموزشی
ویژه معلمان
و دانش آموختگان رشته‌های علوم

شبکه آموزش ستاره شناسی مدارس
اتحادیه ستاره شناسی بین المللی
اتحادیه ستاره شناسی معلمان ایران

ویرایش: رزا ماریا رز و بئاتریس گارسیا

www.naseprogram.org

سال انتشار: ۲۰۲۰- ۱۳۹۹
ویرایش سوم: دسامبر ۲۰۲۰

NASE: 2020-12-25

نویسندگان: فرانسس برتومئو، الکساندر داکاستا، هانس دیگ، سوسانا دیوستوا، جولیتا فیرو، بئاتریز گارسیا، ماری کای همنوی، ریکاردو مورنو، جی م. پاساخوف، جان پرسی، رزا م. رز، مارتا استاوینسکی و خوان آنتونیو بلمونت

مترجمین: سیده فاطمه هاشمی نسب، حسین خضری، مهدی رکنی، سیده فاطمه جعفری، مریم هادی زاده، پرهام عیسوندی دهنوئی، مریم پاپری، فاطمه حمیدانی، مریم هاشمی، الهام رجائی، نجمه پیروی، یاسمن دشتی، فاطمه باغبانی، سیده رضیه حسینی نژاد، عبدالمجید شاکری، طاهره صادقی زاده، محمد تصدیقی

ویرایش اولیه ترجمه‌ها: سیده فاطمه هاشمی نسب، الهام رجایی، حسین خضری، مریم پاپری، مریم هادی زاده، مریم هاشمی، فاطمه حمیدانی، مهین شهریاری، فاطمه جمالی

ویرایش نهایی ترجمه‌ها: مهدی رکنی، حسن باغبانی، سیده فاطمه هاشمی نسب

ویراستاران: رزا ام. رز و بئاتریس گارسیا

طراح گرافیکی: ماریا ویدال

طراحی کتاب نسخه فارسی: احمد موبدی

چاپ: آلبدو فولدوم اس. ال. بارسلونا، اسپانیا. ۲۰۲۰
ISBN: ۹۷۸-۸۴-۱۵۷۷۱-۸۲-۱

فهرست

مقدمه ۱۳
تکامل ستارگان ۱۵
ویژگی‌های خورشید و ستارگان ۱۵
خورشید ۱۵
ستارگان ۱۵
ساختار خورشید و ستاره ها ۱۷
منبع انرژی خورشید و ستاره ها ۱۸
زندگی خورشید و ستاره ها: ۱۹
زندگی و مرگ خورشید و ستاره ها ۲۰
ستاره‌های متداول اما کم جرم ۲۱
ستاره های سنگین اما کمیاب ۲۱
ستاره های فوق سنگین و بسیار کمیاب ۲۲
دوتایی انفجاری ۲۲
تولد خورشید و ستاره ها ۲۳
کیهان شناسی ۲۵
کهکشان ها ۲۵
کیهان شناسی ۲۶
ابعاد جهان ۲۷
سن جهان ۲۷
اندازه گیری سرعت ۲۷
امواج صوتی ۲۷
کتابشناسی ۲۹
تاریخچه ستاره شناسی ۳۱
پیش از تاریخ ۳۱

آفریقا..... ۳۲
ستاره‌شناسی اسلامی ۳۲
قاره ی آمریکا ۳۲
آمریکای شمالی ۳۲
ستاره شناسی مایان ۳۲
ستاره‌شناسی آزتک..... ۳۳
نجوم اینکا ۳۳
هند ۳٤
چینی ۳٤
اروپای غربی ۳۵
نبوغ ریاضی: نیکلاس کوپرنیک هلندی ۳۵
نبوغ رصدی: تیکو براهه دانمارکی ۳٦
استفاده از ریاضیات: یوهانس کپلر آلمانی..... ۳٦
جستجوهای تلسکوپی: گالیله از ایتالیا..... ۳۷
فیزیک جدید: ایزاک نیوتن ۳۹
مطالعات نجومی ادامه دارد..... ۳۹
منظومه شمسی و سیارات فرا خورشیدی..... ٤۱
منظومه شمسی ٤۱
پیدایش و سیرتکامل منظومه ی شمسی..... ٤۲
چرخه‌ی زندگی خورشید..... ٤۳
سیارات ٤۳
تیر ٤٤
حرکت تقدیمی حضیض تیر..... ٤۵
ناهید ٤۵
گذر ناهید ٤٦
زمین ٤٦
بهرام ٤٦
مشتری ٤۸
زحل ٤۹
اورانوس..... ۵۰
نپتون..... ۵۱
سیارات کوتوله ۵۱
پلوتو- چارن و آیریس ۵۱
سایر اجرام منظومه شمسی ۵۱
محیط میان ستاره‌ای ۵۱
دنباله دارها..... ۵۲
دنیاهای خارجی ۵۲
افق محلی و ساعت آفتابی..... ۵۳
زمین می‌چرخد و می‌گردد ۵۳

زمین موازی ٥٤
رصد ٥٦
مدل افق محلی ٥٧
ساعت آفتابی ٦٠
زمان خورشیدی و زمان در ساعت مچی ٦٣
تنظیم طول جغرافیایی ٦٣
تنظیم ساعت تابستانه / زمستانه ٦٣
تنظیم معادله زمان ٦٣
جهت یابی ٦٤
نشانگر ماه، خورشید و ستارگان ٦٥
هدف ساخت نشانگر ٦٥
نشانگر ستاره‌ای: چرا برخی از ستاره‌ها ناپیدا هستند؟ ٦٥
هدف اصلی نشانگر ٦٥
ساخت نشانگر ٦٦
نشانگر برای نیم‌کره‌ی جنوبی ٦٨
نحوه استفاده از نشانگر ٦٨
خمیدگی (انحراف) مسیر ستارگان نسبت به افق ٦٩
نشانگر خورشیدی: چرا خورشید هر روز از یک مکان مشابه طلوع نمی‌کند؟ ٦٩
ساخت نشانگر ٧٠
دستور العمل ساخت ٧٠
نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی ٧٠
نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی جنوبی ٧٢
استفاده از نشانگر خورشیدی ٧٢
نشانگر خیلی بزرگ ٧٧
نشانگر ماه: چرا ماه در برخی مناطق لبخند می‌زند؟ ٧٧
ساخت نشانگر ٧٨
استفاده از نشانگر ماه ٧٨
سیستم زمین - ماه - خورشید: فازها و گرفت‌ها ٨١
موقعیت‌های نسبی ٨١
مدل‌های ماسک ٨١
مدل صورت‌های پوشیده شده ٨١
مدل زمین- ماه ٨٢
شبیه‌سازی فازهای ماه: ٨٢
شبیه‌سازی ماه گرفتگی ٨٢
شبیه‌سازی خورشید گرفتگی ٨٣
رصد ٨٣
مدل خورشید- ماه ٨٤
محاسبه قطر خورشید ٨٤
اندازه‌ها و فواصل در سیستم زمین - ماه - خورشید ٨٥

تکرار آزمایش آریستاخوس ۸۵
رابطه میان زمین- ماه و زمین- خورشید ۸۵
رابطه میان شعاع ماه و خورشید ۸۵
خلاصه نهایی ۸۶
محاسبه دانش آموزان ۸۶
تکرار آزمایش اراتوستن ۸۶
جزر و مد ۸۷
کیف یک منجم (ستاره شناس) تازه کار(آماتور) ۸۹
رصد ۸۹
محتویات(ابزارها) ۸۹
ارتفاع سنج ساده: ارتفاع سنج تفنگی ۹۰
چگونگی کار با ابزار: ۹۱
سمت یاب ۹۱
چگونگی کار با ابزار ۹۲
گردونه آسمان ۹۲
نیم کره‌ی شمالی ۹۲
نیم کره‌ی جنوبی ۹۲
چگونگی کار با ابزار: ۹۲
طیف سنج ۹۹
چگونه طیف سنج بسازیم: ۹۹
چگونگی کار با ابزار: ۹۹
نقشه‌ی ماه ۹۹
ساختن نقشه‌ی ماه ۹۹
چگونگی کار با ابزار: ۹۹
مرتب کردن کیف ۱۰۰
نتیجه گیری ۱۰۰
طیف خورشید و لکه‌های خورشیدی ۱۰۱
تابش خورشید ۱۰۱
قطبش نور ۱۰۲
فعالیت ۱: قطبش نور ۱۰۲
ساختار خورشید در یک نگاه ۱۰۳
فعالیت۲: مدل ساده از لایه‌های خورشید ۱۰۳
لکه‌های خورشیدی ۱۰۴
فعالیت ۳: تعیین دوره حرکت چرخشی خورشید ۱۰۴
تابشی که از خورشید می‌آید ۱۰۶
فعالیت ٤: تعیین درخشندگی خورشید ۱۰۶
کدری (در فارسی در این موقعیت هسته خورشید را مات می‌گویند) ۱۰۷
فعالیت ٥: شفافیت و کدری ۱۰۷
طیف ۱۰۷

پرتوی جسم سیاه ۱۰۸
پراکندگی نور خورشید ۱۰۹
فعالیت ٦: انقراض و پراکندگی ۱۱۰
زندگی ستاره‌ای ۱۱۱
فعالیت ۱: مفهوم اختلاف منظر ۱۱۱
محاسبه فاصله ستارگان با اختلاف منظر ۱۱۱
فعالیت ۲: قانون مربع معکوس ۱۱۲
سیستم قدر ۱۱۳
رنگ ستاره‌ها ۱۱٤
فعالیت ۳: رنگ ستاره‌ها ۱۱٤
چطور درمیابیم که ستارگان تکامل دارند؟ ۱۱۵
فعالیت ٤: سن خوشه‌های باز ۱۱۵
مرگ ستاره ای ۱۱۸
ابرنواختر چیست؟ ۱۱۸
فعالیت ۵: شبیه سازی یک انفجار ابرنواختر ۱۱۸
ستاره نوترونی چیست؟ ۱۱۹
فعالیت ٦: شبیه سازی ستاره پالسار ۱۲۰
سیاه چاله چیست؟ ۱۲۰
فعالیت ۷: شبیه سازی انحنای فضا و سیاه‌چاله ۱۲۱
ستاره شناسی فراتر از دید مرئی ۱۲۳
طیف الکترومغناطیس ۱۲۳
فعالیت ۲: ساخت طیف سنج ۱۲۳
فروسرخ ۱۲٦
فعالیت ۳: آزمایش هرشل در محدوده‌ی فروسرخ ۱۲٦
فعالیت ۴: شناسایی تابش فروسرخ با تکنولوژی مدرن ۱۲۷
فعالیت ۵: شناسایی نور فروسرخ یک لامپ ۱۲۸
فعالیت ۶: ساخت صورت فلکی با تابش فروسرخ ۱۲۸
فعالیت ۷: ساخت صورت فلکی با کنترل تلویزیون ۱۲۹
انرژی الکترومغناطیس در محدوده‌ی رادیویی ۱۲۹
فعالیت ۸: تولید امواج رادیویی ۱۲۹
فعالیت ۹: شنیدن صدای سیاره هرمز (مشتری) ۱۳۰
نور فرابنفش ۱۳۱
فعالیت ۱۰: نور سیاه (فرابنفش) ۱۳۱
اشعه‌ی X- ۱۳۱
امواج گاما ۱۳۲
انبساط جهان ۱۳۳
مبدا جهان هستی ۱۳۳
سرخ‌گرایی ۱۳۳
فعالیت۱: اثر داپلر ۱۳٤

فعالیت ۲: کش‌آمدن فوتون‌ها ۱۳٤
قانون هابل ۱۳٤
فعالیت ۳ : جهان بروی یک کش ۱۳۵
فعالیت٤: جهان بروی بادکنک ۱۳٦
فعالیت۵: محاسبه‌ی ثابت هابل ۱۳٦
انفجار بزرگ ۱۳۸
فعالیت٦:هیچ مرکزی برای انبساط وجود ندارد. ۱٤۰
سیرتکاملی عالم ۱٤۰
تابش زمینه‌ی کیهان ۱٤۲
فعالیت ۷: شناسایی تابش زمینه‌ی کیهان ۱٤۳
چرا شب تاریک است؟ ۱٤۳
عدسی گرانشی ۱٤٤
فعالیت ۸: شبیه سازی عدسی گرانشی با لیوان پایه دار ۱٤۵
سیارات و فراخورشیدی‌ها ۱٤۷
منظومه‌شمسی ۱٤۷
مدل‌های منظومه‌شمسی ۱٤۷
مدل قطر ۱٤۷
مدل فاصله ۱٤۷
مدل قطر و فاصله ۱٤۸
مدلی برروی نقشه شهر ۱٤۸
مدل فاصله‌ی نور ۱٤۹
مدل چگالی ۱۵۰
مدل صاف کردن سیارات ۱۵۱
مدلی برای دوره‌ی سیارات ۱۵۱
مدل گرانش سطحی ۱۵۲
مدل ترازوی عقربه ای ۱۵۲
مدل دهانه‌ها ۱۵۳
مدل سرعت فرار ۱۵۳
محاسبه‌ی سرعت فرار با استفاده از فرمول‌های انرژی جنبشی و پتاسنیل: ۱۵٤
مدل موشک با قرص جوشان ۱۵٤
فراخورشیدی ۱۵۷
معرفی فرا خورشیدی‌ها ۱۵۷
شناسایی سیستم‌های فراخورشیدی ۱۵۸
مقدمه سیارات فراخورشیدی ۱۵۸
روش گذر (ترانزیت) ۱۵۹
فعالیت ۵: اثر داپلر ۱۵۹
فعالیت ٦: شبیه سازی گذر ۱۵۹
روش عدسی میکرو گرانشی ۱٦۰
شبیه سازی ریزعدسی ۱٦۰

روش شناسایی مستقیم ۱۶۰
مثال‌هایی از سیستم‌های فراخورشیدی ۱۶۰
فعالیت ۸: مدلی برای سیستم‌های فراخورشیدی ۱۶۲
اخترزیست‌شناسی ۱۶۷
پیدایش منظومه سیاره‌ای ۱۶۷
فعالیت ۱: پیدایش منظومه سیاره‌ای از گاز و غبار ۱۶۷
بررسی شمیایی تکامل ستاره‌ای ۱۶۹
فعالیت ۲: دسته‌بندی عناصر جدول تناوبی ۱۶۹
فعالیت ۳: فرزندان ستارگان ۱۷۰
خورشید یک ستاره ی نسل اول نیست ۱۷۰
ناحیه حیات ۱۷۱
اخترزیست شناسی مقدماتی: فرایند شکل گیری اتمسفر زمین ۱۷۲
فرایند پیدایش مواد آلی. چرا گیاهان سبز هستند؟ ۱۷۲
فعالیت ۴: تولید اکسیژن از کربن دی اکسید به کمک فتوسنتز یا عملکرد کلروفیل ۱۷۳
فعالیت ۵: بررسی امکان حیات در شرایط سخت ۱۷۴
فرآیند در آزمایش کنترل ۱۷۴
فرآیند در سیاره‌ای یخی ۱۷۵
فعالیت ۶: پیدا کردن زمین دوم ۱۷۶
جرم و شعاع ۱۷۷
ناحیه حیات ۱۷۷
جرم ستاره مادر ۱۷۷
مقدمات یک شب رصدی ۱۷۹
انتخاب مکان و زمان ۱۷۹
وسایل مورد نیاز ۱۷۹
چراغ قوه قرمز ۱۸۰
چشم غیر مسلح ۱۸۰
نیم‌کره‌ی شمالی ۱۸۰
نیم‌کره جنوبی ۱۸۰
رصد با دوربین دوچشمی ۱۸۱
رصد با تلسکوپ ۱۸۲
حرکت‌های آسمان ۱۸۳
فعالیت ۱: گنبد آسمان چتری ۱۸۳
نحوه استفاده از این چتر ۱۸۵
نیم‌کره‌ی شمالی ۱۸۵
افق شمالی ۱۸۶
نتیجه کلی از هر دو نیم‌کره ۱۸۶
آسمان تاریک و آلودگی نوری ۱۸۶
سه نوع آلودگی نوری وجود دارد: ۱۸۷
فعالیت ۲: آلودگی نوری ۱۸۷

پیوست: راهنمای استفاده از نرم‌افزار استلاریم، نسخه ۰.۱۰.۶.۱ ..... ۱۸۹
علم نجوم باستانی و پتانسیل آموزشی آن ۱۹۱
مقدمه ۱۹۱
علم نجوم باستانی چیست؟ ۱۹۱
علم نجوم باستانی در کجا قرار دارد؟ ۱۹۱
نجوم باستانی و NASE ۱۹۲
کلیساها در یک جامعه مسیحی. ۱۹۲
پیوست ۱ (برگرفته از "کتاب بهشت جادوها") ۱۹۳
شیوه مصاحبه میدانی در قوم شناسی نجومی ۱۹۳
پیوست دو (برگرفته شده از "جهت گیری به عنوان نشانه ای از هویت فرهنگی: کلیساهای تاریخی لانزاروته") ۱۹٤

مقدمه

به منظور آموزش ستاره‌شناسی در مدارس ابتدا باید معلمان آموزش ببینند. هدف اصلی NASE آموزش حرفه‌ای معلمان علاقمند به ستاره‌شناسی در کشورهای گوناگون با سطوح مختلف است که در برگیرنده مسائلی مرتبط با این زمینه در طراحی‌های درسی مختلف می‌باشد. همچنین موجب آشنایی افراد جوان با علوم به وسیله شناخت کیهان می‌شود. این دوره‌ها ۱۴ سرفصل دارد (کنفرانس‌ها و کارگاه‌ها) که موجب تربیت یک آموزگار ستاره‌شناسی می‌شود. این ۱۴ گام ضروری که در این کتاب بیان شده و به شناخت کیهان منجر می‌شود فعالیت‌های ستاره‌شناسان و منجمان حرفه‌ای را نشان می‌دهد که این دوره‌ها را طی سالیان طولانی برگزار کرده‌اند؛ این مطالب در وب‌سایت NASE نیز در دسترس می‌باشد.

شایان به ذکر است که تمامی فعالیت‌های نام‌برده در کتاب باعث تقویت پویایی و فعالیت‌های رصدی و درک دانش آموزان از مفاهیم علمی به کمک مدل‌سازی‌های گوناگون می‌شود. تمامی مدارس حیاط دارند؛ از حیاط مدرسه به عنوان "آزمایشگاه ستاره‌شناسی" با هدف برگزاری برنامه‌های رصدی استفاده کنید و مسولیت‌های مهمی در فرآیند یادگیری به دانش‌آموزان بسپارید.

قدردان همراهی و زحمات تمام نویسندگان این کتاب، مترجمان و طراحان دو نسخه کتاب به زبان‌های انگلیسی و فارسی آن که به شرح زیر است می‌باشیم:

مترجمین: سیده فاطمه هاشمی نسب، حسین خضری، مهدی رکنی، سیده فاطمه جعفری، مریم هادی زاده، پرهام عیسوندی دهنوئی، مریم پاپری، فاطمه حمیدانی، مریم هاشمی، الهام رجائی، نجمه پیروی، یاسمن دشتی، فاطمه باغبانی، سیده رضیه حسینی نژاد، عبدالمجید شاکری، طاهره صادقی زاده، محمد تصدیقی

ویرایش اولیه ترجم‌ها: سیده فاطمه هاشمی نسب، الهام رجایی، حسین خضری، مریم پاپری، مریم هادی زاده، مریم هاشمی، فاطمه حمیدانی، مهین شهریاری، فاطمه جمالی

ویرایش نهایی ترجمه‌ها: مهدی رکنی، حسن باغبانی

ویراستاران: رزا ام. رز و بئاتریس گارسیا

طراح گرافیکی: ماریا ویدال

طراحی کتاب نسخه فارسی: احمد موبدی.

به منظور آشنایی بیشتر با دوره‌های برگزار شده، فعالیت‌های انجام شده و دوره‌های جدید که نتیجه گروه‌های محلی تشکیل شده به واسطه دوره‌های پیشین است، می‌توان به سایت NASE مراجعه کرد. ممکن است فعالیت‌های یک دوره منجر به آموزش کامل معلمان نشود اما گروه‌های محلی پس از اتمام دوره اصلی با برگزاری کارهای گروهی و فعالیت‌های مختلف جدید که به طور کامل در وب‌سایت قرار دارند ارتباط خود را با معلمان حفظ می‌کنند. همچنین با جست و جو در اینترنت می‌توان فعالیت‌ها و محتوای مختلفی یافت که به معلمانی که دوره‌های ناسه را گذرانده‌اند امکان توسعه گستره فعالیت‌ها و دانش‌شان را می‌دهد. این بخش را با نقل قولی از کنفوسیوس (سال ۵۵۱ تا ۲۷۹ قبل از میلاد

مسیح) که بسیار متناسب با این پروژه و اهداف آن است به پایان می‌بریم:

"شنیدم و فراموش کردم
دیدم و به یاد آوردم
انجام دادم و فهمیدم."

هدف اصلی NASE ارائه ستاره‌شناسی به افراد مختلف است؛ همچنین به همه افراد اجازه می‌دهد از یادگیری مفاهیم جدید لذت ببرند.

تکامل ستارگان

جان پرسی، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه تورنتو (کانادا)

خلاصه

این بخش شامل اطلاعات مفیدی در مورد ستاره‌ها و تکامل آنان برای معلمان فیزیک دوره متوسطه است؛ همچنین شامل مطالبی است متناسب با برنامه علوم مدارس که چندین آزمایش جذاب برای دانش آموزان را در بر می‌گیرد.

اهداف

- شناخت تکامل ستارگان و فرآیندهای تعیین آن
- شناخت نمودار هرتسپرونگ-راسل
- شناخت قدر ظاهری و قدر مطلق ستارگان

مقدمه

تکامل ستارگان، به مجموعه تغییراتی گفته می‌شود که یک ستاره در طول دوران حیات خود از تولد تا مرگ پشت سر می‌گذارد. جاذبه، ستارگان را مجبور به تابش انرژی می‌کند. برای برقراری توازن انرژی از دست رفته، ستارگان به وسیله همجوشی هسته‌ای عناصر سبک تر به عناصر سنگین تر انرژی تولید می‌کنند. این اتفاق به آرامی موجب تغییر ترکیبات شیمیایی و سایر خصوصیات آن‌ها می‌شود. با تمام شدن منبع سوخت هسته، ستاره به پایان زندگی خود می‌رسد. شناخت ماهیت و تکامل ستارگان به ما کمک می‌کند تا ماهیت و تکامل خورشید خودمان - ستاره‌ای که حیات را در زمین ممکن کرده است - را بهتر بشناسیم (و قدردان آن باشیم!). از سویی به ما کمک می‌کند که به منشأ منظومه شمسی، اتم‌ها و ملکول‌های روی زمین، به ویژه مولکول‌های حیات پی ببریم؛ همینطور به ما کمک می‌کند تا پاسخ پرسش‌های اساسی همچون " آیا سایر ستارگان به قدر کافی انرژی تولید می‌کنند؟ طول عمر آن‌ها چقدر است؟ آیا به اندازه کافی پایدار می‌مانند تا زندگی در سیارات اطراف آن‌ها ایجاد شود؟" به این دلیل و هزاران دلیل دیگر تکامل ستاره‌ای از جمله موضوعات جذاب برای دانش‌آموزان است.

ویژگی‌های خورشید و ستارگان

اولین قدم برای درک منشأ و تکامل خورشید و ستارگان، درک خصوصیات آنهاست. دانش‌آموزان باید با چگونگی تعیین این خصوصیات آشنا شوند. خورشید نزدیک‌ترین ستاره به ما است. خورشید در سایر بخش های این کتاب مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش، خورشید را از منظر تکاملی مورد بررسی قرار می‌دهیم. دانش‌آموزان می‌بایست با خصوصیات، ساختار و منبع انرژی خورشید آشنا شوند، زیرا همین اصول منجمان را قادر می‌سازد تا سازوکار تکامل ستارگان را درک کنند.

خورشید

در مقایسه با سایر ستارگان که از ما بسیار دور هستند، ویژگی‌های اصلی خورشید را به آسانی می‌توان رصد کرد. خورشید تنها ستاره منظومه شمسی، به‌صورت عمده از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده و فاصله متوسط آن از زمین $۱,۴۹۵۹۷۸۷۱۵ \times ۱۰^{۱۱}$ متر است؛ بنابراین ما این فاصله را یک واحد نجومی می‌نامیم. شعاع زاویه‌ای مشاهده شده آن (۹۵۹/۶ قوس در ثانیه) است که به کمک محاسبات هندسی، می‌توان آن را به شعاع خطی تبدیل کرد، که برابر با: $۶,۹۶۲۶۵ \times ۱۰^{۸}$ متر یا ۶۹۶,۲۶۵ کیلومتر خواهد بود. شار مشاهده شده آن $۱۳۷۰ W/m^{۲}$ که در فاصله زمین، کل توان آن برابر با $۳,۸۵ \times ۱۰^{۲۶} W$ وات است. با استفاده از قوانین حرکت و گرانش نیوتن میزان جرم آن $۱,۹۸۹۱ \times ۱۰^{۳۰}$ کیلوگرم محاسبه شده است. دمای سطحی آن برابر با ۵۷۸۰ کلوین است و دوره چرخش آن حدود ۲۵ روز است؛ البته این دورة حرکت چرخشی کمی در عرض‌های مختلف خورشید با یکدیگر متفاوت است. در فعالیت ۲، دانش‌آموزان با خورشید بیشتر آشنا می‌شوند.

ستارگان

بارزترین ویژگی قابل مشاهده یک ستاره، درخشندگی ظاهری (قدر ظاهری) آن است. این ویژگی براساس لگاریتم شار انرژی دریافتی بر روی زمین و تحت عنوان (قدر) اندازه گیری می‌شود.

مقیاس قدر توسط اخترشناس یونانی به نام ابرخس (هیپارخوس، حدود ۱۶۰-۱۲۰ قبل از میلاد) ایجاد شد. او ستارگان را به قدرهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ طبقه بندی کرد. در این سیستم، ستارگان کم فروغ تر، دارای قدر مثبت تر و بیشتر هستند. بعدها رابطه ی لگاریتمی قدر کشف شد. این رابطه نشان داد که هر یک تغییر در قدر از نسبت ثابت ۲,۵۱۲ پیروی می‌کند. یعنی ستاره ای با قدر ۱ نسبت به ستاره ای با قدر ۲، به میزان ۲,۵۱۲ روشن تر است. بعدها این سیستم تکامل پیدا کرد و اعداد منفی نیز به آن وارد شد. پرنورترین ستاره آسمان، ستاره شباهنگ با قدر ۱,۴۴- و کم نورترین ستاره ای که با یک تلسکوپ بزرگ قابل مشاهده است، قدری حدود ۳۰ دارد.

میزان روشنایی ظاهری، B ، یک ستاره به توان آن، P، و فاصله ی آن، D، بستگی دارد. طبق قانون مربع معکوس، میزان روشنایی به طور مستقیم متناسب با توان و به صورت

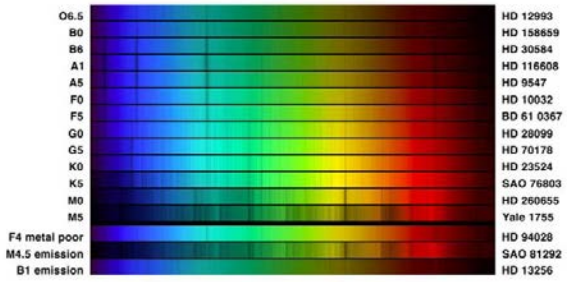
معکوس با مربع فاصله نسبت دارد: $B \cong P / D^2$. برای ستارگان نزدیک، فاصله را می‌توان به کمک روش اختلاف منظر اندازه گرفت. در فعالیت ۱، دانش آموزان می‌توانند نشان دهند که اختلاف منظر متناسب با فاصله جسم مشاهده شده است. توان ستارگان را نیز می‌توان از روشنایی اندازه‌گیری شده و قانون مربع معکوس محاسبه کرد.

ستارگان مختلف، دارای رنگ های گوناگونی هستند. ستاره‌های صورت فلکی شکارچی، یک مثال خوب برای این تفاوت رنگ هستند. در شکل ۱ این تفاوت را بین ستاره های ابط الجوزا و رجل‌الجوزا به‌راحتی می‌توان دید. در فعالیت ۳، دانش‌آموزان با رفتن زیر آسمان شب و مشاهدهٔ انبوه ستارگان، شگفتی و زیبایی آسمان واقعی را تجربه می‌کنند. رنگ ستارگان ناشی از دمای آن‌ها است. ستارگان سرد به رنگ قرمز و ستارگان داغ به رنگ آبی دیده می‌شوند. (برخلاف رنگ‌های روی شیرهای آب گرم و سرد حمام!)

رنگ را می‌توان به کمک یک نورسنج با فیلترهای رنگی اندازه گیری کرد؛ در نتیجه دمای ستاره را با توجه به رنگ می‌توان تعیین کرد.

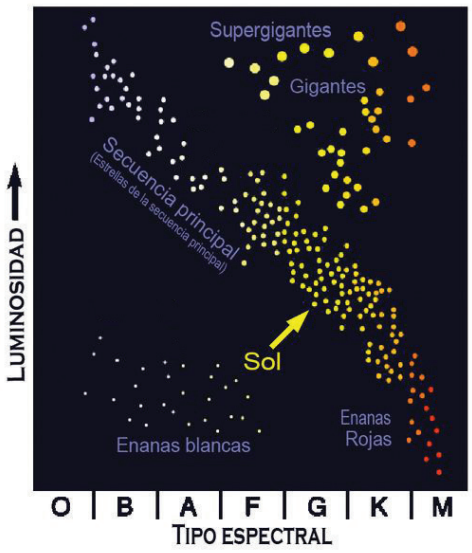
شکل ۱: صورت فلکی شکارچی. ابط‌الجوزا، ستاره سمت چپ و بالا، ستاره ای سرد و با رنگ قرمز و ستاره ی رجل‌الجبار، در سمت راست و پایین، ستاره‌ای گرم و به رنگ آبی است. سحابی شکارچی در وسط صورت فلکی در زیر سه ستارهٔ کمربند قرار دارد.

دمای ستاره را می‌توان از طریق طیف آن تعیین کرد (شکل ۲). این تصویر زیبا طیف های نور ستارگان را نشان می‌دهد. نور ستاره از جو بیرونی آن عبور کرده است و در این مسیر یون‌ها، اتم‌ها و مولکول‌های موجود در جو، برخی طول موج‌های خاص آن را حذف کرده و موجب ایجاد خطوط تیره در طیف می‌شود (شکل ۲). دمای اتمسفر ممکن است موجب یونیزه و برانگیخته شدن اتم ها یا ترکیب آن ها با مولکول ها شود، بنابراین با بررسی وضعیت اتم ها در طیف هر ستاره، می‌توان به دمای آن پی برد.



شکل ۲: مجموعه‌ای از طیف ستاره‌ها، از داغ ترین (O۶٫۵: بالا) تا سردترین (M۵: چهارم از پایین). سه طیف پایین، به نوعی غیرعادی هستند. منبع: رصدخانه نجوم ملی نوری

یک قرن پیش، اخترشناسان رابطه مهمی را بین توان یک ستاره و دمای آن کشف کردند: برای بیشتر ستارگان – اما نه همه ی آن ها – هرچه توان ستاره بیشتر، درجه حرارت نیز بیشتر است. بعدها عامل کنترل کنندهٔ این امر را (جرم) تشخیص دادند: هرچه ستاره پرجرم‌تر، توان آن بیشتر و در نتیجه داغ تر است. با توجه به توان-دما نموداری طراحی شد، که با نام نمودار هرتسپرونگ-راسل شناخته می‌شود (شکل ۳). یادگیری ساختار این نمودار (فعالیت ۸) و تفسیر آن‌ها برای دانش‌آموزان بسیار مهم است (شکل ۳).



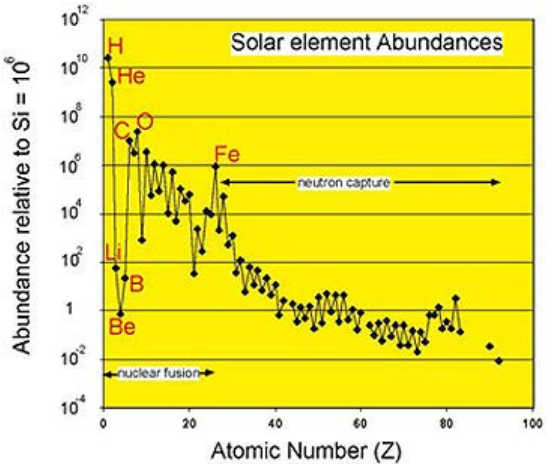
شکل ۳: نمودار هرتسپرونگ-راسل، نموداری از توان یا درخشندگی در مقابل دمای ستاره است. به دلایل تاریخی، درجه حرارت با حرکت به سمت چپ نمودار افزایش می‌یابد. حروف OBAFGKM ردهٔ طیفی را توصیف می‌کنند که براساس دما است. ستارگان بزرگ (غول‌ها و ابرغول‌ها) در سمت راست و بالا و ستاره‌های کوچک‌تر (کوتوله‌ها) در سمت چپ و پایین نمودار قرار دارند. توجه داشته باشید که رشته اصلی از پایین سمت راست به بالا سمت چپ کشیده می‌شود. بیشتر ستارگان در اینجا یافت می‌شوند. مکان برخی از ستارگان مشهور نیز در این نمودار نشان داده شده است.

منبع: دانشگاه کالیفرنیا برکلی.

از اهداف اصلی نجوم تعیین توان انواع ستارگان است. با تعیین این ویژگی، اگر دانشمندان ستاره‌ای را در گوشه‌ای دیگر از عالم رصد کردند، می‌توانند با تشخیص نوع آن با توان فرض شده P و اندازه‌گیری روشنایی آن B، از قانون مربع معکوس برای تعیین فاصله D استفاده کنند.

$$B \cong P / D^2$$

طیف ستاره‌ها (و سحابی‌ها) به ما اطلاعاتی در مورد اجزای تشکیل دهنده آن‌ها می‌دهد: براساس منحنی فراوانی عناصر در کیهان (شکل ۴). آنها از حدود ۳/۴ هیدروژن، ۱/۴ هلیوم و ۲ درصد عناصر سنگین شامل: اغلب کربن، نیتروژن و اکسیژن تشکیل شده اند.



شکل ۴: فراوانی عناصر موجود در خورشید و ستاره‌ها. هیدروژن و هلیوم فراوان‌ترین هستند. لیتیم، بریلیوم و بور فراوانی بسیار کمی دارند. کربن، نیتروژن و اکسیژن فراوان است. با افزایش عدد اتمی، فراوانی عناصر دیگر کاهش می‌یابد. هیدروژن 10^{12} برابر اورانیوم در عالم فراوانی دارد. عناصری با تعداد پروتون زوج، نسبت به عناصری با تعداد پروتون فرد، از فراوانی بیشتری برخوردارند. عناصر سبک‌تر از آهن طی فرایند همجوشی هسته‌ای در ستاره و عناصر سنگین‌تر از آهن بر اثر انفجارهای ابرنواختری تولید می‌شوند. منبع: ناسا.

حدود نیمی از ستاره‌های همسایه خورشید ستاره‌های دوتایی هستند - دو ستاره که حول مرکز جرم مشترک در حال گردش هستند. ستاره‌شناسان به کمک ستاره‌های دوتایی قادر به تعیین جرم ستاره‌ها خواهند بود. به همین علت این سیستم‌های دوگانه بسیار حائز اهمیت هستند. جرم یک ستاره را می‌توان با مشاهده حرکت ستاره دوم اندازه‌گیری کرد و برعکس. شباهنگ، شعرای شامی و عیوق نمونه‌هایی از ستاره‌های دوتایی هستند. علاوه بر سیستم‌های دوتایی، سیستم‌هایی چندتایی شامل سه یا چند ستاره نیز وجود دارد. آلفا قنطورس، نزدیک‌ترین ستاره به خورشید، یک ستاره سه گانه است. اپسیلون شلیاق یک ستاره چهارگانه است.

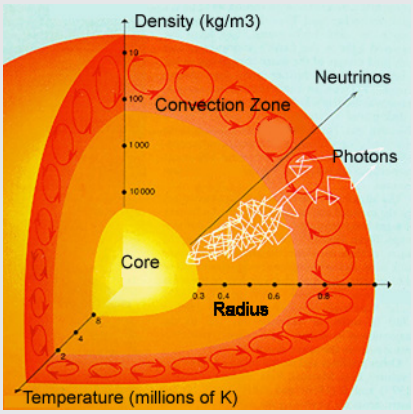
همانطور که پیش از این گفته شد، رابطه ی مهمی بین توان یک ستاره و جرم آن وجود دارد: توان یک ستاره به صورت تقریبی متناسب با مکعب جرم آن است. به این رابطه، رابطهٔ جرم و روشنایی گفته می‌شود.

جرم ستاره ها در حدود ۰٫۱ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از خورشید است. در نتیجه توان آن‌ها از حدود ۰٫۰۰۰۱ تا ۱٫۰۰۰٫۰۰۰ برابر خورشید است. داغ‌ترین ستارگان دارای دمایی حدود ۵۰٫۰۰۰ K و سردترین آن‌ها، حدود ۲۰۰۰ K هستند. همزمان با بررسی ستارگان، دانشمندان دریافتند که خورشید از ۹۵٪ کل ستارگان همسایه خود پرجرم‌تر است. ستارگان پرجرم و با توان بالا بسیار نادر هستند. در واقع خورشید یک ستاره متوسط به بالا است.

ساختار خورشید و ستاره ها

گرانش، نقش اصلی را در تعیین ساختار ستارگان و کهکشان ها برعهده دارد. کروی شکل بودن خورشید نیز ناشی از گرانش آن است. به علت وزن لایه های بالایی، فشار در اعماق خورشید، بسیار زیاد است. طبق قوانین گازی که در مورد گاز کامل اعمال می‌شود، هرچه فشار بیشتر، دما و چگالی نیز افزایش می‌یابد. همانطور که می‌دانیم، گرما همیشه به سمت محل سردتر جریان پیدا می‌کند، بنابراین با گرم شدن لایه‌های درونی، گرما از طریق تابش یا همرفت به سمت بیرون جریان می‌یابد. این سه اصل قانون درخشندگی - جرم را ایجاد می‌کنند.

با خارج شدن گرما از خورشید، لایه های عمقی خنک شده و نیروی جاذبه باعث انقباض خورشید می‌شود - مگر اینکه انرژی در مرکز خورشید تولید شود. مشاهدات نشان داده است که خورشید در حال انقباض نیست و براساس فرایند همجوشی در هسته در حال تولید انرژی است.



شکل ۵: برش مقطعی از خورشید براساس مدل های فیزیک. در منطقه همرفت بیرونی، انرژی تولید شده در هسته توسط همرفت و در زیر آن، انرژی توسط تابش منتقل می‌شود. منبع: انستیتوی فیزیک نظری ، دانشگاه اسلو.

با استفاده از معادلات فشار، چگالی، دما و جریان انرژی در فواصل مختلف از هسته و حل آن‌ها با رایانه، می‌توان مدلی برای خورشید یا هر ستاره دیگری بدست آورد. دانشمندان به کمک این مدل، می‌توانند جرم، ترکیب، شعاع، توان و سایر ویژگی های قابل مشاهده ستاره را پیش‌بینی کنند.

اخترشناسان اخیراً روشی بسیار کارآمد را برای آزمایش مدل های خود در مورد ساختار خورشید و ستارگان بدست آورده‌اند. این روش برای خورشید با نام لرزه‌شناسی خورشیدی و برای سایر ستارگان با نام اخترلرزه‌شناسی یا لرزه‌شناسی ستاره‌ای نامیده می‌شود. خورشید و ستارگان به آرامی هزاران الگوی لرزشی ایجاد می‌کنند. این موارد را می‌توان با ابزارهای حساس مشاهده و با نتایج پیش‌بینی شده از طریق مدل مقایسه کرد.

منبع انرژی خورشید و ستاره ها

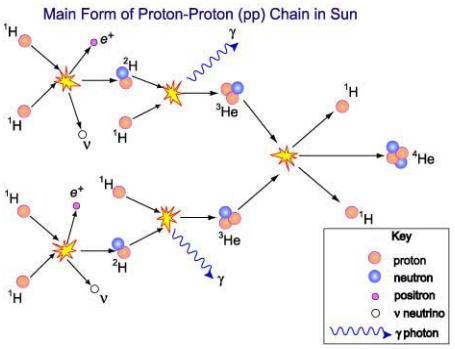
منبع انرژی خورشید برای بشر همیشه جای سؤال بود، دانشمندان قرن‌ها از این منبع انرژی اسرارآمیز پایان ناپذیر خورشید و ستارگان در شگفت بودند. از آنجا که سوخت‌های شیمیایی مانند: نفت یا گاز طبیعی معمول و در دسترس بود، گمان‌ها بر این بود که منبع انرژی خورشید از این نوع است. اما به‌دلیل توان بسیار زیاد خورشید (۴×۱۰^{۲۶} W)، این منبع تنها برای چند هزار سال دوام خواهد داشت. البته تا چند قرن پیش، مردم فکر می‌کردند قدمت زمین و جهان فقط چند هزار سال است.

بعد از ایزاک نیوتن، کاشف قانون گرانش عمومی، و با توجه به کارهای او، دانشمندان فهمیدند که خورشید و ستاره‌ها با انقباضی آرام می‌توانند انرژی تولید کنند اما این منبع انرژی نیز فقط برای چند ده میلیون سال دوام خواهد داشت. از سویی شواهد زمین‌شناسی نشان می‌داد که عمر زمین و درنتیجه خورشید بیش از این‌ها باشد. بنابراین دانشمندان با یک سؤال اساسی روبه‌رو بودند: منبع انرژی خورشید چیست؟

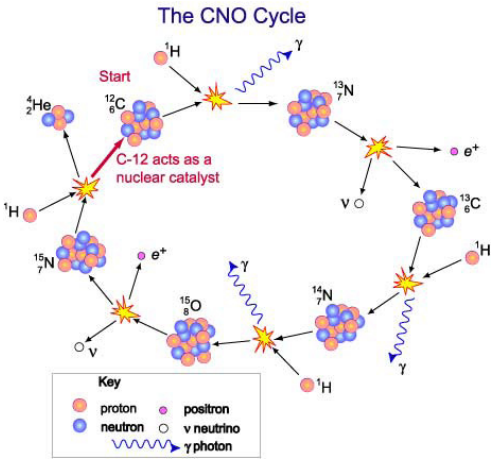
در اواخر قرن نوزدهم بود که دانشمندان مواد رادیواکتیو و شکافت هسته‌ای را کشف کردند. با این وجود، عناصر رادیواکتیو در خورشید و ستاره‌ها بسیار نادر هستند و نمی‌توانند انرژی میلیاردها سال تابش آن‌ها را فراهم کنند.

سرانجام، دانشمندان در قرن بیستم متوجه شدند که عناصر سبک‌تر می‌توانند در فرایندی به نام همجوشی به هم پیوسته و به عناصر سنگین‌تر تبدیل شوند. اگر دما و چگالی به اندازه کافی بالا باشد، طی این فرایند، انرژی بسیاری تولید می‌شود. هیدروژن بیشترین قابلیت را برای شرکت در همجوشی دارد و خوشبختانه، هیدورژن فراوان‌ترین عنصر موجود در خورشید و ستارگان است.

در ستاره‌های کم‌جرم مانند خورشید، همجوشی هسته‌ای در چرخه‌ای به نام پروتون – پروتون PP رخ می‌دهد. در ابتدا پروتون‌ها برای تشکیل دوتریوم با هم ترکیب می‌شوند. سپس یک پروتون دیگر با دوتریوم ترکیب می‌شود و هلیوم ۳ تشکیل می‌شود و در نهایت بین هسته‌های هلیوم –۳ برای تولید هلیوم –۴ ، ایزوتوپ طبیعی هلیوم، همجوشی هسته‌ای رخ می‌دهد (شکل ۶).

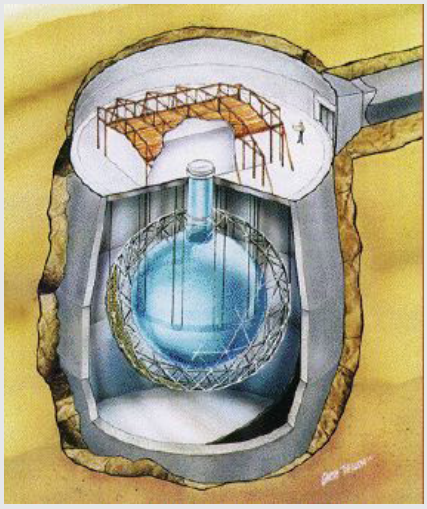


شکل ۶: چرخه پروتون – پروتون که در آن هیدروژن (در خورشید و سایر ستارگان کم جرم) به هلیوم تبدیل می‌شود. با توجه به این شکل و شکل بعدی، می‌توان دریافت که نوترینو در برخی از واکنش‌ها آزاد می‌شوند. انرژی نیز به صورت پرتوهای گاما و انرژی جنبشی هسته‌ها منتشر می‌شود. منبع: تسهیلات تلسکوپ ملی استرالیا.



شکل ۷: چرخه CNO که در ستارگان سنگین‌تر از خورشید رخ می‌دهد و در آن همجوشی بین هیدروژن و هلیوم اتفاق می‌افتد. کربن ۱۲ (با عنوان "شروع" در شکل) به عنوان یک کاتالیزور عمل می‌کند. منبع: تسهیلات تلسکوپ ملی استرالیا.

در ستارگان پرجرم، هیدروژن از طریق فرایندی با نام چرخه CNO با هلیوم ترکیب می‌شود، در این چرخه کربن ۱۲ به عنوان کاتالیزور ایفای نقش می‌کند (شکل ۷). در نتیجهٔ این چرخه، چهار هسته هیدروژن باهم ترکیب می‌شوند تا یک هسته هلیوم را تشکیل دهند. بخش کوچکی از جرم هسته‌های هیدروژن به انرژی تبدیل می‌شوند؛ فعالیت ۹ را ببینید. چون هسته اتم‌ها دارای بار مثبت هستند و یکدیگر را دفع می‌کنند، همجوشی فقط در صورت برخورد هسته‌ها در دمای بالا و غالبا چگالی زیاد اتفاق می‌افتد.



شکل ۸: رصدخانه نوترینو سادبر، که در آن دانشمندان به بررسی مدل‌های همجوشی هسته‌ای خورشید می‌پردازند. در قلب رصدخانه مخزن بزرگی از آب سنگین قرار دارد. هسته‌های دوتریوم (متن را ببینید) گاهی اوقات با نوترینو برخورد می‌کند تا یک نور به صورت فلش ایجاد کند. منبع: رصدخانه سادبری نوترینو

اگر همجوشی هسته‌ای عامل اصلی انرژی خورشید باشد، پس این واکنش می‌بایست تعداد زیادی ذرات زیراتمی به نام نوترینوها را تولید کند. این ذرات بدون برهمکنش خاصی با ماده، از آن عبور می‌کنند و در هر ثانیه میلیاردها نوترینو از بدن ما عبور می‌کند. "رصدخانه‌های نوترینو" می‌تواند تعدادی از این نوترینوها را تشخیص دهند. اولین رصدخانه‌های نوترینو، تنها یک سوم از تعداد پیش‌بینی‌شده نوترینوها را کشف کردند. بنابراین "مسئله نوترینوی خورشیدی" برای بیش از ۲۰ سال مطرح بود، تا این که سرانجام توسط رصدخانه سودربوری نوترینو (SNO) در کانادا حل شد (شکل ۸). در قلب این رصدخانه مخزن بزرگی از آب سنگین بود، که در آن اتم هیدروژن به صورت دوتریم وجود داشت. این هسته‌ها گاهی نوترینو را جذب و نور تابش می‌کنند. در مجموع سه نوع نوترینو وجود دارد. دو سوم نوترینوهای خورشید به انواع دیگر تغییر می‌کنند. SNO به هر سه نوع نوترینو حساس است و قادر به شناسایی همه نوترینوهای پیش‌بینی‌شده است.

زندگی خورشید و ستاره ها:

بر اساس روش علمی، در ابتدا به اینکه دانشمندان چگونه به تکامل ستارگان پی برده‌اند، پاسخ می‌دهیم. در این‌جا چند روش اصلی مورد استفاده دانشمندان را بیان می‌کنیم:

استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، براساس قوانین فیزیک (همانطور که در پیش از این توضیح داده شد)

- مشاهده ستارگان در آسمان، که در مراحل مختلف تکامل هستند و قرار دادن آن‌ها در یک "توالی تکاملی" منطقی.
- مشاهده خوشه‌های ستاره‌ای: خوشه‌های ستاره‌ای، مجموعه‌ای از ستاره‌ها هستند که همه با هم در یک ابر اولیه و در یک زمان تشکیل شده‌اند، اما دارای جرم‌های متفاوتی هستند. در کهکشان‌ما هزاران خوشه ستاره ای وجود دارد، که حدود ۱۵۰ خوشهٔ آن، خوشه‌های کروی هستند. خوشه‌های کروی از قدیمی‌ترین اجرام در کهکشان ما هستند. خوشه قلائص (در صورت فلکی ثور)، خوشه پروین (درصورت فلکی ثور) و بیشتر ستارگان در خرس بزرگ، خوشه‌هایی هستند که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است. خوشه‌های ستاره‌ای در واقع یک "آزمایشگاه‌های طبیعی" هستند: از آنجا که خوشه‌های مختلف دارای سن متفاوتی هستند، می‌توان بررسی کرد که چگونه مجموعه‌ای از ستاره‌ها با جرم متفاوت، دارای سن متفاوتی هستند.
- مشاهده مستقیم مراحل سریع تکامل؛ این امر تقریبا بسیار نادر است؛ زیرا این مراحل، بخش کوچکی از زندگی ستاره‌ها

را شامل می‌شوند.

• مطالعه تغییرات دوره‌های تپیدن ستاره‌های متغیر. این تغییرات بسیار کم، اما قابل مشاهده است. دوره این ستاره‌ها به شعاع آن‌ها بستگی دارد. تغییرات شعاع ستاره در مسیر تکاملی خود، موجب تغییر در این دوره نیز می‌شود. تغییر دوره ستاره را می‌توان به کمک مشاهدات منظم و طولانی مدت اندازه‌گیری کرد.

شبیه سازی رایانه‌ای، روشی است که برای تعیین ساختار ستارگان مورد استفاده قرار گرفته است. با مشخص بودن ساختار و دانستن دما و چگالی در هر بخش از ستاره، می‌توان نحوه تشکیل ترکیبات شیمیایی مختلف طی فرایندهای هسته‌ای را بررسی کرد و از نتایج آن در مدل‌های دیگر استفاده کرد.

مشهورترین ستاره‌های متغیر، متغیرهای قیفاووسی نامیده می‌شوند که ستاره دلتا قیفاووس نمونه بارز آن است. بین دوره تپش قیفاووسی و توان آن رابطه وجود دارد. با اندازه‌گیری دوره و به کمک قانون مربع معکوس، ستاره شناسان قادر به تعیین توان و فاصله ستاره خواهند بود. متغیرهای قیفاووسی ابزاری مهم برای تعیین اندازه و سن جهان هستند.

در فعالیت ۵، دانش‌آموزان و دانشجویان می‌توانند از طریق پروژه‌هایی مانند Citizen Sky، ستاره‌های متغیر را رصد کنند. این امر آن‌ها را قادر می‌سازد تا ضمن انجام یک مشاهد علمی نجومی، دانش خود را در زمینه سایر علوم و مهارت های ریاضی توسعه دهند.

زندگی و مرگ خورشید و ستاره ها

همجوشی هیدروژن فرایندی با راندمان زیاد است که در مرکز ستاره‌ها با دما و چگالی بسیار بالا رخ داده و عامل اصلی درخشندگی ستارگان در طول عمرشان است. با انجام این واکنش، به تدریج در ستاره، هسته‌ای از هلیوم ایجاد می‌شود، که با گرم شدن هسته، هیدروژن‌های اطراف آن وارد همجوشی شده و لایه‌های خارجی شروع به انبساط می‌کنند و ستاره به غول سرخی که از خورشید صد برابر بزرگ تر است تبدیل می‌شود. اگر فرایند ادامه پیدا کند، هلیوم‌ها وارد همجوشی شده و کربن ایجاد می‌کنند، اما همجوشی هلیوم به اندازه هیدروژن پربازده نیست و ستاره به انبساط خود همچنان ادامه داده تا به یک غول قرمز بزرگتر تبدیل شود. بسیاری از ستاره‌های پرجرم، به انبساط خود ادامه داده و ابرغول‌های قرمز را ایجاد می‌کنند.

با تمام شدن سوخت یک ستاره، مرگ آن فرا می‌رسد. نوع مرگ یک ستاره کاملا وابسته به جرم آن است.

طول عمر یک ستاره نیز به جرم آن وابسته است: ستاره‌های کم جرم دارای درخشندگی کمتر اما طول عمر بسیار طولانی- ده‌ها میلیارد سال - هستند. ستاره‌های پرجرم از درخشندگی بسیار بالا اما طول عمر بسیار کوتاه - میلیون ها سال- برخوردار هستند بیشتر ستارگان کم جرم هستند.

پیش از مرگ، یک ستاره جرم خود را از دست می‌دهد و از آخرین سوخت هیدروژن و سپس سوخت هلیوم خود استفاده می‌کند، تا اینکه به غول سرخی با شعاعی صد برابر خورشید و حجمی بیش از یک میلیارد برابر حجم آن تبدیل می‌شود. در فعالیت ۴، دانش‌آموزان به کمک ساخت یک مدل، می‌توانند تغییرات اندازه ستاره در مسیر تکاملی آن را مشاهده کنند. همچنین جاذبه در لایه های بیرونی یک غول قرمز بسیار کم بوده و هر چرخهٔ تپش آن، به دلیل بزرگی غول سرخ، ماه‌ها یا سال‌ها زمان نیاز دارد. بر اثر این تپش ها (منقبض و منبسط شدن ستاره) لایه‌های بیرونی ستاره به فضا پرتاب شده و یک سحابی سیاره‌ای زیبا را در اطراف ستاره در حال مرگ ایجاد می‌کند (شکل ۹). بعدها این گازها از ستاره دور شده و با سایر گازها و غبارهای کیهانی به هم می‌پیوندند تا سحابی‌های جدیدی را به عنوان زایشگاه ستاره‌ای ایجاد کنند.

شکل ۹: سحابی هلیکس، یک سحابی سیاره‌نما است. گازهای سحابی در مرحله تبدیل شدن به غول سرخ، از ستاره خارج شده‌اند. هسته اصلی ستاره یک کوتوله داغ سفید است که بصورت کم رنگ در مرکز سحابی دیده می‌شود. منبع: ناسا.

زندگی ستارگان پرجرم در مقایسه با زندگی ستارگان کم جرم اندکی متفاوت است. در ستارگان کم جرم، انرژی به صورت تابش از هسته به بیرون منتقل می‌شود. در هسته ستارگان پرجرم، انرژی با همرفت منتقل می‌شود. در ستارگان پرجرم، هیدروژن سریع‌تر مصرف می‌شود و ستاره خیلی سریع به یک غول سرخ تبدیل می‌شود اما در مورد ستارگان کم‌جرم، این انتقال آهسته‌تر و تدریجی‌تر است.

برای تشکیل یک ستاره، جرم ستاره باید بیش از ۰٫۰۸

برابر جرم خورشید باشد تا هسته به اندازه کافی گرم و فرایند همجوشی در آن آغاز شود. بزرگترین ستارگان دارای جرم‌هایی در حدود صد برابر خورشید هستند. ستارگان پرجرم، آنقدر قدرتمند خواهند بود که تشعشعات خود آن‌ها مانع از شکل‌گیری و پایداری آن‌ها می‌شود.

ستاره‌های متداول اما کم جرم

ستارگانی با جرم اولیه کمتر از هشت برابر بیشتر از خورشید، در پایان عمر خود با از دست دادن جرم، هسته‌ای با جرم کمتر از ۱٫۴ خورشید برجا می‌گذارند. این هسته فاقد سوخت حرارتی است. کشش درونی گرانش با فشار بیرونی الکترون‌ها در آن در حال تعادل هستند و بنابر اصل طرد پائولی آن‌ها در مقابل هرگونه انقباض بیشتر مقاومت می‌کنند. به این هسته‌های برجا مانده از ستاره، کوتوله سفید گفته می‌شود. همانطور که گفته شد کوتوله‌های سفید جرمی کمتر از ۱٫۴۴ برابر خورشید دارند. به این مقدار، حد چاندراسخار گفته می‌شود، زیرا سوبرامانیان چاندراسخار، ستاره‌شناس هندی-آمریکایی و برنده جایزه نوبل، نشان داد که کوتوله سفیدی سنگین تر از این حد، می‌تواند از هم فروبپاشد.

کوتوله های سفید پایانی طبیعی تکامل ستاره‌ای هستند. تعداد بسیار زیادی از این کوتوله‌ها در کهکشان ما وجود دارند. اگرچه این ستاره‌ها داغ هستند اما، توان آن‌ها هزاران برابر کمتر از خورشید بوده و از زمین نیز کوچکتر هستند، به همین علت دیدن آن‌ها بسیار دشوار است. در واقع کوتوله‌های سفید به‌مانند زغال در حال سوختن در یک شومینه هستند که به تدریج سرد و خاموش می‌شوند. این کوتوله‌ها بعد از میلیاردها سال، گرمای خود را از دست داده و سرد و تاریک می‌شوند. در اطراف شباهنگ و شعرای شامی، کوتوله های سفیدی در حال چرخش هستند.

شکل ۱۰: سحابی خرچنگ، بقایای انفجار ابرنواختری است که در سال ۱۰۵۴ میلادی توسط ستاره‌شناسان آسیایی ثبت شد. هسته این ستاره منفجرشده یک ستاره نوترونی در حال چرخش یا تپ‌اختر در دل سحابی است. بخش کوچکی از انرژی چرخشی آن به سحابی منتقل می‌شود و باعث درخشش آن می‌شود. منبع: ناسا.

ستاره های سنگین اما کمیاب

ستارگان پرجرم و داغ دارای عمر کوتاه چند میلیون سال بوده و به همین علت در عالم بسیار کمیاب هستند. هسته این ستاره‌ها به اندازه‌ای داغ و چگال هستند که می‌تواند عناصر را تا آهن تشکیل دهند (همجوشی تا عنصر آهن اتفاق می‌افتد). هسته آهن انرژی لازم برای همجوشی یا شکافت هسته‌ای ندارد. از آنجا که هیچ منبع انرژی برای گرم نگه داشتن هسته وجود ندارد، هسته نمی‌تواند در برابر نیروی گرانش مقاومت کرده و گرانش، هسته ستاره را در یک ثانیه در خود می‌رمباند و آن‌را به یک توپ نوترون (یا حتی ماده ناشناس) تبدیل می‌کند. در نتیجه این اتفاق یک انفجار ابرنواختری رخ می‌دهد و این باعث می‌شود که لایه‌های بیرونی ستاره سرعت حداکثر ۱۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه به بیرون پرتاب می‌شوند (شکل ۱۰).

ابرنواخترها، در حداکثر حالت درخشش خود، می‌توانند به اندازه کهکشانی با صدها میلیارد ستاره بدرخشند. تیکو براهه و یوهانس کپلر هر دو ابرنواخترهای مشاهده شده در سال های ۱۵۷۲ و ۱۶۰۴ را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. به گفته ارسطو، «ستاره‌ها کامل هستند و تغییر نمی کنند». اما براهه و کپلر خلاف این حرف را ثابت کردند. در ۴۰۰ سال اخیر هیچ ابرنواختری در کهکشان راه شیری ما مشاهده نشده است. در سال ۱۹۸۷ یک ابرنواختر، در ابر ماژلانی بزرگ که قمر کهکشان ما است، با چشم غیرمسلح مشاهده شد.

اگر جرم هسته ستاره ابرنواختر از حد چاندراسخار بیشتر باشد. پروتون‌ها و الکترون‌های موجود در هسته در حال فروپاشی، نوترون و نوترینو تولید می‌کنند. نوترینوها توسط یک رصدخانه نوترینو قابل شناسایی است. تا زمانی که جرم هسته کمتر از حدود سه برابر جرم خورشید باشد، هسته پایدار خواهد بود و نیروی رو به داخل گرانش با فشار کوانتومی رو به بیرون نوترون ها در تعادل است. جرمی با این ویژگی‌ها را ستاره نوترونی می‌نامند که قطر آن حدود ۱۰ کیلومتر و چگالی آن بیشتر از 10^{14} برابر آب است. اگر ستاره نوترونی هنوز گرم باشد با یک تلسکوپ اشعه X می‌توان آن را رصد کرد. اما ستاره‌های نوترونی به روشی بسیار غیرمنتظره‌ای کشف شدند - به عنوان منبع پالس‌های امواج رادیویی به نام تپ اختر -. دوره پالس آن‌ها تقریباً یک ثانیه و گاه بسیار کمتر است. پالس‌ها توسط میدان مغناطیسی قوی ستاره نوترونی تولید می‌شوند و با چرخش سریع ستاره تقریباً با سرعت نور به گردش در می‌آیند.

نوع دوم ابرنواختر در سیستم‌های ستاره دوتایی که یکی از ستاره‌های آن به کوتوله سفید تبدیل شده، رخ می‌دهد.

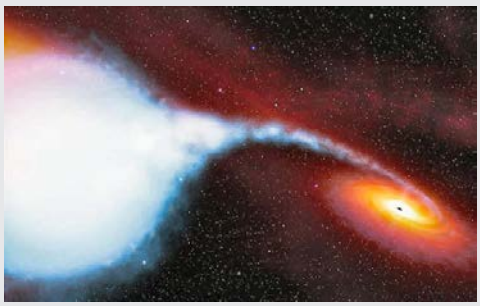
هنگامی که ستاره دوم شروع به انبساط می‌کند، ممکن است گاز آن به کوتوله سفید انتقال یابد. اگر جرم کوتوله سفید از حد چاندراسخار بیشتر شود، کوتوله سفید "در هم می‌شکند". در واقع ماده در آن شروع به همجوشی کرده و کربن ایجاد می‌شود و انرژی کافی برای مرگ ستاره آزاد می‌شود.

در یک انفجار ابرنواختری، تمام عناصر شیمیایی تولید شده توسط واکنش‌های همجوشی در فضا پخش می‌شود. عناصر سنگین تر از آهن به میزان کم در این انفجار تولید می‌شوند.

ستاره های فوق سنگین و بسیار کمیاب

در هر یک میلیارد ستاره، احتمال وجود یک ستاره فوق سنگین است؛ از این رو، این دسته از ستارگان بسیار کمیاب هستند. با اینکه توان این نوع از ستاره‌ها تا یک میلیون برابر خورشید است اما عمر بسیار کوتاهی دارند. این ستاره‌ها آن چنان سنگین هستند که پس از اتمام انرژی و نابودی هسته، جرمی در حدود بیش از سه برابر جرم خورشید از آن ها باقی می‌ماند. در این حالت گرانش حتی بر فشار کوانتومی نوترون‌ها غلبه کرده و هسته به فروپاشی خود ادامه می‌دهد تا زمانی که آنقدر چگال شود، که هیچ چیز حتی نور، توانایی فرار از گرانش آن را نداشته باشد و سیاهچاله ایجاد شود. اگرچه سیاهچاله‌ها هیچ تابشی از خود ساطع نمی‌کنند، اما اگر دارای یک همدم ستاره‌ای باشند، به کمک مشاهده حرکت آن همدم، ستاره‌شناسان قادر به تشخیص سیاهچاله خواهند بود. علاوه بر این ممکن است مقدار کمی از گاز ستاره به سمت سیاهچاله کشیده شود. این گاز پیش از فرو رفتن در سیاهچاله گرم شده و از خود پرتوهای X ساطع می‌کند(شکل ۱۱). بنابراین سیاهچاله‌ها منابع قوی اشعه X خواهند بود و با تلسکوپ‌های اشعه ایکس می‌توان آن‌ها را کشف کرد.

ستاره‌شناسان در مرکز بسیاری از کهکشان‌ها، از جمله کهکشان راه‌شیری خود ما، سیاهچاله های فوق‌العاده پرجرم، که میلیون‌ها یا میلیاردها بار سنگین تر از خورشید هستند را کشف کرده‌اند. جرم آن‌ها به وسیله اثری که بر روی ستارگان قابل مشاهده در نزدیکی مراکز کهکشان‌ها قرار دارند، اندازه‌گیری می‌شود. به نظر می‌رسد سیاه‌چاله‌های ابرپرجرم به عنوان بخشی از فرایند تولد کهکشان شکل گرفته‌اند، اما هنوز مشخص نیست که این اتفاق چگونه رخ می‌دهد. یکی از اهداف ستاره‌شناسی در قرن بیست و یکم پاسخ به این سوال است: چگونه اولین ستاره‌ها، کهکشان‌ها و سیاهچاله‌های بسیار بزرگ در مدت زمان اندکی بعد از تولد عالم شکل می‌گیرند؟

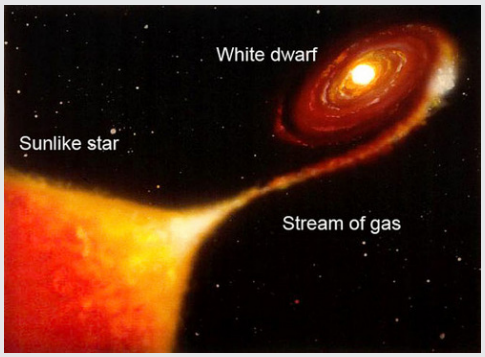


شکل ۱۱: تصور هنری از ستاره دوتایی با اشعه X در دجاجه X-۱. این سیستم شامل یک ستاره عادی بزرگ (سمت چپ) و یک سیاهچاله (راست)، باجرمی تقریباً ۱۵ برابر خورشید است. برخی از گازهای موجود در ستاره به سمت سیاهچاله کشیده می‌شوند، این گازها در دمای بسیار بالا گرم شده و اشعه ایکس ساطع می‌کنند. منبع: ناسا.

دوتایی انفجاری

حدود نیمی از ستاره‌های آسمان، دوگانه هستند. در این نوع از ستاره‌ها، دو یا چند ستاره در مداری به دور مرکز جرم مشترک در حال گردش هستند. در بیشتر این سیستم‌ها مدار بسیار بزرگ بوده و برهمکنش خاصی بین دو ستاره ایجاد نمی‌شود. اما اگر مدار کوچك باشد، این دو ستاره ممکن است با هم برهمکنش داشته باشند، به ویژه اگر یکی از ستاره‌ها یک غول سرخ باشد. حال اگر یکی از ستاره‌ها به کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاهچاله تبدیل شود، ممکن است زندگی ستاره دوم دست‌خوش تغییر شود و اتفاقات جالب بسیاری رخ دهد (شکل ۱۲). به سیستم‌های دوتایی از این دست، دوتایی‌های انفجاری گفته می‌شود. همانطور که پیش از این گفته شد، اگر جرم کافی به کوتوله سفید منتقل شود، می‌تواند به عنوان ابرنواختر منفجر شود. اگر مواد غنی از هیدروژن از ستاره ی دوم بر روی کوتوله سفید ریخته شود، آن ماده می‌تواند از طریق فیوژن (همجوشی) هیدروژن به عنوان یک نواختر منفجر شود. موادی که به سمت کوتوله سفید، ستاره نوترونی یا سیاه چاله فرو می‌ریزند، می‌توانند داغ شوند و تابش پرانرژی اشعه ایکس تولید کنند.

در این تصویر هنری از سیاه چاله (شکل ۱۱)، می‌توانید قرص برافزایشی گاز در اطراف سیاهچاله و جریان گاز از ستاره به سیاهچاله را مشاهده کنید.



شکل ۱۲: دوتایی انفجاری. ماده از ستاره عادی (سمت چپ) به سمت کوتوله سفید (سمت راست) کشیده می‌شود. به قرص برافزایشی اطراف کوتوله سفید برخورد می‌کند که باعث روشنایی و درخشش آن می‌شود. سرانجام این ماده بر روی کوتوله سفید فرود می‌آید، جایی که ممکن است شعله ور شود یا منفجر شود. منبع: ناسا.

تولد خورشید و ستاره ها

بله، ستاره‌ها تازه متولد شده‌اند، باور کنید. همانطور که می‌دانیم عمر عالم بیش از ۱۰ میلیارد سال است، از سویی ستاره‌های پرجرم، عمری کوتاه و در حد چند میلیون سال دارند. بنابراین ستاره‌های بسیار پرجرم، به تازگی متولد شده‌اند. البته ستاره کم جرم عمری به اندازه چند میلیارد سال دارند و خیلی قبل‌تر متولد شده‌اند. ستاره‌ها در ابرهای بزرگی از گاز و غبار با نام سحابی متولد می‌شوند. سحابی ها، به صورت عمده از گازهای هیدوژن و هلیوم و مقادیر ناچیزی از سایر عناصر سنگین تشکیل شده‌اند. در سحابی‌ها میزان بسیار اندکی از ذرات گرافیت و سیلیکات در اندازه‌های میکرومتری وجود دارد. این ذرات به عنوان بستر و کاتالیزور در تشکیل ستاره‌ها ایفای نقش می‌کنند. سحابی شکارچی، نزدیک‌ترین و پرنورترین سحابی آسمان شب است(شکل۱۳) ستاره‌های داغ سحابی، موجب برانگیخته شدن اتم‌های گازی آن و تولید پرتوهای فلوئورسنت می‌شوند. غبار گرم شده آن امواج فروسرخ نشر می‌کند. برخی بخش‌ها نیز نور ستارگان و گاز پشت سر خود را مسدود کرده و موجب ایجاد لکه‌های تاریک در سحابی می‌شوند.

با توجه به اینکه جاذبه یک نیروی کشنده است، در برخی مناطق سحابی که نیروی گرانش بر فشار غلبه کرده، گازها به هم نزدیک و نزدیک تر میشوند وانقباض رخ می‌دهد. این انقباض ممکن است در اثر موج ناشی از یک انفجار ابرنواختری و یا فشار پرتوهای یک ستاره پرجرم در نزدیکی آن باشد. با شروع انقباض گرانشی و ادامه آن، نیمی از انرژی آزاد شده از برهمکنش‌های گرانشی، موجب گرم شدن ستاره و نیمی دیگر به صورت تابش منتشر می‌شود. با رسیدن دمای هسته به ۱٫۰۰۰٫۰۰۰ کلوین، همجوشی حرارتی هسته های دوتریوم آغاز می‌شود، با ادامه این روند و گرم‌تر شدن ستاره، همجوشی هیدروژن آغاز می‌شود. با برابر شدن انرژی تولید شده با انرژی در حال تابش، ستاره "رسماً" متولد می‌شود.

شکل ۱۳: سحابی شکارچی، ابر بزرگی از گاز و غبار که در آن ستاره‌ها (و سیارات آنها) شکل می‌گیرند. منبع: ناسا.

هنگامی که اولین انقباض گرانشی آغاز می‌شود، مواد به دلیل تلاطم در سحابی، چرخش بسیار کمی دارند. با ادامه انقباض، اصل پایستگی اندازه حرکت زاویه باعث افزایش چرخش می‌شود. این اثر در اسکیت باز مشاهده می‌شود. وقتی اسکیت‌باز بخواهد وارد چرخش سریع شود، بازوهایش را تا حد ممکن به محور چرخش (بدن خود) نزدیک می‌کند و در این حالت چرخش آن بیشتر می‌شود. همچنان که چرخش ستاره منقبض شده ادامه می‌یابد، "نیروی گریز از مرکز" باعث می‌شود مواد اطراف ستاره در یک صفحه مسطح شوند. در نهایت، ستاره در مرکز متراکم این صفحه و سیاره‌های سنگی در نزدیکی ستاره و سیارات گازی و یخی در قسمت آن بوجود می‌آیند.

سحابی شکارچی یک نمونه مطالعاتی عالی برای ستاره‌شناسان است، آن‌ها نمی‌توانند تمام مراحل شکل گیری ستاره‌ها را در این سحابی بررسی کنند. آن‌ها در این سحابی دیسک‌های پیش سیاره ای مشابه با شکل‌گیری منظومه شمسی را مشاهده کرده‌اند. جستجو همچنان ادامه داشته و در سال ۱۹۹۵، ستاره‌شناسان سیارات فراخورشیدی را کشف کرده اند. حواستان را جمع کنید ممکن است سیارات زیادی مانند زمین در جهان وجود داشته باشد!

کتابشناسی

• Bennett, Jeffrey et al, The Essential Cosmic Perspective, Addison-Wesley; one of the best of the many available textbooks in introductory astronomy,2005.

• Kaler, James B, The Cambridge Encyclopaedia of Stars, Cambridge Univ. Press, 2006.

• Percy, J.R, Understanding Variable Star, Cambridge University Press, 2007.

Internet Sources

• American Association of Variable Star Observers. http://www.aavso.org. Education project: http://www.aavso.org/vsa

• Chandra X-Ray Satellite webpage. http://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/

• Kaler's "stellar" website. http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html

• Stellar Evolution on Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution

جولیت فی یرو، بئاتریس گارسیا، سوسانا دیوستیا
اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه خودمختار ملی مکزیک (مکزیک DF، مکزیک)، دانشگاه ملی فنی و مهندسی(مندوزا، آرژانتین)
موسسه علمی تلسکوپ فضایی(بالتیمو، امریکا)

خلاصه

اگرچه هر جسم آسمانی جداگانه جذابیت‌های خاص خود را دارد، اما درک تکامل جهان به خودی خود موضوع جالبی است. با اینکه ما فقط اجرامی که در همسایگی زمین هستند را می‌بینیم؛ اما درک این موضوع که ما درباره جهان بسیار می‌دانیم جذاب است.

مقدمه

نجوم در قرن نوزدهم بر فهرست‌نویسی ویژگی‌های اجرام آسمانی متمرکز بود: این فهرست سیارات، ستارگان، سحابی‌ها و کهکشان‌ها را در بر می‌گرفت. در اواخر قرن بیستم، تمرکز به سمت فهمیدن ویژگی‌های دسته‌بندی اجرام تغییر کرد : خوشه های ستاره‌ای، تشکیل کهکشان‌ها و ساختار جهان. اکنون سن و تاریخ مبدأ جهان را می‌دانیم و اینکه گسترش آن در حال تسریع است، ما هنوز ماهیت ماده تاریک را نمی‌دانیم. و اکتشافات جدید همچنان ادامه دارد.

ما در ابتدا برخی از خواص کهکشان‌ها را که جزئی از ساختارهای بزرگ جهان هستند توضیح خواهیم داد. بعداً به آنچه به عنوان مدل استاندارد بیگ بنگ معروف است و شواهدی که از این مدل پشتیبانی می‌کند، خواهیم پرداخت.

اهداف

- درک تکامل جهان از زمان مهبانگ تا به امروز.
- درک چگونگی سازمان یافتن ماده و انرژی در جهان.
- تحلیل چگونگی یادگیری ستاره‌شناسان در مورد تاریخ جهان.

کهکشان ها

کهکشان ها از ستاره‌ها، گاز، گرد و غبار و ماده تاریک تشکیل شده‌اند و قطر آن‌ها بسیار بزرگ و بیش از ۳۰۰۰۰۰ سال نوری است. کهکشان که خورشید به آن تعلق دارد ، صد میلیارد (۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰) ستاره دارد. در جهان میلیاردها کهکشان این‌چنینی وجود دارد.

کهکشان ما یک کهکشان مارپیچی بزرگ، همچون کهکشان آندرومدا است(شکل ۱.الف) خورشید با سرعت۲۵۰ کیلومتر در ثانیه در حال گردش به دور مرکز کهکشان است که یک دور کامل آن ۲۰۰ میلیون سال زمان نیاز دارد. از آنجا که منظومه شمسی ما در دل کهکشان حضور دارد، پس ما نمی‌توانیم کل کهکشان را ببینیم، دقیقاً مثل تلاش برای عکس گرفتن از کل یک جنگل وقتی که در وسط آن هستید. کهکشان ما راه شیری نامیده می‌شود. با چشم غیر مسلح در طول شب، می‌توان تعداد بسیار زیادی ستاره، نوار راه کهکشان که مجموعه‌ای از ستارگان، سحابی‌ها و گاز و غبار است را دید.

ساختار کهکشان‌ما به صورت غیرمستقیم و به کمک اطلاعات به‌دست‌آمده با تلسکوپ‌های مرئی و رادیویی و مقایسه آن با کهکشان‌های دیگر کشف شد. (اگر آینه‌ای وجود نداشت، می‌توانستیم با نگاه کردن به چهره‌های دیگری، چهره خود را تصور کنیم.)

شکل۱. الف: کهکشان آندرومدا. کهکشان مارپیچی بسیار شبیه به راه شیری خودمان است. خورشید در لبه بیرونی یکی بازوهای راه شیری قرار دارد.
(عکس: بیل شوونینگ ، ونسا هاروی/ برنامه REU / NOAO / NSF / AURA /). شکل۱.ب: ابربزرگ ماژلانی. یک کهکشان نامنظم که قمر کهکشان راه شیری است و با چشم از نیمکره جنوبی قابل مشاهده است. (عکس: ESA و اکهارد اسلاویک)

کهکشان‌ها را به سه دسته: نامنظم، مارپیچی و بیضوی تقسیم می‌کنیم. کهکشان‌های نامنظم دارای اندازه‌ای کوچک با فراوانی بیشتر هستند، این کهکشان‌ها غنی از گاز بوده و ستاره‌های جدیدی را تشکیل می‌دهند. بسیاری از این کهکشان‌ها، قمرهای کهکشان‌های دیگر هستند. کهکشان راه شیری دارای ۳۰ قمر کهکشانی است. ابرهای ماژلانی نخستین قمرهای راه شیری هستند که از نیمکره جنوبی قابل رؤیت هستند.

کهکشان‌های مارپیچی، عموماً دارای دو بازویی هستند که به صورت محکم و به هم‌چسبیده یا شل و آویزان از قسمت مرکزی به‌نام (برآمدگی) بیرون زده است. مرکز کهکشان‌ها مانند کهکشان خودمان دارای سیاهچاله‌ای با جرم چندین میلیون برابر جرم خورشید است. ستارگان جدید به صورت عمده در بازوها که غنی از مادهٔ بین ستاره‌ای است، تشکیل می‌شوند.

هنگامی که سیاهچاله‌های موجود در هسته کهکشان‌ها، ابرهای گاز یا ستارگان را به خود جذب می‌کنند، ماده شروع به گرم شدن می‌کند، اما قبل از افتادن به دام سیاهچاله، بخشی از آن در جت‌های گازی ظاهر شده و به فضا وارد می‌شود و محیط بین کهکشانی را گرم می‌کند. این دسته از کهکشان‌ها، با نام کهکشان‌های فعال شناخته می‌شوند و بسیاری از کهکشان‌های مارپیچی از این گروه هستند.

بزرگترین نوع کهکشان‌ها، کهکشان‌های بیضوی هستند (اگرچه، کهکشان‌های بیضوی کوچک نیز وجود دارد). گمان بر این است که این نوع کهکشان، به مانند کهکشان‌های مارپیچی غول‌پیکر، از ادغام کهکشان‌های کوچکتر با یکدیگر ساخته می‌شوند. تنوع سن و ترکیبات شیمیایی گروه‌های مختلف ستارگان در کهکشان ادغام شده، از جمله شواهد تأیید کننده این موضوع است.

شکل ۲. الف: تصویر از کهکشان NGC ۱۳۶۵ گرفته شده با ESO VLT در طول موج مرئی، تصویر اشعه ایکس Chandra از مواد نزدیک به سیاهچاله مرکزی کهکشان. (عکس: ناسا ، ESA ، میراث هابل (ESA/- (STScI / AURA) همکاری هابل، وای. ایوانز). شکل۲. ب: Arp ۱۹۴ - سیستمی از دو کهکشان در یک فرآیند تعاملی بسیار تماشایی. هسته‌ها در حال ادغام هستند و یک دم آبی رنگ در حال آزاد شدن است(اعتبار: ESA ، NASE و تیم میراث حباب (STScI))

کهکشان‌ها در کنار یکدیگر، خوشه‌های کهکشانی متشکل از هزاران عضو را تشکیل می‌دهند. در مراکز این خوشه‌ها معمولاً کهکشان‌های بیضوی غول‌پیکر یافت می‌شوند. برخی از این کهکشان‌ها دارای دو هسته ناشی از ادغام کهکشانی هستند.

شکل۳: خوشه کهکشان Abell ۲۲۱۸. قوس‌هایی را می‌توان مشاهده کرد، که ناشی از اثر عدسی گرانشی است. (عکس: ناسا، ایسا، ریچارد الیس (کلتچ) و ژان پاول کنب (ناظر میدی-پیرنه، فرانسه)).

خوشه‌ها و ابرخوشه‌های کهکشانی در جهان با ساختارهای رشته‌ای، اطراف عالم پخش شده‌اند. به نظر می‌رسد که جهان در مقیاس بزرگ یک حمام حباب است که کهکشان‌ها روی سطح حباب قرار دارند.

کیهان شناسی

در اینجا به تشریح برخی از خصوصیات جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، خواهیم پرداخت. عالم هستی از ماده، انرژی و فضا تشکیل شده است و با زمان تکامل می‌یابد. ابعاد زمانی و مکانی آن بسیار بزرگتر از آن چیزی است که ما در زندگی روزمره از آن‌ها استفاده می‌کنیم.

کیهان‌شناسی در پی یافتن پاسخ سؤالات بنیادین ما در مورد عالم است: ما از کجا آمده‌ایم؟ آینده جهان چیست؟ کجا هستیم؟ جهان چند سال قدمت دارد؟

علم روز به روز بیشتر پیشرفت می‌کند، با این حال هرچه بیشتر بدانیم بیشتر متوجه می‌شویم که چقدر نمی‌دانیم. علم به ما اجازه می‌دهد تا طبیعت و قوانین آن‌را بشناسیم و به کمک آن برخی وقایع را پیش‌بینی کنیم، مانند نقشه‌ای که موقعیت یک مکان را به ما نشان می‌دهد.

تمامی فرضیاتی که برای شناخت عالم بر پایه اندیشه مطرح می‌شود، حتما باید به‌وسیله اندازه‌گیری‌ها و داده‌های مختلف پشتیبانی شود، تا درستی آن مشخص شود.

ابعاد جهان

فواصل بین ستاره‌ای بسیار زیاد است. زمین از خورشید ۱۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر فاصله دارد و پلوتو، ۴۰ برابر دورتر است. نزدیکترین ستاره ۲۸۰۰۰۰ برابر این فاصله قرار دارد و فاصله نزدیکترین کهکشان ده میلیارد (۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰) بار بیشتر است. ساختار رشته‌ای کهکشان‌ها ده تریلیون (یک عدد یک که پس از آن ۱۲ صفر باشد) بیشتر از فاصله زمین تا خورشید است.

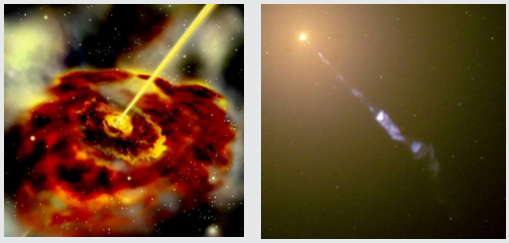
سن جهان

جهان ۱۳٫۷ میلیارد (۱۳۷۰۰۰۰۰۰۰) سال پیش متولد شد. منظومه شمسی میلیاردها سال بعد و در حدود ۴٫۶ میلیارد (۴۶۰۰۰۰۰۰۰) سال پیش شکل گرفت. اولین نشانه‌های حیات ۳٫۸ میلیارد (۳۸۰۰۰۰۰۰۰) بر روی زمین پدیدار شد و دایناسورها ۶۵ میلیون سال پیش منقرض شدند. انسان‌های امروزی تنها در حدود ۱۵۰،۰۰۰ سال بر روی زمین ظاهر شدند.

مشاهدات نشان می‌دهد که عالم در حال انبساط است، پس می‌توان نتیجه گرفت که جهان ما سرچشمه‌ای داشته و در زمانی خاص بر اثر اتفاقی خاص به‌وجود آمده است. انبساط عالم موجب دور شدن تمام خوشه‌های کهکشانی از یکدیگر شده است؛ هرچه کهکشان دورتر باشد، با سرعت بیشتری در حال دور شدن است. با اندازه‌گیری سرعت انبساط عالم، می‌توان حدس زد که همه فضا، زمانی در کنار هم فشرده بوده است. با محاسبات انجام شده سن جهان ۱۳٫۷ میلیارد سال برآورد می‌شود. امروزه رویدادی که انبساط جهان را آغاز کرده به نام مهبانگ یا بیگ بنگ معروف است.

اندازه گیری سرعت

با استفاده از اثر دوپلر می‌توان سرعت یک ستاره یا کهکشان را اندازه‌گیری کرد. همه ما در زندگی روزمره خود اثر دوپلر را به هنگام دور و نزدیک شدن صدای آژیر آمبولانس یا پلیس تجربه کرده‌ایم. به کمک یک ساعت زنگ‌دار و یک کیسه می‌توان این اثر را آزمایش کرد. اگر فردی شروع به چرخاندن کیسه حاوی ساعت زنگ‌دار در بالای سر خود کند، ما به راحتی می‌توانیم تغییر صدای ساعت به هنگام دور و نزدیک شدن به خود را تشخیص دهیم. با گوش دادن به تغییرات صدای ساعت می‌توان سرعت آن را محاسبه نمود.



شکل۴. الف: تصویر خیالی از سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان. (عکس: ناسا PO / E - دانشگاه دانشگاه ایالتی سونوما). شکل ۴.ب: کهکشان M۸۷، نمونه‌ای از کهکشان واقعی با یک جت. (عکس: تیم میراث ناسا و هابل).

با توجه به سرعت دور یا نزدیک شدن اجرام سماوی، رنگ یا فرکانس نور ساطع شده از آن‌ها تغییر می‌یابد. اگر جرمی در حال دور شدن از ما باشد، طول موج آن بلندتر (قرمزتر) و اگر در حال نزدیکتر شدن به ما باشد، طول موج آن کوتاهتر (آبی) می‌شود.

زمانی که جهان فشرده‌تر بود، امواج صوتی می‌توانستند از آن عبور کرده و در نتیجه مناطقی با چگالی کم و زیاد ایجاد نمایند. پس از آن ابرخوشه‌های کهکشانی در مناطقی با چگالی زیاد ایجاد شدند. هم‌زمان با انبساط عالم، فضای بین نواحی پرچگال نیز افزایش یافت. امروزه ساختار رشته‌ای جهان را حاصل این انبساط می‌دانند.

امواج صوتی

امواج صوتی برای انتشار خود به واسطه‌ای مانند: هوا، آب یا چوب نیاز دارند. به هنگام تولید صدا، موجی ایجاد می‌شود که مواد اطراف خود را فشرده می‌کند. برای اینکه ما صدایی را بشنویم، در ابتدا می‌بایست امواج آن تولید، سپس از طریق ماده به گوش ما انتقال پیدا کرده و سلول‌های عصبی شنوایی ما را تحریک کند. با توجه به آن که فضای بین اجرام سماوی تقریبا خالی است، پس ما نمی‌توانیم صدای انفجارهای خورشیدی یا طوفان‌های عظیم مشتری را بشنویم.

برای عالم هستی، نمی‌توان مرکزی در نظر گرفت. اجازه دهید با یک مثال دو بعدی این موضوع را بهتر تشریح کنیم، تصور کنید که در ما در دفتر یونسکو در پاریس بودیم و زمین شروع به انبساط می‌کرد. در این حالت ما شاهد دور شدن شهرهای دیگر از خود بودیم، اما هم‌زمان این اتفاق برای ناظری در شهر دیگر نیز رخ می‌داد، زیرا کل کره زمین در حال انبساط است. پس برای عالم نیز نمی توان یک مرکز مشخص قائل شد.

شکل ۵: تا به امروز، بیش از ۳۰۰ سحابی تاریک و متراکم از گرد و غبار و گاز (زایشگاه ستاره ها) شناسایی شده‌اند. Super Cluster Abell ۹۰۲/۹۰. (عکس: تلسکوپ فضایی هابل، ناسا، ESA، سی. هایمانس (دانشگاه بریتیش کلمبیا) وم. گری (دانشگاه ناتینگهام)).

اگرچه به نظر می‌رسد سرعت نور(۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه)، سرعت بسیار زیادی است، اما با همین سرعت، نور ستاره‌ها صدها سال و نور کهکشان‌ها میلیون‌ها سال طول می‌کشد که به زمین برسد. بنابراین تمام اطلاعات ما از عالم، مربوط به گذشته است.

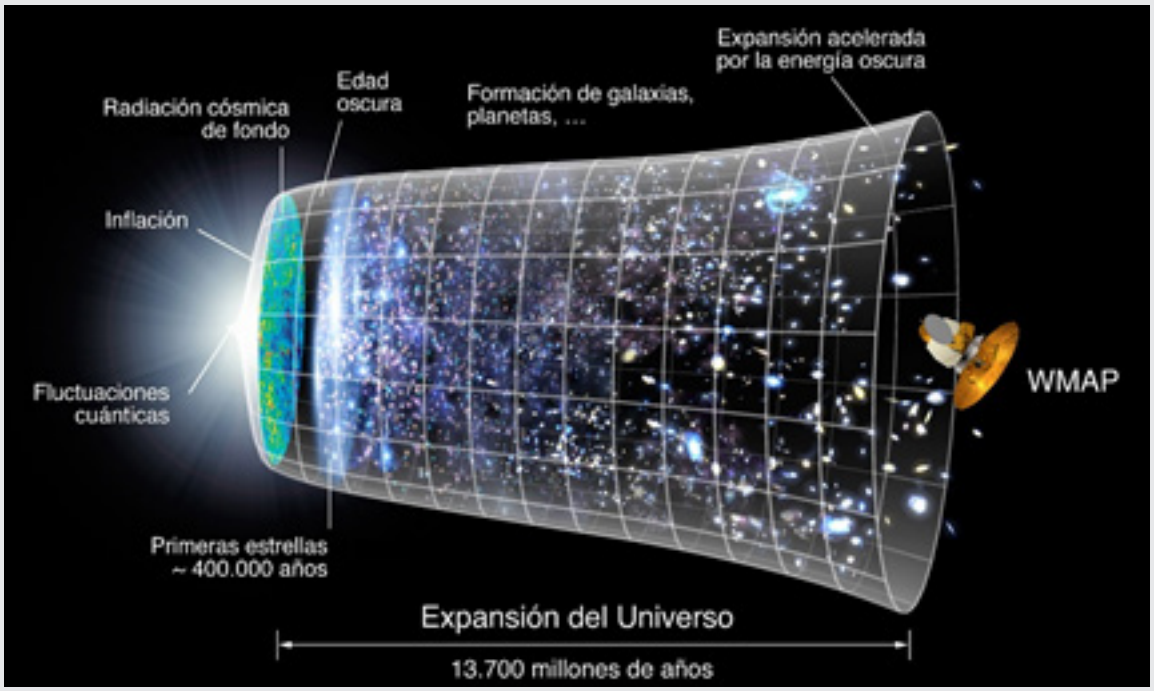
دور بودن برخی اجرام و نرسیدن نور آن‌ها به ما، به معنای نبودن آن‌ها در عالم نیست؛ از آنجا که این اجرام بسیار دور هستند، رسیدن نور آن‌ها به زمین نیازمند زمان بیشتری است.

سرعت محدود نور پیامدهای مختلفی در نجوم دارد. خمیده شدن فضا، موجب تغییر مسیر نور می‌شود،

بنابراین اگر ما یک کهکشان را در موقعیتی خاص مشاهده کنیم، ممکن است در حقیقت آن‌جا نباشد. یا به صورت مشابه، ستارگان حرکت می‌کنند پس به مدت طولانی در یک مکان حضور ندارند. در واقع ما با نگاه کردن به اجرام سماوی، در زمان سفر کرده و به گذشته آن‌ها نگاه می‌کنیم. بنابراین اگر اجرام مشابه‌ای در فاصله‌های مختلف قرار داشته باشند، مثلا ستارگان، می‌توان سیر تکاملی آن‌ها را بررسی کرد؛ زیرا با نگاه کردن به هر ستاره در فاصله معین، به مرحله خاصی از زندگی آن پی می‌بریم.

ما نمی‌توانیم لبه جهان را ببینیم؛ زیرا هنوز نوری از آن به زمین نرسیده است. جهان ما از نظر اندازه بی‌نهایت است و ما فقط بخشی از آن به شعاع ۱۳،۷ میلیارد سال نوری، یعنی جایی که نور پس از مهبانگ، توان رسیدن به ما را داشته است، تا کنون رصد کرده‌ایم. همانطور که گفتیم، سفر در کیهان مانند سفر در زمان است. نور اجرام سماوی مدت زمانی طول می‌کشد تا به ما برسد؛ بنابراین تصویر ما از این اجرام، تصویر همان لحظهٔ ساطع شدن نورشان خواهد بود. هر ناظری در هر گوشه عالم، تجربه‌ای مشابه ما را خواهد داشت.

دقیقاً مانند همه علوم، در ستاره‌شناسی و اخترفیزیک هر چه بیشتر درباره جهان خود بیاموزیم، با سؤالات بیشتری نیز مواجه خواهیم شد. در ادامه به بررسی ماده و انرژی تاریک می‌پردازیم.



شکل ۶: انبساط عالم. (عکس: ناسا).

ازآن جا که ماده تاریک با تابش الکترومغناطیس برهمکنشی ندارد، پس نوری را جذب یا منتشر نمی‌کند. ماده به شکلی که ما می‌شناسیم، مانند آنچه در ستاره‌ها یا غبار بین ستاره‌ای حضور دارد، می‌تواند موجب تولید یا جذب نور شود. ماده تاریک نسبت به هرگونه تابش بی اثر است؛ اما دارای جرم و در نتیجه جاذبه گرانشی است. این ماده به کمک تأثیرات آن حرکت ماده مرئی شناسایی شد. به عنوان مثال، اگر یک کهکشان در یک فضای ظاهراً خالی در مداری حرکت کند، ما یقین داریم که چیزی آن را در آن مدار ثابت نگاه داشته است؛ درست مانند منظومه شمسی، که سیارات در مدارهای خود توسط نیروی گرانشی خورشید در کنار هم قرار گرفته‌اند. اکنون می‌دانیم که ماده تاریک بیشترین ماده تشکیل دهنده عالم است و همانطور که در هر کهکشان وجود دارد، در خوشه‌های کهکشانی نیز وجود دارد و به نظر می‌رسد پایه و اساس ساختار رشته‌ای جهان است.

امروزه می‌دانیم که جهان با شتاب در حال انبساط است. به این معنا که نیرویی وجود دارد که اثر گرانش را خنثی می‌کند. انرژی تاریک نامی است که اخترشناسان به این پدیده داده‌اند. در صورت عدم وجود انرژی تاریک، انبساط عالم در حال کند شدن خواهد بود.

داده‌ها نشان می‌دهند که کیهان از ۷۴ درصد انرژی تاریک، ۲۲ درصد ماده تاریک و تنها ۴ درصد ماده به شکل شناخته شده (تمام کهکشان‌ها، ستاره‌ها، سیارات، گاز و غبار) تشکیل شده است. اما هنوز طبیعت و خصوصیات ۹۶ درصد جهان کشف نشده است.

آینده جهان ما به مقدار ماده و انرژی تاریک و ماده به شکل شناخته شده بستگی دارد. پیش از کشف ماده و انرژی تاریک، تصور می‌شد که انبساط عالم ادامه پیدا می‌کند و در نهایت در یک زمانی متوقف می‌شود و دوباه گرانش موجب جمع شدن و انقباض بیشتر جهان شده و یک انفجار بزرگ دوباره رخ خواهد داد. اما با کشف ماده تاریک، این نظریه اصلاح شد. روی دیگر پایان عالم این است که جهان به انبساط خود در زمان نامحدود ادامه می‌دهد و در پایان جهانی بسیار سرد و تاریک حاصل می‌شود.

کتابشناسی

• Greene, B., The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality (2006)/El tejido del cosmos (2010)

• Fierro, J., La Astronomía de México, Lectorum, México, 2001.

• Fierro, J, Montoya, L., La esfera celeste en una pecera, El Correo del Maestro, México, 2000.

• Fierro J, Domínguez, H, Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo, Lectorum, México, 2005.

• Fierro J, Domínguez, H, La luz de las estrellas, Lectorum, El Correo del Maestro, México, 2006.

• Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo, Alfaguara, 2006.

• Thuan, Trinh Xuan, El destino del universo: Despues del big bang (Biblioteca ilustrada) (2012) / The Changing Universe: Big Bang and After (New Horizons) (1993)

• Weinberg, Steven, The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe . Weinberg, Steven y Nestor Miguez, Los tres primeros minutos del universo (2009)

منابع اینترنتی

• The Universe Adventure http://www.universeadventure.org/ or http://www.cpepweb.org

• Ned Wright's Cosmology Tutorial (in English, French and Italian) http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm

تاریخچه ستاره شناسی

جی پاساچوف، ماگدا استیوانچی، مری کی همین وی، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، کالج ویلیام (ماساچوست، آمریکا)
موسسه نجوم آکادمی رومانی (بخارست، رومانی)
دانشگاه تگزاس (آستین، آمریکا)

خلاصه

این بررسی مختصر از تاریخ نجوم، نگرش کلی از ماهیت یکسان ستاره‌شناسی در مناطق مختلف را فراهم می‌کند، همچنین به صورت مختصر حوادث مهم پیشرفت نجوم در اروپای غربی تا زمان اسحاق نیوتن مرور خواهد شد.

اهداف

- مروری در زمینه تاریخ نجوم در نقاط مختلف جهان به عنوان موضوعی که همیشه برای انسان‌ها جذاب بوده‌است.
- فهرستی از تاثیرگذارترین چهره‌ها تا نیوتن، که موجب ایجاد تحولات اساسی در نجوم گردیدند. مانند: تیکو براهه، کوپرنیک، کپلر، گالیله.
- محدودیت در زمان کنفرانس مانع از بیان جامع‌تر تاریخچه‌ی ستاره‌شناسی در زمان برگزاری می‌گردد؛ اما اطلاعات بیشتر را در سایر فصل‌های این کتاب می‌توان یافت.

پیش از تاریخ

مردم در زمان‌های گذشته، در زیر آسمان تاریک شب‌های خود، شاهد حرکت دایره‌وار ستارگان بودند. ستارگان هر شب از شرق طلوع کرده، رفته رفته اوج گرفته و سرانجام در غرب، غروب می‌کردند. امروزه، ما با نگاه به شمال، ستاره‌ای را در آن موقعیت می‌بینیم، که ستاره‌ی شمال یا ستاره‌ی قطبی خوانده می‌شود. این ستاره چندان پرفروغ و درخشان نیست، ۴۸ ستاره‌ی آسمان از آن پرنورتر هستند، اما موقعیت شگفت‌انگیزی که در آن قرار دارد، آن ستاره را برای ما ویژه کرده‌است. در دوران باستان ، ستارگان دیگر با قطب شمال زمین همسو بودند؛ یا گاهی اوقات ، هیچ ستاره ای در مجاورت قطب وجود نداشت.

از زمانی که انسان‌ها به مشاهده‌ی آسمان پرداختند، به مرور متوجه شدند که برخی اجرام پر نور، همراه با ستارگان طلوع وغروب نمی‌کنند؛ صد البته، ماه درخشان‌ترین جرم آسمان شب یکی از آن‌ها بود. ماه هرشب یک ساعت دیرتر طلوع میکرد، در زمینه‌ی ستارگان جابه‌جا می‌شود والبته شکل ظاهری نیز تغییر می‌کرد.

اما برخی از این نورها، به صورت متفاوت در آسمان حرکت می‌کردند. یونانیان، آن‌ها را سرگردان یا سیارات نام نهادند. سایر تمدن‌های روز زمین نیز، بر آن‌ها نام‌هایی نهادند.

برخی از مردم باستان، بناهای تاریخی مانند: دایره‌های ایستاده‌ی استون‌هنج در انگلستان، یا معابدی مانند آن چه در منورکای اسپانیا به سمت صلیب جنوبی جهت گیری دارد (۱۰۰۰ سال پیش از میلاد)، را ساخته‌اند. بابلی‌ها، پدیده‌های نجومی را به خوبی ثبت نمودند، اما یونانی‌ها دانش چگونگی توضیح در مورد آسمان را ساختند.

یونانی‌ها

بیشتر یونانیان باستان از جمله ارسطو (۳۲۲ قبل از میلاد مسیح ۳۸۴ قبل از میلاد مسیح) گمان می‌کردند که زمین در مرکز عالم قرار دارد و جهان از چهار عنصر: زمین، آب، آتش و هوا تشکیل شده‌است و بعد از زمین عنصر پنجمی با نام اتر وجود دارد که منشا نقاط نورانی در آسمان است.

اما چگونه این سرگردان‌ها (سیارات) در میان ستارگان حرکت می‌کنند؟ آن‌ها در جهتی مشابه با ستارگان رفته و همچون آن‌ها در شرق طلوع و در غرب، غروب می‌کنند؛ اما، برخی مواقع، از حرکت بازایستاده، و در جهت خلاف با ستاره‌ها شروع به حرکت می‌کنند. این حرکت که در جهت خلاف حرکت مستقیم بود، حرکت برگشتی یا رجعی نامیده‌شد .

ستاره‌شناس یونانی، بطلمیوس، در قرن دوم میلادی (حدود۹۰-۱۶۰) در شمال آفریقا در شهر اسکندریه مشغول به فعالیت بود. بطلمیوس در تلاش بود که موقعیت سیارات را به کمک روش‌های ریاضی پیش بینی کند. به پیروی از ارسطو، زمین را در مرکز عالم قرار داد. ماه و سیارات را در دایره‌هایی تو در تو که با فاصله از زمین بزرگ تر می‌شوند، قرار داد. اگر سیارات در دایره‌های کوچکی که مرکز آن‌ها حلقه بزرگ‌تر است؛ حرکت کنند، چه رخ خواهد داد؟ سپس، با حرکت برخی از دایره های کوچک ، سرعت حرکت آنها به عقب بیشتر از حرکت مراکز این دایره ها به جلو است. برای ما بر روی زمین به نظر می‌رسد که سیاره در حال حرکت برگشتی است.

وی دایره‌های کوچک را فلک تدویر و دایره‌های بزرگ را فلک حامل نامید. ایده‌ی دایره‌های متحرک بر دایره‌های حامل بیش از هزار سال بر علوم غرب حاکم بود. حرکت از مشاهده به نظریه‌های ریاضی، مرحله‌ی مهمی در پیشرفت علم در دنیای غرب بود.

فرهنگ‌های مختلفی برروی زمین، آسمان را نظاره کرده‌اند و اجرام سماوی را برای خود نام‌گذاری کردند. آن‌ها از این

اطلاعات برای بدست آوردن تقویم، پیش بینی چرخه‌ی فصل‌ها برای کاشت و برداشت محصول، شکار یا برگزاری مراسم‌های مذهبی استفاده می‌کردند. برخی از آن‌ها، مانند یونانی‌ها، از ریاضیات پیشرفته برای پیش بینی حرکت سیارات یا گرفت‌ها استفاده می‌کردند. البته در نظر داشته باشید، آن‌ها به معنای امروزی نظریه‌های علمی نبود. برخی از این مثال‌ها عبارتند از:

آفریقا

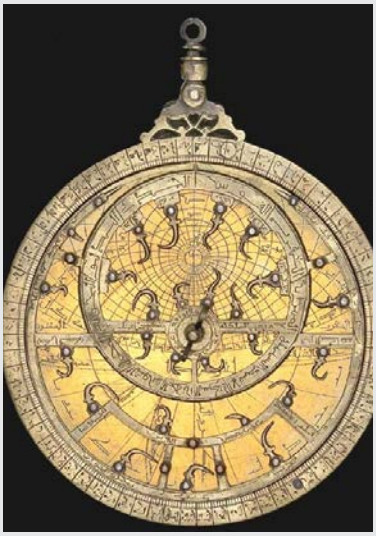
سنگ‌های ایستاده نبتا در بیابان نوبیه با بیش از هزار سال سن، قدمتی بیش از استون‌هنج دارد. مصریان باستان به همان خوبی که از داستان‌های ستارگان برای گسترش اعتقادات دینی استفاده می‌کردند، در ساختن اهرام نیز بهره می‌بردند. سنگ نگاره‌های کنیا، تصویر جدید از احشام را ارائه می‌دهد. افسانه‌های ستارگان از نقاط مختلف آفریقا، منطقه دوگون از مالی، تا غرب آفریقا، اتیوپی تا جنوب آفریقا سرچشمه می‌گیرد.

ستاره‌شناسی اسلامی

بسیاری از پیشرفت‌های ستاره‌شناسی در دنیای اسلام، به ویژه در دوران طلایی آن (قرن ۸ تا ۱۵ میلادی) رخ داد. اکثر نوشته‌های آن دوران به زبان عربی است. این پیشرفت‌ها به صورت عمده در خاورمیانه، آندلس، شمال آفریقا و بعدها در شرق دور و هند رخ داد. نام‌های شاخص بسیاری از ستارگان، همچون الدبران و الطیر، و اصطلاحات نجومی مانند آزیموت، آلیداد (زاویه سنج)، آلموکنتر برگرفته از نام‌گذاری‌های عربی آن‌ها است. اعراب، عددگذاری عربی، شامل صفر، را اختراع نمودند. آن‌ها بسیار علاقمند به یافتن موقعیت جغرافیایی و زمان بودند (برای انجام امورات دینی). آن‌ها اکتشافات خوبی نیز در زمینه نور انجام دادند. بسیاری از آثار یونانی، با ترجمه به عربی، برای آیندگان حفظ شد.

نخستین رصدهای منظم تحت نظر مأمون و با حمایت او صورت گرفت. در بسیاری از رصدخانه‌های خصوصی از دمشق تا بغداد، نصف النهار اندازه‌گیری شد، ویژگی‌های خورشید منتشر شد و مشاهدات مفصلی از خورشید، ماه و سیارات صورت گرفت.

ابزاهای استفاده شده در دوران اسلامی عبارتند از: کره‌ی آسمان، اسطرلاب، ساعت آفتابی، ذات الحلق (اسطرلاب گوی شکل)، زاویه یاب



شکل ۱: اسطرلاب عربی

قاره ی آمریکا

آمریکای شمالی

مردم بومی آمریکای شمالی نیز، صورت‌های فلکی را شناخته و آن‌ها را نام‌گذاری کرده بودند و داستان‌های آسمان نسل به نسل به صورت شفاهی منتقل شد. برخی دست‌سازه‌ها، مانند دایره‌های سنگی و یا ساختمان‌های ترازشده با آسمان، شواهدی از استفاده‌ی آسمان در زندگی روزمره آن‌ها را ارائه می‌دهد.

ستاره شناسی مایان

مایا، تمدنی در آمریکا مرکزی است، که نه تنها به علت زبان مکتوب پیشرفته پیش از دوران کلمبی، بلکه به علت هنر، معماری وسیستم‌های ستاره‌شناسی‌اش نیز مشهور است. این تمدن در دوران پیش از کلاسیک (حدود ۲۰۰۰ قبل از میلاد مسیح تا ۲۵۰ میلاد مسیح) ایجاد شد و به سطح بالایی از پیشرفت در دوران کلاسیک رسید(حدود ۲۵۰ پس از میلاد مسیح تا۹۰۰ پس از میلاد مسیح) که تا دوران پس از کلاسیک و رسیدن اسپانیایی‌ها ادامه داشت. مردم مایان هرگز محو نشدند، نه در دوران افول کلاسیک و نه با رسیدن اسپانیایی‌ها و استعمار آمریکای میانه توسط آن‌ها.

ستاره‌شناسی مایان، به علت تقویم‌های مشهور خود که امروزه به اشتباه از آن‌ها با پیش بینی پایان جهان یاد می‌شود، یکی از شناخته‌شده‌ترین منجمان باستان است. مایان تنها تمدن پیش تلسکوپی است که سحابی شکارچی را به عنوان یک غبار و نه یک نقطه‌ی ستاره‌ای می‌شناخت.

مایاها علاقه زیادی به گذرگاه های زنیت داشتند، زمانی که خورشید مستقیماً از بالای سرش عبور می‌کند. عرض جغرافیایی اکثر شهرهای آنها که در زیر منطقه استوایی سرطان قرار دارند، این گذرگاه های زنیت دو بار در سال به فاصله مساوی از انقلاب می‌رسند.

شکل ۲: ناهید در تمدن مایان، از خورشید نیز مهم‌تر بود. تقویم مایانی، سیستمی از تقویم و سالنامه بود؛ که در تمدن مایایی پیش از دوران کلمبی آمریکای میانه، برخی از جوامع مدرن مایایی در سایر سرزمین‌ها مانند: گواتمالا، مکزیک استفاده می‌شد.

اگرچه تقویم آمریکای میانه با مایان سرچشمه نگرفت، اما آن‌ها، این تقویم را در سطح بالایی توسعه دادند. به همراه آزتک‌ها، تقویم مایان، بهترین مستند است و به صورت کامل فهمیده شده‌است.

ستاره‌شناسی آزتک

آزتک‌ها، یکی از قوم‌های مهم مرکز مکزیک با زبان ناهواتلی بودند که در قرن‌ها ۱۴ تا ۱۶ بر بخش بزرگی از آمریکای مرکزی در دوره‌ی پایانی پیش کلاسیک تسلط داشتند.

فرهنگ و تاریخ آزتک، در ابتدا از طریق یافته‌های باستان‌شناسی در حفریات بناهایی مانند معبد معروف مایور در مکزیکوسیتی و اسناد بسیار دیگری مانند نسخه‌های قدیمی کاغذهای پوست درختان از شاهدان عینی توسط فاتحان اسپانیایی، یا مکتوب شدن فرهنگ و تاریخ آزتکی توسط کشیش اسپانیایی و ادبیات آزتکی به زبان اسپانیایی یا ناهواتلی برجای مانده است.

تقویم آزتکی یا همان سنگ خورشید، نخستین چیزی است که از فرهنگ پیش اسپانیایی در مرکز و آمریکای جنوبی باقی‌مانده‌است. اعتقاد بر این است که حدود ۱۴۷۹ حک شده‌اند. این اثر شامل یک دایره‌ی یکپارچه با چهار دایره‌ی متحدالمرکز است. در مرکز چهره‌ی توناتیو (خدای خورشید) با چاقویی در دهان و پشم تزئین شده‌است. چهار خورشید یا جهان‌های اولیه، در شکل‌های مربع‌گونه، در کنار خورشید پنجم در مرکز قرارگرفته‌اند. بیرون از دایره، ۲۰ ناحیه، که نماینگر ۲۰ روز هر ۱۸ ماه است، وجود دارند. برای تکمیل سال ۳۶۵ روزه‌ی خورشیدی، ۵ روز به عنوان روزهای قربانی درنظر گرفته می‌شد.

به مانند بسیاری از تمدن‌های قدیم، آزتک‌ها نیز برای ستارگان پرنور نام‌هایی انتخاب کرده بودند. مانند: مامالهوتزتلی (کمربند شکارچی)، تینکویزتلی (خوشه ی پروین)، سیتلالتاچتلی (دوپیکر)، سیتلاکولوتا (عقرب). دنباله‌دارها را ستاره‌های دودی می‌نامیدند.

دوره‌های بزرگ در کیهان‌شناسی آزتکی با دوره‌های متفاوت خورشیدی تعیین می‌شود و پایان هر دوره با اتفاقات بزرگی مانند: طوفان، آتش، سیل یا زلزله مشخص می‌شد.

نجوم اینکا

تمدن اینکا، یکی از تمدن‌های پیش کلمبی آند است. آغاز آن در قرن ۱۳ میلادی در پرو بود و به تدریج در امتداد اقیانوس آرام و رشته کوه‌های آند در قسمت‌های غربی و آمریکا جنوبی ادامه یافت. این تمدن در اوج خود، در کلمبیا، آرژانتین، شیلی، سراسر اکوادور، بولیوی و پرو گسترش یافته بود.

اینکاها، پادشاه خود را فرزند خورشید می‌نامیدند. افراد آن مناطق، نواحی یا ابرهای تاریک کهکشان راه شیری را به صورت حیوان می‌پنداشتند و ظهور آن‌ها را با باران‌های فصلی می‌دانستند.

اینکاها از تقویم خورشیدی برای کشاورزی و از تقویم قمری برای تعطیلات مذهبی استفاده می‌کردند. براساس تاریخ فتوحات اسپانیایی‌ها، در شهر کوزو در پرو، بنای عمومی بزرگی با ۱۲ ستون پنج متری وجود داشت که از دوردست پیدا بود. با استفاده از آن، مردم می‌توانستد تاریخ را تعیین کنند آن‌ها دو جشن بزرگ به نام‌های رایمی و کاپاک رایمی همزمان با انقلاب تابستانی و زمستانی برپا می‌داشتند.

آن‌ها صورت فلکی‌های خود را داشتند: یوتو قسمت تاریک کهکشان راه شیری است که ما به نام گونی زغال می‌شناسیم. آن‌ها خوشه‌ی پروین را کولکا می‌نامیدند. آن‌ها ستاره‌های صورت فلکی شلیاق را به صورت مشهورترین حیوان خود، لامای کوچک نقره‌ای یا لاما رنگی می‌نامیدند و مشهورترین ستاره آن، یعنی نسرواقع، را اورکاچیلی می‌نامیدند. علاوه بر آن صورت فلکی‌های دیگری را همچون ماچاسوی (مار)، همپاتو (وزغ)، اتوک (روباه) داشتند.

خارج از شهر کوزو، معبد مهمی متعلق به خدای خورشید

(اینتی) وجود داشت، که از آن خطوطی به صورت شعاعی بیرون آمده و دره را به ۳۲۸ معبد تقسیم کرده بود. هنوز علت این عدد همچنان به صورت رازی کشف نشده است، اما یک توضیحی نجومی مرتبط این می تواند باشد که این عدد، ۱۲ ماه قمری را نشان می دهد و ۳۷ روز باقی مانده تا کامل شدن۳۶۵ روز سال خورشیدی، مربوط به زمانی است که خوشه ی پروین ازاین شهردیده نمی شود.

هند

اولین متنی که در ادبیات مذهبی هند (هزاره دوم پیش از میلاد مسیح) آورده شده است، از هزاره نخست پیش از میلاد و زمانی که شاخه های علوم و یادگیری در شاخه ها و مسیر های مختلفی شروع به گسترش می کنند به یک سنت ثابت در تاریخ هند تبدیل شد.

طی قرن‌ها ستاره‌شناسان هند، جنبه‌های مختلف علم نجوم را مطالعه کردند و با سایر فرهنگ‌ها ارتباط برقرار نمودند. ذات الحلق (اسطرلاب گوی شکل) و اشاره‌گر از ابزارهای پر کاربرد آن‌ها بود.

تقویم هندی، از زمان‌های قدیمی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌است و تغییرات بسیاری را در تحولات منطقه‌ای تحمل کرده‌است، امروزه همراه با تقویم ملی هند، تقویم‌های محلی مختلفی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تقویم هندی، روز با طلوع محلی خورشید آغاز می‌شود.

مسیر حرکت خورشید به ۲۷ ناکشاترا تقسیم شده است؛ که به طور متفاوتی خانه‌های قمری یا صور فلکی نامیده می‌شوند. اینها منعکس کننده چرخه ماه در برابر ستارگان ثابت هستند، ۲۷ روز و ۷۲ ساعت، که بخش کسری با یک ناکشاترا کبیسه ۲۸ ام جبران می‌شود. به نظر می‌رسد که محاسبات ناکشاترا در زمان ریگ ودا (هزاره دوم تا یکم قبل از میلاد) کاملاً شناخته شده باشد.

چینی

چینی‌ها یکی از دقیق‌ترین و پیوسته‌ترین رصدگرهای آسمان قبل از مسلمانان هستند. ثبت جزییات رصد از دوران جنگ‌ها (قرن ۴ پیش از میلاد) آغاز و در دوران هان به اوج رسید.

برخی از ابزارها و اطلاعات نجومی همزمان با گسترش بودا، در دوران سلسله هان(۲۵ تا ۲۲۰ میلادی) از هند به چین وارد شد، اما دقیق ترین ترکیب و حضور تفکر نجوم هندی در دوران سلسله‌ی تانگ(۶۱۸ تا ۹۰۷) رخ داد.

ستاره‌شناسی، با ورود تکنولوژی و نجوم غربی توسط راهبان مسیحی، دوباره در چین زنده شد. تلسکوپ در قرن ۱۷ به آن‌جا وارد شد. برخی از ابزارهایی که توسط چینی‌ها ساخته شده‌اند، عبارتند از: ذات الحلق، کره ی سماوی، قطب نما.

چینی‌ها بیشتر تمرکز خود را معطوف به جنبه‌های رصدی آسمان کرده بودند تا مباحث نظری. با توجه به نوشته‌های جسیتوس، کسی که در قرن ۱۷ از پکن دیدن کرده‌است، چینی‌ها تاریخ کاملی از انفجار ابرنواخترها، گرفت‌ها و دنباله‌دارها را، از ۴۰۰۰ سال پیش از میلاد، در اختیار دارند.

در ۲۳۰۰ پیش از میلاد، آن‌ها نخستین تقویم خورشیدی شناخته شده را توسعه دادند و در ۲۱۰۰ پیش از میلاد مسیح، خورشیدگرفتگی را ثبت نمودند. در سال ۱۲۰۰ پیش از میلاد مسیح لکه‌های خورشیدی را تشریح کردند و آن‌ها را نقاط تاریک در دل خورشید نام نهادند. در ۵۳۲ پیش از میلاد مسیح، شواهد مربوط به ظهور یک ابرنواختر در صورت فلکی عقاب و در سال‌های ۲۴۰ و ۱۶۴ پیش از میلاد مسیح، دنباله‌دار هالی را رصد نمودند. در سال ۱۰۰ پیش از میلاد مسیح، چینی‌ها قطب‌نما را برای تعیین جهت شمال اختراع نمودند.

بعدها، جابه‌جایی اعتدالین به میزان یک درجه در هر ۵۰ سال را کشف نمودند. ابرنواخترهای بیشتری را ثبت کردند و دریافتند که دم دنباله دارها، در جهت خلاف خورشید قرار دارند.

در ۱۰۰۶ میلادی، ابرنواختری ظهور کرد که حتی در روز نیز دیده می‌شد. این درخشان‌ترین ابرنواختر ثبت شده‌است. در سال ۱۰۵۴ ابرنواختر دیگری مشاهده شد؛ که امروزه سحابی خرچنگ حاصل آن است.

آسمان چینی‌ها با غربی‌ها تفاوت داشت. استوای سماوی را به ۲۸ قسمت تقسیم و هر بخش را یک خانه نامیده بودند. آسمان آن‌ها شامل ۲۸۴ صورت فلکی با نام‌هایی مانند: قوری، خرس، سه پایه، کاخ، نیزه و... بود. سال نو چینی همزمان با اولین ماه نو، بعد از برج حمل است.

دانشمند چینی شن خو (۱۰۳۱-۱۰۹۵ میلادی) اگرچه نخستین کسی که سوزن مغناطیسی را در تاریخ تشریح می‌کند نیست؛ اما به خوبی توانست اندازه‌گیری دقیقی بین ستاره‌ی قطبی و شمال واقعی انجام دهد که در دریانوردی نیاز بود. شن خو و وی پو پروژه‌ای برای رصد شبانه تهیه و پنج سال متوالی به رصد آسمان پرداختند، کار عظیمی که با مشاهدات بعدی تیکو براهه رقابت می‌کند. آن‌ها، مکان دقیق سیارات را بر روی نقشه‌ی ستارگان مشخص کردند. برای حرکت سیارات از جمله حرکت بازگشتی، نظریه‌هایی مطرح نمودند.

اروپای غربی

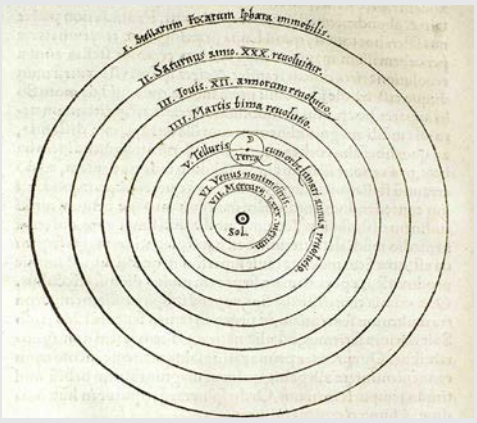
پس از سقوط رم، دانش جمع شده توسط یونانیان به سختی از طریق کار کپی برداری راهبان منتقل می‌شد. (نسخه های خطی برای راهبان مفهومی نداشت.) سرانجام، با ظهور مدارس کلیسای جامع و اولین دانشگاه‌ها، دانشمندان شروع به حل معماهایی کردند که علم ارائه می‌داد. از طریق تجارت (و غارت)، نسخه‌های خطی جدیدی از شرق، طی جنگ‌های صلیبی وارد اروپا شد و تماس با دانشمندان اسلامی (به ویژه در اسپانیا) اجازه داد ترجمه به زبان لاتین انجام شود. برخی از محققان تلاش کردند تا اطلاعات را به ترتیبی که متناسب با دیدگاه مسیحی آن‌ها باشد، استخراج کنند.

نبوغ ریاضی: نیکلاس کوپرنیک هلندی

در ابتدای سال‌های ۱۵۰۰ میلادی، نیکلاس کوپرنیک (۱۴۷۳ ۱۵۴۳ میلادی) نتیجه گرفت که خورشید به جای زمین در مرکز عالم قرار داد. بنابراین حرکت برگشتی سیارات در صورتی که در مدارهایی دایره شکل به دور خورشید بگردند، رخ می‌دهد. حرکت برگشتی در واقع یک خطای دید است که به هنگام عبور سیاره‌ی دیگر رخ می‌دهد. مانند زمانی که شما در ترافیک ایستاده‌اید و به ماشین سمت راست خود نگاه می‌کنید، با اولین حرکت شما، ممکن است احساس کنید که سایر ماشین ها حرکت می‌کنند.

کوپرنیک ایده‌ی خود را با ریاضیدانان به اشتراک گذاشت، اما آن‌ها را منتشر نکرد، تا این که دانشمند جوانی به نام جورج رتیکوس، او را متقاعد به انتشار کرد و هماهنگی‌های لازم برای چاپ آن در شهر دیگری را فراهم آورد. نسخه‌ای از کتاب Revolutionibus Orbium Celestium در سال ۱۵۴۳ زمانی به دست کوپرنیک رسید که او در بستر مرگ بود. او احتمالا هرگز پیش‌گفتار بدون امضا ناشر، که پیشنهاد می‌کرد این کتاب بر اساس محاسبات ریاضی و نه جای واقعی سیارات است، را ندید. به پیروی از ارسطو، از دوایر استفاده کرد و تعدادی فلک تدویر در نظرگرفت. کتاب او از ساختار کتاب بطلمیوس پیروی می‌کرد، اما تحت تاثیر فیثاغورث نیز بود.

کتاب کوپرنیک، احتمالا حاوی مهم‌ترین تصویر تاریخ علم است. او خورشید را در مرکز و سایر دایره‌ها را به دور آن ترسیم کرد. کوپرنیک سرعت حدود سیارات را به دور خورشید، از روی میزان سریع جابه‌جا شدن آن‌ها در آسمان محاسبه کرد. بنابراین سیارات را در مکان و فاصله‌های نسبی صحیح خود قرار داد: تیر، ناهید، زمین، بهرام، برجیس، کیوان. اما محاسبات او در مورد پیش‌بینی موقعیت سیارات، بهتر از روش بطلمیوس نبود.



شکل ۳: نمودار کوپرنیک ابتدا خورشید را در مرکز آنچه اکنون سیستم خورشیدی می‌نامیم نشان می‌دهد. این نمودار از چاپ اول De Revolutionibus Orbium Celestium (در مورد انقلاب‌های گوی‌های آسمانی) است که در سال ۱۵۴۳ منتشر شده‌است.

لئونارد دیگس، کتابی به زبانی انگلیسی در مورد زمین و عالم در انگلستان منتشر کرد. در سال ۱۵۷۶ پسرش، توماس، پیوستی شامل ایده جدید کوپرنیک به کتاب افزود. این پیوست، برای نخستین بار، نمودار کوپرنیک را به زبان انگلیسی نشان می‌دهد (شکل شماره ۴). دیاگس همچنین نشان داد که ستاره‌ها در فاصله‌ی متفاوتی از منظومه شمسی قرار دارند و تنها روی یک فلک قرار نمی‌گیرند.

شکل ۴: نخستین طرح کوپرنیکی به انگلیسی که توماس دیگس در پیوست کتاب A prognostication everlasting که توسط پدرش در سال ۱۵۵۶ چاپ نمود، منتشر کرد. این تصویر شامل یک طرح بطلمیوسی بود. این پیوست نخستین بار در سال ۱۵۷۶ ارائه شد. تصویر بالا مربوط به چاپ سال ۱۵۹۶ است.

نبوغ رصدی: تیکو براهه دانمارکی

نجیب زاده دانمارکی، تیکوبراهه، در جزیره‌ای دور از کپنهاگ ساکن بود. او با استفاده از ثروت خود، در جزیره هون، اقدام به ساخت یک رصدخانه با بهترین ابزارهای آن زمان نمود. او با استفاده از ابزارهای پیش از تلسکوپی خود، دقیق‌ترین رصدها از موقعیت سیارات و ستارگان تا آن زمان را انجام داد.

خانه‌ی تیکو براهه، به عنوان پیشگام دانشگاه‌های امروزی، محل حضور دانشمندان و کار کردن آن‌ها با او بود. او ابزارهای دقیقی برای اندازه‌گیری دقیق موقعیت ستارگان و سیارات ساخت و نتایج را ثبت نمود.

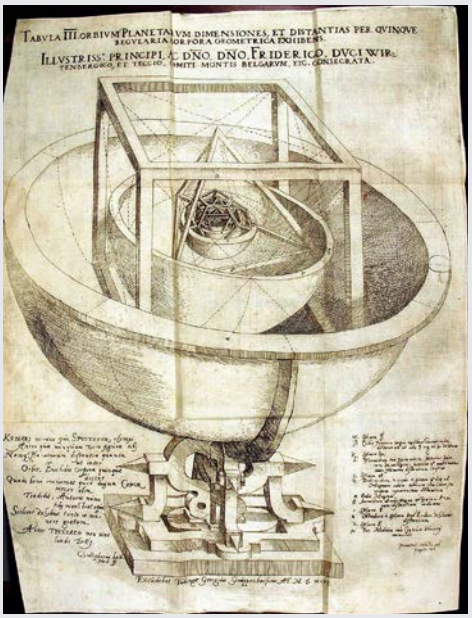
اما تعصب علمی او موجب شد تا برخی از فرمان‌های پادشاه را نادیده بگیرد. با روی کار آمدن شاه و ملکه ی جدید، او مجبور به ترک جزیره شد. او تصمیم گرفت که به پراگ در اروپا مهاجرت کند و صفحات چاپ شده، یادداشت‌ها و ابزارهای قابل حمل را با خود ببرد.

براهه، موفق به ارتقاء دقت در مشاهدات علمی شد. رصدهای دقیق او از یک دنباله‌دار در فواصل مختلف نشان داد که نیازی نیست زمین در مرکز باشد؛ بنابراین او مدل خود از جهان را ساخت، یک مدلی ترکیبی از بطلمیوس و کوپرنیک: خورشید و ماه به دور زمین و سایر سیارات به دور خورشید می‌گردند. تیکو براهه همچنان از فلک‌ها استفاده کرد، اما او اجازه داد که فلک‌ها همدیگر را قطع کنند.

اعتبار تیکو براهه برای ما به علت رصدهای بسیار دقیق او از موقعیت سیاره مریخ در میان ستارگان است. هنگامی که او در پراگ بود، از ریاضیدان جوانی به نام یوهانس کپلر برای همکاری دعوت کرد. کپلر موجب ماندگاری تیکو در یادها شد.

استفاده از ریاضیات: یوهانس کپلر آلمانی

به عنوان یک معلم در گراتز اتریش، یوهانس کپلر جوان، دوران کودکی خود را که توام با دیدن دنباله‌دار و ماه گرفتگی و علاقمند شدن به نجوم بود را به یاد می‌آورد. او دریافت شش سیاره را می‌توان با پنج شکل با اضلاع برابر که تو در تو قرار گرفته‌اند و با کره‌هایی جدا می‌شوند، مطابقت داد. کتاب او با عنوان رازهای کیهان (Mysterium Cosmographicum)، در سال ۱۵۹۶ منتشر شد حاوی یکی از زیباترین تصاویر تاریخ علم است. (شکل شماره ۵) او یک هشت ضلعی، بیست ضلعی، دوازده ضلعی، چهار ضلعی و مکعب را به ترتیب با هشت، دوازده، بیست، چهار و شش ضلعی تو در تو قرار داد تا فاصله سیارات شناخته شده در آن زمان را نشان دهد. این نمودار بسیار زیباست؛ اما کاملا اشتباه است.



شکل ۵: نمودار آرایش کپلر از Mysterium Cosmographicum (رمز و راز کیهان) ، منتشر شده در ۱۵۹۶.

تفکر او در مورد چینش هندسی منظومه شمسی در دهه بعد، با ترتیب سیارات مطابق با دو قانون اول از سه قانون حرکت سیاره، جایگزین شد؛ سیستمی که ما تا به امروز معتبر نگه داشته‌ایم.

مهارت ریاضی کپلر موجب آشنایی او با براهه را فراهم آورد. در سال ۱۶۰۰، او به عنوان یکی از دستیاران براهه مشغول به کار شد و با استفاده از داده‌های او، اقدام به محاسبات نمود. سپس براهه به یک مهمانی رسمی دعوت شد و بیش از حد نوشید. چنان که در روایت آمده، آداب معاشرات مانع از آن می‌شود که میز را ترک کند و مثانه ی او آسیب می‌بیند. او مرگ سریع و دلخراشی داشت که در گزارش های روزانه به دقت آمده‌است.

اما کپلر به اطلاعات به سرعت دست نیافت. اطلاعات، یکی از معدود موارد ارزشمندی بود که فرزندان تیکو به ارث می‌بردند، چون تیکو با یک شخص عادی ازدواج کرده بود و اجازه نداشت اموال غیر منقولش را وصیت کند. اما سرانجام کپلر به اطلاعات مریخ تیکو دسترسی پیدا کرد و سعی کرد با محاسبات آن‌ها را بهینه کند. برای این منظور او حتی جدول لگارتیمی خاص خود را بدست آورد.

داده‌های دریافتی کپلر، یادداشت‌های تیکو از جابه‌جایی مریخ در زمینه ستارگان آسمان بود. او تلاش کرد تا موقعیت واقعی پیرامون خورشید را محاسبه کند. برای مدت زمان زیادی او تلاش کرد تا مدار را دایره‌ای شکل یا تخم مرغ شکل در نظر بگیرد، اما با مشاهدات انطباق نداشت. در نهایت او مدار را بیضوی در نظر گرفت و این گونه، همه چیز منطبق شد. این یکی

از دستارودهای مهم تاریخ نجوم است؛ او در ابتدا برای مریخ و سپس برای سایر سیارات، آن را اعمال کرد. امروزه ما آن را برای بسیاری از سیارات فراخورشیدی نیز به کار می‌بریم.

کتاب کپلر با عنوان ستاره شناسی جدید (Astronomia Nova)، در سال ۱۶۰۹، شامل دو قانون از سه قانون اولیه بود:

قانون اول کپلر: سیارات در مدارهایی بیضوی به دور خورشید می‌گردند و خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار داد.

قانون دوم کپلر: در زمان‌های برابر، بردار شعاعی خورشید تا سیاره، مساحت یکسانی را جاروب می‌کند.

بیضی، یک منحنی بسته با دو مرکز به نام کانون است. برای رسم بیضی، می‌توان دو نقطه بر روی کاغذ به عنوان کانون‌ها رسم کرد. سپس یک نخ، که طولانی‌تر از فاصله ی دو کانون است، انتخاب کنید و دو سر آن را روی کانون‌ها قرار دهید و پس از آن یک مداد در رشته قرار دهید و از یک سمت به سمت دیگر حرکت کنید تا یک بیضی بدست آید. این آزمایش با نخ، یکی از تعریف‌های مهم بیضی را نشان می‌دهد که جمع فاصله‌ی یک نقطه تا هر مرکز ثابت است. دایره، بیضی خاصی است که دو کانون آن روی هم قرار دارد.

کپلر به جستجوهای خود برای کشف حرکات هماهنگ سیارات ادامه داد. او سرعت سیارات را با نت‌های موسیقی مرتبط دانست و بالاترین نت‌ها را به سیارات با سرعت بیشتر، یعنی تیر و ناهید، نسبت داد. او در سال ۱۶۱۹ کتاب خود را با عنوان هارمونی عالم (Harmonices Mundi) منتشر کرد. وی در این کتاب نه تنها مطالعات موسیقی خود را منتشر کرد؛ بلکه قانون سوم خود در مورد حرکت سیارات را نیز منتشر نمود:

قانون سوم حرکت سیارات کپلر: مربع دوره‌ی چرخش سیاره پیرامون خورشید، برابر با مکعب فاصله مداری آن است.

شکل.۶: از کتاب هارمونی عالم کپلر، منتشر شده در سال ۱۶۱۹.

ستاره‌شناسان تمایل دارند که فاصله سیارات تا خورشید را برحسب واحد نجومی، که در رابطه با میانگین فاصله‌ی زمین تا خورشید برابر با ۱۵۰ میلیون کیلومتراست، بدست آورند.

Mercury	۰,۳۸۷ AU	۰,۲٤۰ year
Venus	۰,۷۲۳ AU	۰,٦۱۵ year
Earth	۱ AU	۱ year
Mars	۱,۵۲۳ AU	۱,۸۸۱ years
Jupiter	۵,۲۰۳ AU	۱۱,۸۵۷ years
Saturn	۹,۵۳۷ AU	۲۹,٤۲٤ years

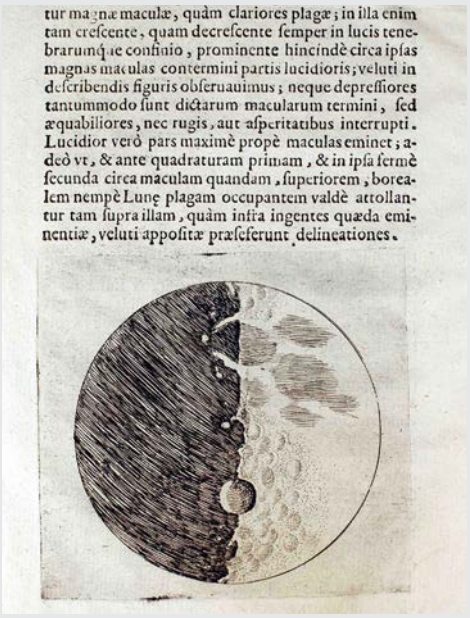
جدول: ستون اول را مربع و ستون دوم را مکعب کنید. شما میبینید که تقریبا با هم برابر خواهند بود؛ تفاوتی کمی که مشاهده می‌شود، ناشی از تقریب است و نه دنیای واقعی.

جستجوهای تلسکوپی: گالیله از ایتالیا

سال ۲۰۰۹ به پاس اولین استفاده از تلسکوپ توسط گالیله، ۴۰۰ سال پیش، توسط یونسکو اتحادیه بین المللی ستاره‌شناسی به عنوان سال جهانی نجوم انتخاب شد.

گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲) پروفسوری در پداوا، بخشی از جمهوری ونیز، بود. او خبرهایی مبنی بر اختراع یک هلندی، که می‌تواند اجرام دور دست را نزدیک‌تر نشان دهد، شنید. با اینکه او هیچ‌گاه این اختراع را ندید، اما خود از عدسی‌هایی استفاده کرد و با در کنار هم قرار دادن آن‌ها، یک دوربین ساخت. او ابزار خود را به نجیب‌زادگان، تاجران و نظامی‌های ونیز نشان داد، این ابزار کمک می‌کرد تا کشتی‌های دور دست را نزدیک ببینند. اختراع او، موفقیت بزرگی بود.

شکل ۷ الف: یکی از دو تلسکوپ کامل به جا مانده از گالیله در سال ۲۰۰۹ برای اولین بار به ایالات متحده امریکا، موسسه فرانکلین فیلادلفیا منتقل شد. توجه کنید که قسمت خارجی لنز با یک حلقه مقوایی پوشانده شده است. گالیله این کار را برای دستیابی به تصاویر با کیفیت بیشتر انجام می داد. (عکس از Jay M. Pasachoff).


tur magnæ maculæ, quàm clariores plagæ; in illa enim tam crescente, quam decrescente semper in lucis tenebrarumque confinio, prominente hinc indè circa ipsas magnas maculas contermini partis lucidioris; veluti in describendis figuris obseruauimus; neque depressiores tantummodo sunt dictarum macularum termini, sed æquabiliores, nec rugis, aut asperitatibus interrupti. Lucidior verò pars maximè propè maculas eminet; adeò vt, & ante quadraturam primam, & in ipsa fermè secunda circa maculam quandam, superiorem, boream nempè Lunæ plagam occupantem valdè attollantur tam supra illam, quàm infra ingentes quædam eminentiæ, veluti appositæ præseferunt delineationes.

شکل ۷ ب: تصویری از کتاب Sidereus Nuncius (پیام رسان ستاره ای گالیله) که در سال ۱۶۱۰ منتشر شد طرحی از ماه که توسط گالیله ترسیم شده است را نشان می دهد. این کتاب به زبان لاتین، زبان دانشمندان اروپایی نوشته شده است و شامل بررسی گسترده ای از حرکات نسبی چهارقمر اصلی مشتری بوده است.

سپس او تلسکوپ را برای مشاهده‌ی آسمان به کار برد. استفاده از آن تلسکوپ سخت بود و میدان دید کوچکی داشت، با این حال گالیله موفق شد که بخش هایی از ماه را رصد کند و از عوارض سطحی آن آگاه شود. به علت آموخته‌های خود در نقاشی، متوجه شد که آن ارتفاع‌ها وسایه‌ها در واقع کوه‌ها و دهانه‌های ماه هستند. به کمک طول سایه وتغییرات آن‌ها با تابش خورشید، او توانست ارتفاع آن‌ها را محاسبه کند. چند ماه زودتر، مردی انگلیسی به نام توماس هاریوت به صورت مشابه تلسکوپ را به سمت ماه گرفت، اما طرح‌های او بسیار محو بود؛ اما هاریوت علاقه ای به انتشار آثار خود نداشت و کارهای او، بعد از مرگش شناخته شدند.

نخستین عدسی که گالیله برای اکتشافات خود استفاده کرد به همراه دو تلسکوپ دست‌ساز او، در موزه تاریخ علم فلورانس نگهداری می‌شود.

گالیله در اواخر ۱۶۰۹ شروع به نوشتن کرد. او نه تنها دهانه و کوه‌های ماه را رصد کرد، بلکه کهکشان راه شیری را سرشار از ستارگان یافت. همچنین در ژانویه ۱۶۱۰ او چهار ستاره در نزدیکی مشتری یافت که موقعیت آن‌ها هر شب تغییر می‌کند. آن‌ها در واقع قمرهای بزرگ مشتری بودند که امروزه با نام قمرهای گالیله‌ای شناخته می‌شوند. او کشفیات خود را در کتابی با نام مسافر ستارگان (Sidereus Nuncius) در سال ۱۶۱۰ منتشر نمود. از زمان ارسطو و بطلمیوس، فرض بر این بود که زمین در مرکز عالم قرار دارد و ارسطو معصوم است. اما کشف قمرهای مشتری نشان داد که ارسطو نیز خالی از اشتباه نیست و ضربه‌ای محکم به نظریه زمین مرکزی و دلیل محکمی برای اثبات نظریه کوپرنیک بود.

گالیله تلاش کرد که نام قمرها را به نام حامی خود نام‌گذاری کند. اما آن نام‌ها باقی نماند. چند سال بعد، سیمون ماریوس، نام‌های امروزی را پیشنهاد کرد. (احتمال دارد ماریوس پیش از گالیله قمرها را رصد کرده اما دیرتر مشاهدات خود را منتشر کرده باشد.) از چپ به راست: یو، اروپا، گانیمید و کالیستو. به کمک یک تلسکوپ کوچک آماتوری می‌توان این قمرها را رصد و تغییرات آن‌ها مشاهده نمود. این قمرها در دوره‌های چند روزه به گرد مشتری می چرخند.

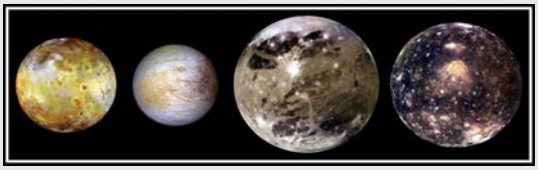
ستاره‌شناسان حتی به کمک یک تلسکوپ بزرگ زمینی، نمی‌توانند تصویر واضحی از سطح قمرهای گالیله‌ای بدست آورند. تنها با عبور ماهواره‌های پایونر۱۰ و۱۱، و بعدها ویجر۱ و۲ ناسا، از نزدیکی مشتری اطلاعات کافی از قمرها و ویژگی‌های سطحی آن‌ها دریافت شد. مشاهده‌ی مشتری به کمک تلسکوپ‌های زمینی و فضایی همچنان ادامه دارد و تعدادی قمر کوچک و محو دیگر نیز برای مشتری کشف شده‌است.

گالیله در تلاش برای یافتن شغلی با درآمد بیشتر به کمک اکتشافات خود در فلورانس بود. اما متاسفانه فلورانس به مقام پاپ در رم نزدیک تر بود و به عنوان بانکدار پاپ عمل می‌کردو از ازادی کمتری نسبت به جمهوری ونیز برخودار بود. گالیله به نوشتن در زمینه های مختلف مثل لکه های خورشیدریال دنباله دارها، اجرام شناور و... ادامه داد. برخی از کارهای او برخلاف دیدگاه های ارسطو بود.او دریافت که ناهید دارای اهله است و این نشان می‌داد که ناهید به دور خورشید می‌چرخد. اما این حرکت زمین به دور خورشید را اثبات نمی کرد، با وجود این که مدل ترکیبی تیکو می‌توانست فازهای ناهید را توضیح دهد.، اما گالیله دریافت که این مشاهده دیدگاه کوپرنیک را تایید می‌کند.

در ۱۶۱۶، دفتر کلیسا در رم مانع تدریس نظریه کوپرنیک مبنی بر خورشید مرکزی بودن عالم شد. او برای مدت زیادی در سکوت به ادامه کارهای خود پرداخت تا اینکه در سال ۱۶۳۲ کتاب Dialogo را منتشر کرد. در این کتاب سه مبحث مهم پیرامون زمین مرکزی و خورشید مرکزی مورد بحث قرار گرفته بود. اگرچه این کتاب دارای مجوز انتشار بود، اما او بعدها توسط کلیسا محاکمه و به بازداشت خانگی محکوم

شد و تا پایان عمر در خانه به سر برد.

شکل۸: در سال ۲۰۰۹، برای بزرگداشت ۴۰۰ سالگی اولین استفاده گالیله از تلسکوپ در آسمان‌ها ، یک پلاک بر روی ستونی در بالای برج Campanile، این برج در قرن ۱۵ احداث شد (که در اوایل قرن ۲۰ پس از فروپاشی در سال ۱۹۰۲ بازسازی شد)، در ونیز قرار گرفت. در این جا بزرگداشت مربوط به نمایش تلسکوپ گالیله به نجیب زادگان ونیز با مشاهده کشتی‌های نسبتاً دور از دریا است. این قبل از آن بود که او تلسکوپ خود را به سمت بالا بچرخاند. نوشته های روی پلاک را می‌توان تقریباً به این صورت ترجمه کرد: "گالیله گالیله ، با اسپایگلاس خود، ۴۰۰ سال پیش، افق دید انسان را بزرگتر کرد." (عکس: جی م. پاساخوف)



شکل۹: خود گالیله از دیدن آنچه فضاپیمای نامدار وی و پیشینیان آن از «ماهواره های طبیب»، که در سال ۱۶۰۹ کشف کرد نشان داد ، شگفت زده شد. در اینجا آن‌ها در تصاویر در مقیاس نسبی واقعی خود نشان می‌دهند. از چپ به راست، Io را می‌بینیم که تازه با دو ده آتشفشان که به طور مداوم در حال فوران هستند دوباره ظاهر شده‌است. دومین اروپا است، مظنون اصلی یافتن حیات فرازمینی به دلیل اقیانوس زیر لایه یخی صاف است که می‌بینیم. سومین گانیمد است، بزرگ‌ترین ماه در منظومه شمسی است که به ویژه یک قسمت شیاردار و جذاب از سطح آن را نشان می‌دهد و در سمت راست کالیستو قرار دارد ، دورتر از سایرین و پوشیده از یخ سخت که جای زخم ناشی از همپوشانی حملات شهاب سنگ را که طی میلیاردها سال اتفاق افتاده است، حفظ می‌کند. (عکس: ناسا ، مأموریت گالیله، PIA01400)

فیزیک جدید: ایزاک نیوتن

بسیاری عقیده دارند که ایزاک نیوتن، جیمز ماکسول و آلبرت انیشتین سه فیزیکدان برتر هستند. نیوتن قانون گرانش، ماکسول متحد کردن الکتریسته و مغناطیس و انیشتین نسبیت عام را کشف نمودند.

براساس یک داستان مشهور، ایزاک نیوتن (۱۷۲۷-۱۶۴۲)، با بسته شدن دانشگاه‌ها از دانشگاه کمبریج به خانه بازگشت. هنگامی که افتادن سیب از درخت را مشاهده کرد، دریافت که نیرویی به آن وارد شده‌است، همان نیرویی که حرکت ماه را کنترل می‌کند.

سرانجام نیوتن به کمبریج بازگشت. هنگامی که گروهی از دانشمندان در کافه ای در لندن به دور هم جمع شده بودند تا انجمنی را تشکیل دهند(انجمن سلطنتی امروزه)، ادموند هالی جوان برای بررسی یافته های نیوتن راهی کمبریج شد.

هالی از نیوتن پرسید: اگر مقدار نیرو با مربع فاصله کاهش پیدا کند، مدارها به چه شکلی خواهند بود؟ نیوتن پاسخ داد: به شکل بیضی. هالی هیجان زده شد و از نیوتن پرسید آیا اثباتی برای موضوع داری؟ نیوتن گفت: بله، در نوشته هایم هست، اما آن ها را پیدا نمی کنم. نیوتن قول داد که دوباره آن ها را انجام دهد. پس از آن نیوتن بازگشت و محاسبات خود را از سر گرفت و چندسال بعد نتایج آن را در مشهورترین کتاب خود با عنوان " اصولِ ریاضیِ فلسفه ی طبیعی" منتشر کرد. فلسفه در آن زمان معادل علم امروز است.

کتاب اصول نیوتن در سال ۱۶۸۷، با هزینه ی ادموند هالی، در زمانی که او معلم کالج بود به زبان لاتین منتشر شد. در این کتاب نیوتن نشان داد که گرانش با مربع فاصله کاهش می یابد؛ که در واقع اثبات وی بر قوانین کپلر است. همچنین کتاب اصول شامل قوانین حرکت نیوتن نیز است.

قوانین نیوتن عبارتند از:

قانون اول حرکت نیوتن: یک جسم در حال حرکت به حرکت خود ادامه می‌دهد و یک جسم ایستا، همچنان ایستا خواهد بود.

قانون دوم حرکت نیوتن: نیرو برابر است با حاصلضرب جرم در شتاب آن.

قانون سوم حرکت نیوتن: هر عملی، عکس العملی برابر اما در خلاف جهت دارد.

نیوتن پایه ی ریاضیات فیزیک نوین را بنا نهاد.

مطالعات نجومی ادامه دارد

به مانند انسان‌های قدیمی، که به دنبال یافتن رازهای آسمان و مکان ما در عالم بودند، منجمان امروزه با همان کنجکاوی به دنبال یافتن رازهای آسمان هستند. کاوش‌های نظری و رصدی فهم ما از جایگاه مان در عالم، از دیدگاه زمین مرکزی به دیدگاه خورشید مرکزی کوپرنیکی تغییر داد و دریافتیم که خورشید در مرکز کهکشان نیست.

نجوم معاصر به دنبال کشف ماهیت ماده وانرژی تاریک

است. نظریه نسبیت انیشتین نشان داد که نه تنها کهکشان ما در مرکز عالم قرار ندارد، بلکه مفهوم مرکز بی معنا است. کشف صدها فراخورشیدی که به دور ستارگان دیگر در حال چرخش هستند نشان داد که منظومه‌ی ما چقدر غیرعادی است.

نظریه‌های شکل‌گیری جدید سیارات، به موازت مشاهدات سیستم‌های سیاره‌ای جدید است. مسیر کاوش در دنیای مدرن، همچون هزاران سال پیش ادامه دارد.

منابع

• Hoskin, M. (editor), Cambridge Illustrated History of Astronomy, Cambridge University Press, 1997.

• Pasachoff, J and Filippenko A, The Cosmos: Astronomy in the New Mellennium, 4th ed., Cambridge University Press 2012.

منابع اینترنت

• www.solarcorona.com

• http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html

• http://www2.astronomicalheritage.net

منظومه شمسی و سیارات فرا خورشیدی

ماگدا استیوانچی، بئاتریس گارسیا، آندرا سوسا
موسسه نجوم آکادمی رومانی(بخارست، رومانی)
موسسه ITeDA آرژانتین، مندوزا
دانشگاه ملی پاراگوئه

خلاصه

بدون شک در کیهان که مجموعه‌ای گسترده از ستاره‌ها، منظومه‌های خورشیدی، سیارات و سیارات فراخورشیدی است، منظومه شمسی شناخته شده ترین منظومه است. می‌توان گمان کرد که همه می‌دانند خورشید چیست و سیارات، دنباله دارها و سیارک‌ها را می‌شناسند. اما آیا واقعا این گونه است؟ اگر بخواهیم منظومه ی شمسی را از دیدگاه علمی بشناسیم، در ابتدا می‌بایست قوانین تعریف یک منظومه را بدانیم.

اجرام در منظومه ی شمسی ، براساس تصویب اتحادیه بین المللی ستاره شناسی در ۲۴ آگوست ۲۰۰۶ به صورت زیر دسته بندی می‌شوند:

- سیارات
- قمرهای طبیعی سیارات
- سیارات کوتوله
- سایر اجرام کوچک: سیارک‌ها، شهاب‌ها، دنباله‌دارها، گردوغبار، اجرام کمربند کوییپرو... .

– به صورت گسترده، هرستاره ای که پیرامون آن اجرام آسمانی قرار دارد و از قوانینی، مشابه با قوانین منظومه شمسی، پیروی می‌کند، به عنوان منظومه فراخورشیدی شناخته می‌شود. یکی از سوالاتی که پیش روی ما قرار می‌گیرد این است که جایگاه منظومه شمسی در کیهان چیست؟ اما تنها همین یک سوال وجود ندارد. در این بخش تلاش خواهیم کرد تا ویژگی‌های منظومه ی شمسی و سایر منظومه‌ها را معرفی نماییم.

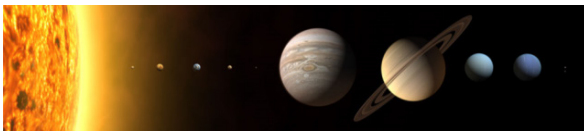
اهداف

- پی بردن به جایگاه خورشید در کیهان.
- پی بردن به این‌که چه اجرامی منظومه شمسی را می‌سازند.
- پی بردن به جزییات اجرام متفاوت منظومه شمسی، به ویژه اجرام بارز.

منظومه شمسی

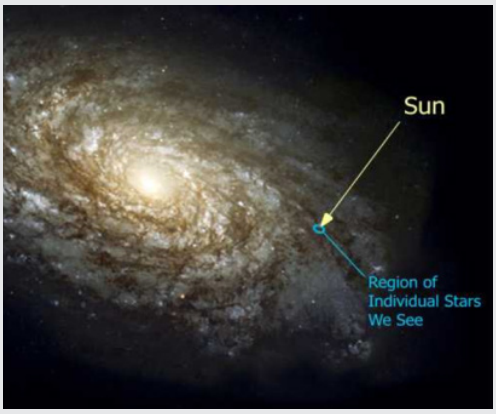
یک منظومه توسط مجموعه ای از عناصر (اصول، قوانین، نیروها و..) که براساس یک سری از اصول یا قوانین با هم برهمکنش دارند، تعریف می‌شود.

منظومه ی شمسی به صورت مجموعه ای متشکل از یک ستاره‌ی مرکزی به نام خورشید، به همراه سایر اجرام که توسط نیروی گرانش به دور آن قرار گرفته اند، تعریف می‌شود.



شکل ۱: اجزای اصلی منظومه شمسی براساس مقیاس اندازه

منظومه ی شمسی در یکی از بازوهای خارجی کهکشان راه شیری به نام بازوی شکارچی قرار دارد. در این ناحیه چگالی ستاره ای نسبتا کم است.



شکل۲: محل منظومه شمسی در کهکشان (این تصویر شبیه سازی است)

خورشید به همراه منظومه شمسی، به دور مرکز کهکشان راه شیری که در فاصله ی ۲۵،۰۰۰ تا ۲۸،۰۰۰ سال نوری(تقریبا نیمی از شعاع کهکشان) قرار دارد، در حال چرخش است. مدت زمان لازم برای این چرخش که در یک مدار دایره‌ای شکل با سرعت ۲۲۰ کیلومتر بر ثانیه به سمت موقعیت فعلی ستاره ی نسرواقع (وگا) صورت می‌گیرد، ۲۲۵ تا ۲۵۰ میلیون سال است. (سال کهکشانی منظومه شمسی).

کهکشان ما با قطری در حدود ۱۰۰،۰۰۰ سال نوری، از بیش از ۲۰۰ میلیارد ستاره به همراه سیاراتشان و بیش از ۱۰۰۰ سحابی تشکیل شده است. جرم کل آن‌ها، به صورت تقریبی ۱۰۰۰ میلیارد بیشتر از جرم خورشید است.

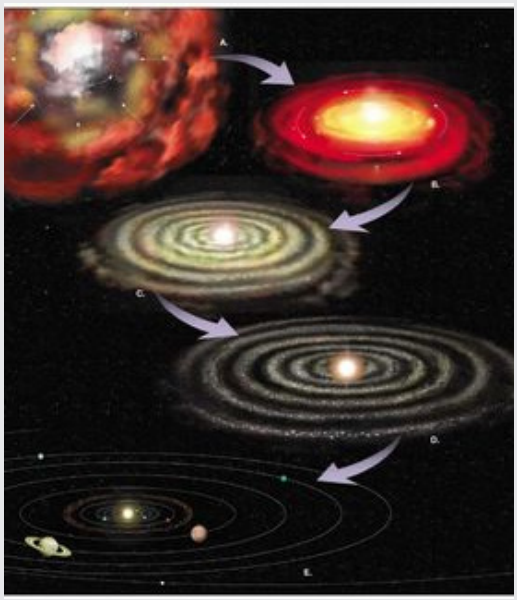
نزدیک ترین منظومه به منظومه شمسی منظومه ی آلفا-قنطورس است. (پرنورترین ستاره ی صورت فلکی قنطورس، متشکل از سه ستاره، یک ستاره ی دوتایی(آلفا قنطورس A و B) مشابه خورشید، که در فاصله ی ۰،۲ سال نوری به دور کوتوله ی قرمز کم نوری، که آلفا قنطورس C، نامیده می‌شود، در حال

چرخش هستند. این کوتوله با نام پروکسیما قنطورس، در فاصله ی ۴٫۲۵ سال نوری، نزدیک ترین ستاره به خورشید است.)

کهکشان ما، بخشی از گروه کهکشانی با نام گروه محلی است. گروه محلی از سه کهکشان بزرگ و ۳۰ کهکشان کوچک تر تشکیل شده است. کهکشان ما شکلی مارپیچی و بسته دارد. بازوهای مارپیچی از انتهای میله خارج شده و از مجموعه ای از ستاره‌ها تشکیل شده اند، میان سایر اجرام، ماده‌ی میان ستاره‌ای، سحابی و ستارگان جوانی وجود دارند که به صورت پیوسته در حال تشکیل هستند.مرکز کهکشان شامل مجموعه ای از ستارگان پیر در گروه‌های کروی شکل است. در کهکشان ما حدود ۲۰۰ گروه از این نوع وجود دارد که تا کنون ۱۵۰ عدد از آن‌ها شناسایی شده اند. این گروه‌ها به صورت عمده پیرامون مرکز کهکشان متمرکز هستند. منظومه شمسی در حدود ۲۰ سال نوری بالاتر از صفحه ی استوایی کهکشان و در فاصله ۲۸،۰۰۰ سال نوری از مرکز کهکشان قرار دارد. مرکز کهکشان راه شیری در امتداد صورت فلکی قوس و در فاصله ی ۲۵،۰۰۰ تا ۲۸،۰۰۰ سال نوری از خورشید قرار دارد.

پیدایش و سیرتکامل منظومه ی شمسی

براساس نظریه استاندارد، منظومه شمسی ۴٫۶ میلیارد سال پیش بر اثر برهم کنش‌های گرانشی بین گاز میان ستاره‌ای و ابر غبار شکل گرفت. فروپاشی ابر، بر اثر یک اختلال شدید (احتمالا ناشی از یک ابرنواختر)، که در نتیجه نیروی گرانش بر فشار غلبه نمود، آغاز شد.



شکل۳: طرحی از شکل گیری منظومه شمسی با توجه به نظریه استاندارد، براساس فرضیه سحابی که نخستین بار توسط کانت و لاپلَس در قرن۱۷ پیشنهاد شد.

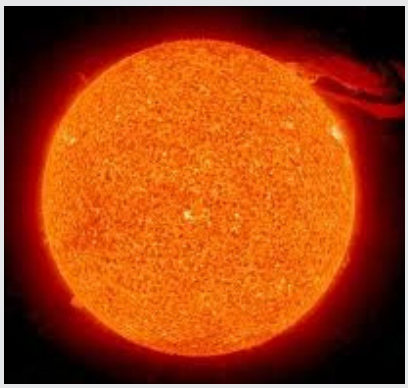
پایستگی اندازه حرکت زاویه ای موجب شد که سحابی سریع و سریع تر چرخیده و در مرکز آن پیش ستاره و در پیرامون آن دیسک‌های گاز و غبار پیش سیارات شکل بگیرند. در دیسک پیش سیاره ای، خرده سیاره‌های کوچک به خورده، طی فرایند جمع شدن، سیاره را شکل داد.(؟)

فرضیه سحابی اولیه، در سال ۱۷۵۵ توسط امانوئل کانت و به صورت جداگانه توسط پیرسایمون لاپلَس پیشنهاد شد.

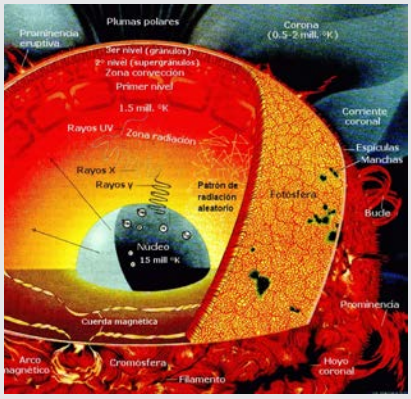
نظریه استاندارد (بر پایه فرضیه پیشنهادی توسط کانت و لاپلَس) پیش سیاره و مدار شبه دایره ای را توصیف می‌کند و با مشاهدات حاصل از چندین سیستم سیاره‌ای پیرامون ستاره‌های دیگر نیز انطباق دارد.

خورشید ستاره‌ای با جرم متوسط و عمری نزدیک به ۴٫۶ میلیارد سال است. هم اکنون خورشید در میانه‌ی چرخه‌ی تکامل خود قرار دارد؛ یعنی در هسته‌ی آن بر اثر فرایند هم جوشی هسته‌ای، هیدورژن به هلیوم تبدیل می‌شود. در هر ثانیه، در هسته‌ی خورشید، بیش از ۴ میلیون تن ماده به عناصر سنگین‌تر و انرژی، نه تنها هلیوم، هم چنین نوترینو و امواج الکترومغناطیس تبدیل می‌شود.

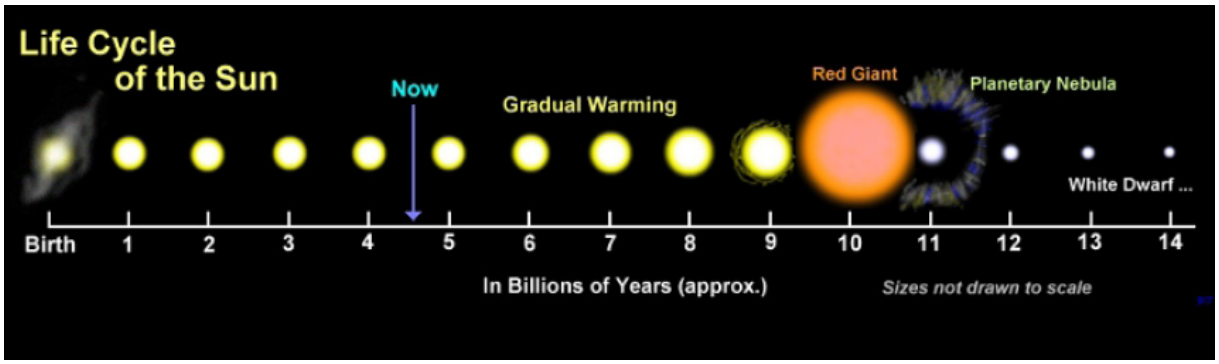
خورشید به صورت عمده از هیدورژن(۷۴٪)، هلیوم (۲۵٪) و به مقدار اندکی عناصر سنگین تشکیل شده است.



شکل۳: خورشید در بخش فروسرخ



شکل ۴: ساختار داخلی خورشید

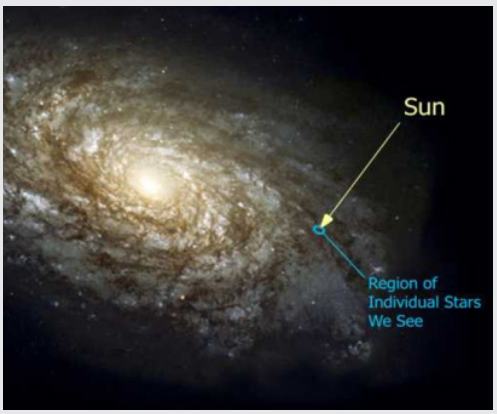


شکل ۵. چرخه ی زندگی خورشید از پیش ستاره تا کوتوله سفید.

چرخه‌ی زندگی خورشید

سیارات

برای دسته بندی سیارات، ما از تعریفی که توسط ۲۶ امین مجمع عمومی اتحادیه بین المللی ستاره شناسی در سال ۲۰۰۶ که در پاراگوئه ارائه شد، استفاده می‌کنیم.



شکل۶: اجرام منظومه شمسی
(مقیاس در عکس رعایت نشده است)

در منظومه شمسی، سیاره ، جرم آسمانی است که ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

۱.در یک مدار به دور خورشید بچرخد.

۲.دارای جرم کافی برای برقراری تعادل هیدرواستاتیک و تقریبا شکلی گرد داشته باشند.

۳. اجرام همسایه موجود در مدار را پاکسازی کرده باشد.

اجرام غیر قمری که تنها دو ویژگی اول را داشته باشند به عنوان سیارات کوتوله دسته بندی می‌شوند.

براساس تعریف اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، سیارات و سیارات کوتوله دو نوع متفاوت از اجرام می‌باشند. اجرام غیرقمری که تنها اولین ویژگی را داشته باشند، به عنوان اجرام کوچک منظومه شمسی شناخته می‌شوند، مانند: سیارک‌ها.

در پروژه‌های ابتدایی باز آرایی منظومه شمسی، سیارات کوتوله به عنوان زیرمجموعه ی سیارات در نظر گرفته شد، اما به دلیل اینکه باعث افزودن ده‌ها سیاره ی جدید به منظومه می‌شد، این پروژه کنار گذاشته شد. در سال ۲۰۰۶، سه سیاره کوتوله(سرس، آیریس، ماکه ماکه) و پلوتو در فهرست سیارات کوتوله افزوده شدند.بنابراین در سال ۲۰۰۶ منظومه شمسی صاحب پنج سیاره کوتوله: سرس، پلوتو، ماکه ماکه، آیریس و هیوما بود. بعد از گذشت چند سال، تعداد اجرام جدیدی به این فهرست افزوده شده‌اند.

تعریف مطرح شده برای سیارات و اجرام کوچک، در خارج از منظومه شمسی، جایی که اجرام کوچک را با تکنولوژی فعلی نمی‌توان شناسایی کرد، کاربرد ندارد. سیارات فراخورشیدی با توجه به راهبرد پروژه تکمیلی تعریف سیارات در سال ۲۰۰۳ که باعث تشخیص آن‌ها از ستاره‌های کوتوله که بزرگ تر و پرجرم تر هستند، شد.

هشت سیاره منظومه شمسی را به صورت‌های زیر می‌توان دسته‌بندی کرد:

چهار سیاره‌ی زمین مانند در ناحیه‌ی داخلی منظومه شمسی (تیر، ناهید، زمین و بهرام).

- سنگی با چگالی تقریب ۴ تا ۵ گرم بر سانتی مترمکعب .

۴ سیاره‌ی غول پیکر در قسمت بیرونی منظومه شمسی، که به صورت زیرتقسیم بندی می‌شوند.

غول‌های گازی: مشتری و کیوان. به صورت عمده از هیدوژن و هلیوم و ترکیباتی شمیایی مشابه خورشید.

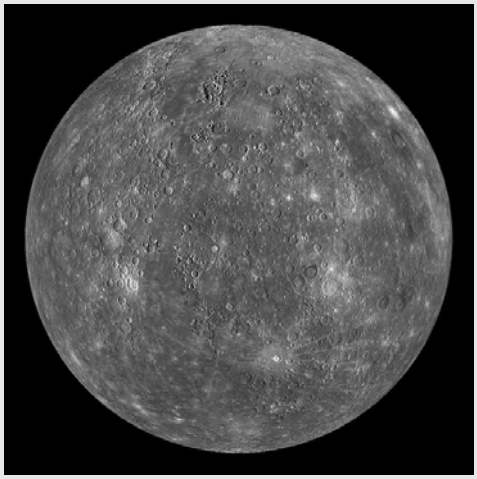
غول‌های یخی: اورانوس و نپتون. یخ تشکیل شده از گازهای غالب. ترکیب شمیایی متفاوت با خورشید.

سیارات غول پیکربسیار سبک تراز سیارات زمین مانند بوده. چگالی آن‌ها بین ۰،۷ (زحل) تا ۲ گرم برمترمکعب است.

سیارات گازی، در بازه‌ی زمانی ده میلیون سال تشکیل شدند(سیارت زمین مانند در طی ۱۰۰ میلیون سال). آن‌ها یک جا ساخته نشدند، بر اثر تغییر اندازه حرکت زاویه ای بین غول‌های سیاره ای در حال شکل گیری و پیش سیاره‌ها، رخ

داد و آن‌ها را به نواحی دیگر منظومه شمسی و یا خارج آن، پرت کرد.

مشخص کردن یک ستاره به معنای تعیین ویژگی‌های عمومی آن مانند: جرم، شعاع، چگالی، دوره حرکت چرخشی(شبانه روز)، دوره ی حرکت انتقالی(سال)، ترکیب شمیایی جو و ساختار و... است. در این بخش، هدف ما ارائه جداولی از اطلاعات نیست، چراکه با مراجعه به اینترنت یا کتاب به راحتی می‌توان به آن‌ها دسترسی داشت. هدف ما معرفی طبیعت و منشا هر جرم، به همراه بیان ویژگی‌های جالب آن است، تا معلمان از آن‌ها به عنوان موضوعاتی جذاب در کلاس استفاده کنند. (برای دستیابی به اطلاعات سیارات یا سایر اجرام منظومه شمسی می‌توان به اینترنت رجوع کرد).



شکل ۷: تیر(عطارد)

تیر

تیر نخستین سیاره منظومه شمسی، کوچکترین و نزدیک سیاره به خورشید است. این سیاره زمین مانند می‌باشد و درناحیه داخلی منظومه شمسی قرار دارد. نام خود را از خدای هنر و جنگ روم باستان گرفته است.

این سیاره فاقد قمر بوده و یکی از پنج سیاره‌ای است که با چشم غیرمسلح آن را می‌توان دید. در قرن ۱۷ با تلسکوپ رصد شد و دو کاوشگر مارینر۱۰ (سه بار در سال‌های ۱۹۷۴-۱۹۷۵) و مسنجر (دو بار در سال ۲۰۰۸) به سمت آن پرتاب شده اند.

اگرچه این سیاره با چشم غیر مسلح قابل رویت است، اما به علت نزدیکی زیاد به خورشید، دیدن آن به آسانی امکان پذیر نیست. این سیاره به خورشید بسیار نزدیک است و تنها در هنگام کشیدگی کمی قبل از طلوع یا کمی بعد از غروب خورشید قابل رصد است. با این وجود، ماموریت‌های فضایی تصاویر شگفت انگیز بسیاری از آن تهیه کرده‌اند، که به صورت شگفت آوری شباهت بسیاری به ماه دارد.

برخی از ویژگی‌های این سیاره : کوچک ترین و نزدیک سیاره به خورشید. بیشترین خروج از مرکز(e=۰،۲۰۵۶) ، انحرف نسبت به دایره البروج ۷ درجه. دوره ی سینودیک این سیاره ۱۱۵،۸ روز است، به این معنا که در سال سه بار در بیشترین کشیدگی در غرب خورشید(در این حالت ستاره ی صبح گفته می‌شود، و در بیشترین کشیدگی شرقی، ستاره‌ی عصرگاهی نامیده می‌شود). در هر کدام، کشیدگی بیشتر از ۲۸ درجه نخواهد بود.

شعاع کوچک ۲۴۴۰ کیلومتری موجب می‌شود که نه تنها کوچک ترین سیاره منظومه شمسی باشد، بلکه از دو قمر گالیله ای مشتری: کالیستو و گانیمید نیز کوچک تر باشد.

سیاره عطارد با چگالی ۵،۴۲۷ گرم بر متر مکعب سنگین ترین سیاره بعد از زمین (۵/۵گرم بر متر مکعب) است. آهن اصلی ترین عنصر سنگین در آن که موجب چگالی بالای آن شده است. به صورت عمومی برای تیر اتمسفری در نظر گرفته نمی‌شود، که صحیح نمی‌باشد در واقع یک جو غیرعادی و بسیار نازک متشکل از اکسیژن۴۲٪، سدیم ۲۹٪، هیدروژن ۲۲٪، هلیوم ۶،۰٪، پتاسیم ۰،۵٪ و مقادیر ناچیز آرگون، نیتروژن، کربن دی اکسید، بخار آب، زنون، کریپتون و نئون پیرامون آن را فراگرفته است.

تیر، داری میدان مغناطیسی قابل توجه ای در حدود ۱/۱۰۰ میدان مغناطیسی زمین است.این میدان موجب پیدایش مغناطیس‌کره با شعاع ۱/۵ برابر سیاره شده است، در مورد زمین این مقدار۱۱/۵ برابر شعاع است. به عنوان آخرین نکته در مقایسه با زمین، میدان مغناطیسی آن دو قطبی و با محور چرخش آن ۱۱ درجه انحراف دارد.

دما در عطارد بسیار غیرمعمول است. به هنگام عبور از حضیض در استوا دما به حدود ۴۲۷ سانتی‌گراد می‌رسد، دمایی که فلزروی در آن ذوب می‌شود.هرچند که بعد از رسیدن شب، دما به منفی ۱۸۳ درجه سانتی گراد کاهش می‌یابد، بنابراین افزایش دما در طول یک روز ۶۱۰ درجه سانتی گراد خواهد بود. هیچ سیاره ی دیگری این چنین تفاوت دمایی را شاهد نیست. این تفاوت دما ناشی از دریافت تابش‌های خورشیدی در طول روز، چگالی کم اتمسفر و طول روز در تیر (زمان بین طلوع و غروب، سه ماه زمینی است، زمان مشابه برای ذخیره گرما در طول روز، یا سرما در طول شب) می‌باشد.

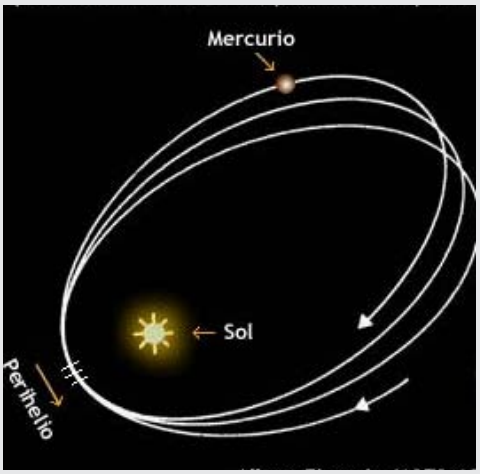
دهانه‌های تیر، از لحاظ ریخت شناسی بسیار شبیه به

دهانه‌ی ماه است. معروف ترین دهانه، حوضه کالیوریس است که بیانگر یک فاجعه عظیم است.

تاثیرات ناشی از برخود حوضه، فاجعه بارترین اتفاقی است که می‌تواند بر روی یک سیاره رخ دهد. اتفاقی که می‌تواند موجب تغییرات پوسته و حتی مناطق داخلی آن شود. همان اتفاقی که دهانه‌ی کالیوریس با قطر۱۵۵۰ کیلومتر را ایجاد کرد.

حرکت تقدیمی حضیض تیر

به مانند سایر سیارات، حضیض سیاره ی تیر، ثابت نیست، اما به صورت منظم پیرامون خورشید حرکت می‌کند. برای مدت‌های زیادی مقدار محاسبه شده‌ی این حرکت ۴۳ ثانیه قوسی درهر قرن بیشتر از مقدار پیش بینی شده از مکانیک کلاسیک نیوتنی بود. این پیشروی حضیض به کمک نظریه نسبیت عام انیشتین پیش بینی شد که ناشی از خمش فضا بر اثر جرم خورشید است. همزمانی مشاهدات پیشرفته ی حضیض و پیش بینی نظریه نسبیت عام، زمینه اثبات فرضیه دوم را فراهم آورد.



شکل ۸: حرکت تقدیمی حضیض عطارد

ناهید

ناهید یکی از چهار سیاره‌ی داخلی، با ساختاری مشابه زمین و دومین سیاره از لحاظ فاصله تا خورشید، به نام خدای عشق و زیبایی رومی نام گذاری شده است.

نزدیکی به خورشید، ساختار و چگالی اتمسفر ناهید، موجب شده تا این سیاره گرم ترین جرم منظومه شمسی باشد. این سیاره میدان مغناطیسی بسیار ضعیفی دارد و فاقد قمر است. همچنین دارای حرکت برگشتی است و تنها سیاره ای است که دوره ی حرکت چرخشی آن از دوره ی حرکت انتقالی آن بیشتر است. این سیاره پرنورترین جرم آسمان بعد از خورشید و ماه است.

مسیر ناهید به دور خورشید، تقریبا دایره است، خروج از مرکز این مدار ۰/۰۰۶۸ کمترین میزان در منظومه شمسی است. یک سال ناهید از یک شبانه روز خورشیدی آن کوتاه تر است.

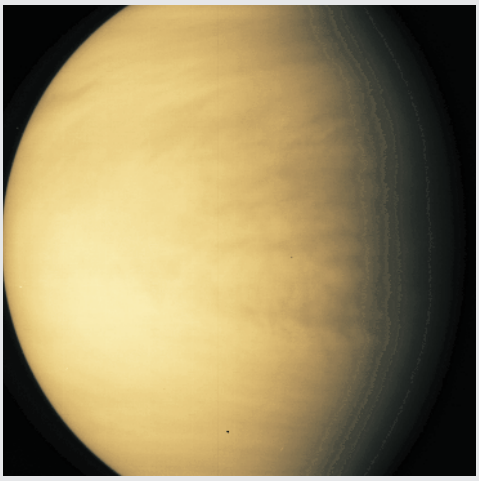
اندازه ی سیاره ناهید، تقریبا مشابه زمین است. اتمسفر بسیارغلیظ دارد. ترکیبی از دی اکسید کربن و ابرهای غلیظ دی اکسید سولفور موجب ایجاد بزرگ ترین اثر گلخانه ای منظومه شمسی روی آن با دمای ۴۶۰ درجه سانتی گراد شده است. هرچند که فاصله ی ناهید از خورشید دوبرابر بیشتر از تیر و تنها حدود ۲۵٪ تابش‌های خورشید تیر را دریافت می‌کند، اما دمای سطحی آن بسیار بیشتر از تیر است. سطح این سیاره تقریبا یکنواخت است. اگرچه میدان مغناطیسی آن بسیار ضعیف است، اما در سال ۱۹۹۷، فضاپیما سوهو، دم پلاسمایی به طول ۴۵ میلیون کیلومتر را برای اولین بار در ناهید مشاهده نمود.

ویژگی قابل توجه ناهید، حرکت دورانی برعکس آن است (مانند اورانوس): این حرکت پیرامون محور سیاره و در خلاف جهت عقربه‌های ساعت است، در حالی که سایر سیارات منظومه شمسی در جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند. دوره این چرخش در سال ۱۹۶۲ شناخته شد. این چرخش -آرام و برعکس- موجب می‌شود تا شبانه روز خورشیدی آن از شبانه روز نجومی آن خیلی کوتاه تر باشد، طول شبانه روز در ناهید طولانی تر از دیگر سیاراتی که در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخند می‌باشد در نتیجه، یک سال در ناهید کمتر از ۲ روز است

علت حرکت چرخش معکوس ناهید روشن نیست. مقبول ترین نظر، برخورد یک جسم بزرگ با سیاره در هنگام شکل گیری در منظومه شمسی است.همچنین ممکن است که اتمسفر غلیظ ناهید بر چرخش آن اثر گذاشته باشد.

ناهید دارای یک اتمسفر ویژه است. فشار سطحی در این سیاره ۹۳ بار است و اتمسفر آن از ۹۶/۵٪ کربن دی اکسید، ۳/۵ ٪ نیتروژن، ۰/۰۱۵٪ دی اکسید گوگرد ، ۰/۰۰۷٪ آرگون، ۰/۰۰۲، بخار آب، ۰/۰۰۱ مونواکسید کربن، ۰/۰۰۱۲٪ هلیوم و ۰/۰۰۷٪ نئون تشکیل شده است.

شکل۹: عکس از سطح ناهید (ماموریت ماژلان)



شکل ۱۰: ناهید در بخش مرئی (تلسکوپ فضایی هابل)

ناهید، خواهر دو قلوی زمین، مقایسه:

هر دو سیاره در یک زمان و از گاز و ابر غبار مشابه در ۴٫۶ میلیارد سال پیش ساخته شده‌اند

هردو در دسته ی سیارات داخلی قرار می‌گیرند.

سطح هردو دارای عوارض متنوعی همچون: کوه‌ها، دشت‌ها، دره‌ها، آتش فشان‌ها، دهانه‌های برخوردی هستند.

هر دو تعداد کمی گودال دارند، که نشان دهنده‌ی سطح جوان و اتمسفر غلیظ است.

دارای ساختار شیمیایی یکسان می‌باشند.

گذر ناهید

به هنگام گذر ناهید از بین خورشید و زمین، سایه ی ناهید از مقابل قرص خورشید رد می‌شود، این پدیده گذر نامیده می‌شود. به علت انحراف محور ناهید در مقایسه با زمین این پدیده دوبار در هر قرن و به فاصله ی هشت سال رخ می‌دهد (۱۰۵٫۵ و ۱۲۱٫۵ سال). آخرین گذرها در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۲ رخ داد و گذر بعدی در۱۱دسامبر سال ۲۰۱۷ است.

زمین

زمین سومین سیاره از نظر فاصله و پنجمین سیاره از نظر قطر در منظومه شمسی است. این سیاره ی داخلی، بزرگ ترین سیاره سنگی منظومه و تنها جای شناخته شده با قابلیت حیات در کیهان است. زمین ۴٫۵۷ میلیارد سال پیش شکل گرفت و تنها قمر آن، ماه، کمی بعد از آن و در حدود ۴۵۳۳ میلیون سال پیش شروع به چرخش پیرامون زمین کرد. نظریه‌های متفاوتی پیرامون شکل گیری ماه وجود داد. ۷۱٪ سطح زمین پوشیده از آب و ۲۹٪ باقی ماند جامد و خشک است، با این وجود آب در مقایسه با ساختار عمومی سیاره، مقدار کمی را شامل می‌شود.

شکل۱۱: زمین و ماه(ماموریت گالیله، سال ۱۹۹۸)

زمین به صورت پیوسته در حال برهمکنش با کیهان است. ماه علاوه بر پیدایش جزر و مد، به صورت پیوسته بر سرعت چرخشی زمین اثر می‌گذارد. همه ی اجرام کره ی زمین، به وسیله زمین جذب شده‌اند. نیروی جذب کننده، با نام جاذبه و شتابی که موجب سقوط اجرام در میدان مغناطیسی می‌شود، شتاب جاذبه نامیده می‌شود ($g=۹٫۸۱\ m/s$) یک اعتقاد عمومی برای تشکیل اقیانوس‌ها بارش دنباله‌دارها در ابتدای پیدایش زمین است. تغییرات مداری سیاره نیز، ناشی از دوره ی یخبندان؛ دوره ای که سطح زمین با لایه از یخ پوشیده شد، در نظر گرفته می‌شود.

فشار اتمسفر در سطح kPa ۱۰۱٫۳ است. اتمسفر به صورت عمده از ۷۸٪ نیتروژن، ۲۱٪ اکسیژن، ۰٫۹۳ آرگون، ۰٫۰۴ کربن دی اکسید و ۱٪ بخار آب تشکیل شده است.

بهرام

بهرام چهارمین سیاره از نظر فاصله و دومین سیاره کوچک بعد از

تیر در منظومه شمسی بوده و در خانواده سیارات زمین مانند قرار دارد. نام سیاره با توجه به رنگ قرمز آن، از خدای جنگ رومی گرفته شده است. از سال ۱۹۶۰ ماموریت‌های فضایی متعددی به قصد شناسایی جغرافیا، آب و هوا، ساختار زیرین، وجود آب و شاید نشانه‌هایی از حیات انجام شده است.

بهرام با چشم غیر مسلح قابل رویت است. این سیاره از زهره کم نورتر و به ندرت از مشتری پرنورتر می‌شود به علت ترکیبات سازگاری که دارد از مشتری پیشی می‌گیرد.(تناقض) در میان اجرام منظومه شمسی، سیاره ی سرخ بیش از همه مورد توجه نویسندگان داستان‌های علمی تخیلی قرار دارد. مهم ترین دلیل آن، وجود کانال‌هایی است که اولین بار در سال ۱۸۵۸ توسط جیوانی شیپرلی نام گذاری شدند. اگرچه امروزه می‌دانیم که آن دیدگاه‌ها اشتباه بوده است. رنگ قرمز بهرام ناشی از اکسید آهن(هماتیت) موجود بر سطح آن است. عوارض متنوعی بر روی مریخ وجود دارد، از مرتفع ترین قله ی منظومه شمسی (قله ی آتشفشانی المپیوس) با ارتفاع ۲۵ کیلومتر تا بزرگ ترین کنیون‌ها (دره ی مانیرها)، به عمق ۶ کیلومتر.

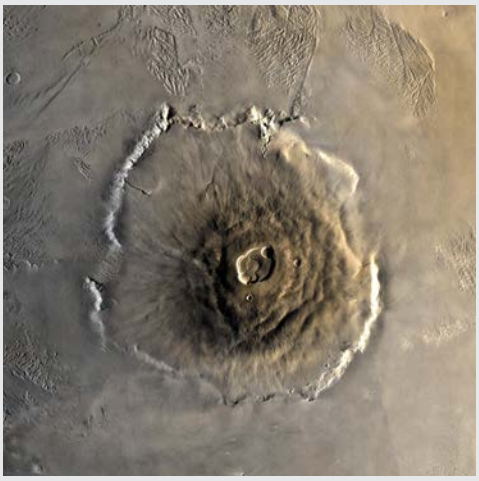
هسته‌ی آهنی این سیاره با قطر حدودی ۱۷۰۰ کیلومتر، توسط گوشته ای مذاب و پوسته ای بازالتی به عرض ۵۰ کیلومتر پوشیده شده است. اتمسفر آن به صورت عمده از ترکیب کربن دی اکسید است. احتمالا این سیاره دارای یک آب سپهر(هیدروسفر) فعال بوده و آب بر سطح آن برخی مواقع جریان داشته است، اما تغییرات فشار اتمسفر که ممکن است ناشی از کاهش میدان مغناطیسی و یا دما بوده، موجب تبخیر آب در دمای اتاق شد. امروز اتمسفر مریخ با فشار سطحی ۰٫۶–۱٫۰ کیلوپاسکال، از ۹۵٫۷۲٪ دی اکسید کربن، ۲٫۷٪ نیتروژن، ۱٫۶٪ آرگون، ۰٫۲ اکسیژن، ۰٫۰۷ ٪ کربن موناکسید، ۰٫۰۳ ٪ بخار آب، ۰٫۰۱٪ نیتریک اسید و مقادیر ناچیزی از نئون، کریپتون، فرمالدهید، زنون، اوزون و متان تشکیل شده است.

دو قمر طبیعی مریخ، با نام‌های فوبوس و دیموس، سیارک‌های جذب شده توسط سیاره هستند. قطر مریخ دو برابر کمتر از زمین، و سطح آن برابر با قاره‌ها است. جرم آن یک دهم زمین است. اگرچه جرم مریخ دو برابر تیر است، اما جاذبه‌ی آن کمتر از تیر است.

یخ‌های استوای مریخ و مدار آن به دور خورشید همزمان نیست. انحراف محور مریخ مشابه زمین است، به همین علت مانند زمین دارای فصول است. به علت جا به جایی کربن دی اکسید و آب در اتمسفر باعث تغییر قطر کلاهک‌های قطبی آن در طول فصل‌ها می‌شود. روز مریخی ۳۹ دقیقه از روز زمینی طولانی تر است. یک سال آن به علت فاصله ی نسبی تا خورشید ۳۲۲ روز بیشتر از زمین است.

مریخ نزدیک ترین سیاره ی بیرونی به زمین است، این فاصله به هنگام مقابله و قرار گیری زمین بین مریخ و خورشید، به کمترین میزان خود می‌رسد.

شکل ۱۲: مریخ



شکل ۱۲: کوه المپیوس

در ۲۷ آگوست ۲۰۰۳ مریخ در نزدیک ترین فاصله ی خود به زمین یعنی ۵۵٫۷۶ میلیون کیلومتر یا ۰٫۳۷۲۷ واحد نجومی در طول ۵۹۶۱۸ سال گذشته بود. در این زمان، انواع مختلفی از توهم‌ها و خیال پردازی‌ها شروع شد، مانند : مریخ بزرگ تر از ماه دیده خواهد شد. مریخ با اندازه ی ظاهری ۲۵/۱۳ ثانیه قوسی به صورت یک نقطه با چشم غیر مسلح دیده می‌شود، در حالی که ماه اندازه‌ی ظاهری نزدیک به ۳۰ دقیقه ی قوسی دارد. رویداد مشابه بعدی در ۲۸ آگوست سال ۲۲۸۷ رخ می‌دهد، در آن زمان مریخ در فاصله ی ۵۵٫۶۹ میلیون کیلومتر از زمین خواهد بود.

مشتری

مشتری پنجمین سیاره از نظر فاصله و با قطری نزدیک به ۱۱ برابر زمین، غول منظومه شمسی محسوب می‌شود. جرم این سیاره ۳۱۸ برابر زمین، و حجم آن ۱۳۰۰ برابر زمین است. مدار آن در فاصله ی ۷۷۸،۵۴۷،۲۰۰ کیلومتری از خورشید است. مشتری چهارمین جرم درخشان آسمان با چشم غیر مسلح است (بعد از خورشید، ماه، ناهید و برخی مواقع مریخ)

کشف چهار قمر بزرگ مشتری: آیو، اروپا، گانیمید وکالیستو (معروف به قمرهای گالیله ای) توسط گالیله و سایمون ماریوس در سال ۱۶۱۰، اولین کشف حرکت ظاهری مرکزی خارج از زمین بود. این کشف مهمی برای تایید نظریه خورشید مرکزی نیکلاس کوپرنیک بود. تایید گالیله بر نظریه کوپرنیک برای او مشکلاتی را از جانب دادگاه تفتیش عقاید فراهم آورد. قبل از ماموریت‌های ویجر، ۱۶فقط قمر برای مشتری کشف شده بود، البته در حال حاضر۶۰ قمر برای این سیاره ثبت شده و همچنان در حال افزایش است.

به مانند سایر سیارات این سیاره هسته‌ای جامد با جرمی بیش از ۱۰ تا ۱۵ برابر جرم خورشید دارد. بر روی هسته، قسمت مهم سیاره، که از هیدورژن مایع فلزی است، قرار داد. به علت دما و فشار داخلی مشتری، هیدورژن به صورت گاز وجود ندارد. این ماده هادی الکتریکی و منشا میدان مغناطیسی متشری است. این لایه شامل مقداری هلیوم و یخ می‌باشد.

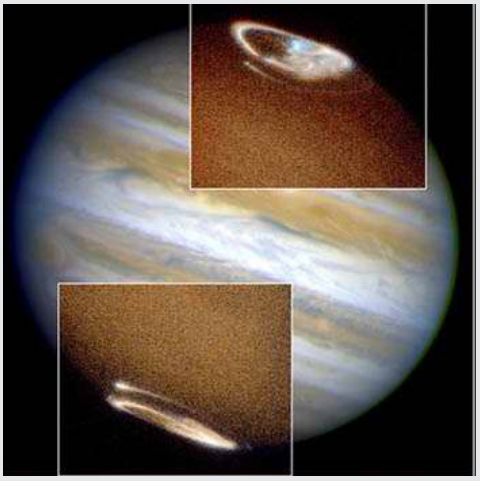
سطحی ترین لایه‌ی مشتری از مولکول‌های هیدروژن و هلیوم تشکیل شده که در قسمت‌های داخلی به صورت مایع و در قسمت‌های خارجی به صورت مایع حضور دارند. اتمسفری که ما از سیاره شاهد هستیم، در واقع بالاترین قسمت آن لایه‌های عمیق است. آب، کربن دی اکسید، متان و تعدادی از مولکول‌های ساده‌ی دیگر به مقدار کم در آن حضور دارند.

اتمسفر مشتری از ۸۶٪ هیدروژن، ۱۴٪ هیلوم و مقادیر ناچیزی از متان، آب، آمونیوم و سایر عناصر تشکیل شده است. اعتقاد بر این است که ساختار مشتری بسیار مشابه با ابر اولیه‌ای که منظومه‌ی شمسی از آن شکل یافت، است (اورانوس و نپتون به عنوان سیارات گازی، مقدار کمتری هیدوژن و هلیوم دارند)

لکه سرخ یا چشم مشتری، یکی از بازرترین ویژگی‌های مشتری است که از مشاهده ی آن با تلسکوپ‌های زمینی بیش از ۳۰۰ سال می‌گذرد. این پدیده، یک بیضی با ابعاد ۲۵۰۰۰ در ۱۲۰۰۰ کیلومتر است و می‌تواند دو زمین را در دل خود جای دهد. در این ناحیه فشار بالاتر و ارتفاع ابرهای بیشتر و رنگ‌ها نسبت به پیرامون بسیار شاخص تر است. ساختارهای مشابه‌ای در کیوان و اورانوس نیز ثبت شده است. اما هنوز علت پایداری طولانی مدت این پدیده ناشناخته است.

در مشتری و سایر سیارات گازی، بادهای شدیدی در نوارهای عرضی می‌وزند. جهت این بادها در هر نوار با نوار مجاور مخالف است. تفاوت دما یا ترکیب شمیایی موجب تفاوت در رنگ نوارها است. اتمسفر مشتری بسیار آشفته است. وزش بادها به مانند زمین ناشی از گرمای درونی سیاره و نه خورشید است. فشار سطحی اتمسفر۲۰-۲۰۰ است (لایه‌های ابر) و ترکیب شمیایی آن از ۹۰٪ هیدوژن، ۱۰٪ هلیوم، ۰/۳٪ متان، ۰،۰۳۶ آمونیوم، ۰،۰۰۳٪ دیوتریوم، ۰،۰۰۰۶٪ اتان، ۰،۰۰۰۴ آب است. همچنین یخ‌های: آمونیوم، آب و آمونیوم هیدروسولفید.

شکل ۱۳: مشتری



شکل۱۳: شفق‌های قطبی برروی مشتری (عکس از تلسکوپ فضایی هابل)

مغناطیس‌کره سیاره، بسیار شدید است و بیش از ۱۴ برابر زمین بوده و تا ۶۵۰ میلیون کیلومتری سیاره کشیده شده است(بعد از زحل). قمرهای مشتری در محدوده‌ی این اتسمفر قرار دارند و فعالیت‌های آیو نیز با توجه به آن توضیح داده می‌شود. یک

مشکل بزرگ در سفرهای فضایی آینده، همانطور که اکنون نیز برای کاوشگر گالیله و ویجر رخ داد، ذرات بسیار زیادی هستند که در اطراف مشتری در میدان مغناطیسی آن به دام افتاده اند. این تابش‌ها مشابه تابش‌های کمربند وان آلن زمین هستند و می‌تواند موجب مرگ انسان‌های بی حفاظ شود. کاوشگر گالیله، تابش‌های جدیدی بین حلقه ی مشتری و لایه‌های بالایی اتمسفر آن کشف کرده است. این کمربند جدید۱۰ برابر از کمربند وان آلن زمین قوی تر است و جالب است بدانید که شامل یون‌های هلیوم با انرژی بالا با منشا ناشناخته است.

مشتری به مانند کیوان دارای یک حلقه کوچک و تاریک است. احتمالا از ذرات کوچک سنگی تشکیل شده است. به نظر نمی‌آید که دارای یخ باشد. احتمالا زمان زیادی از تشکیل حلقه‌ی مشتری نمی‌گذرد (به علت اتمسفر و میدان مغناطیسی). کاوشگر گالیله شواهدی بدست آورده که نشان می‌دهد حلقه‌ها در اثر میدان مغناطیسی مشتری، به صورت پیوسته توسط غبار ناشی برخورد ریز شهاب‌ها با قسمت داخلی تغذیه می‌شوند.

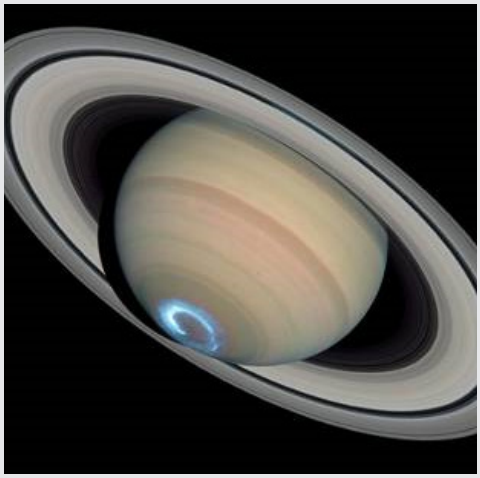
زحل

زحل یکی از غول‌های گازی مظنومه شمسی، ششمین سیاره از نظر فاصله تا خورشید، دومین سیاره از نظر حجم و جرم (۳/۳ کوچکتر از مشتری، ۵/۵ برابر نپتون، ۵/۶ برابر بزرگ تر از اورانوس) است. جرم آن ۹۵ برابر زمین و قطر آن ۹ برابر بیشتر است. زحل تنها سیاره منظومه شمسی است که چگالی آن کمتر از آب است: ۰،۶۹ این چگالی بیانگر آن است که اتمسفر آن به صورت عمده از هیدورژن که سبک‌تر از آب است تشکیل شده است. البته هسته ی آن چگال تر است.

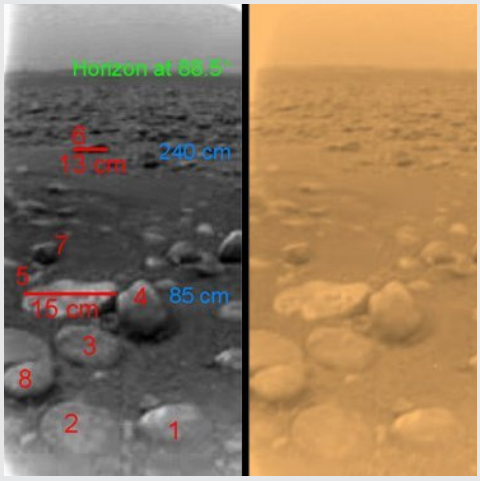
این سیاره دارای شکل کروی مسطح است، در قطب‌ها تخت شده و در استوا کشیده تر. تفاوت قطر استوایی و قطبی تقریبا حدود ۱۰ درصد است. این تفاوت ناشی از سرعت چرخشی بالا به دور مدار و ساختار مایع داخلی است. سایر سیارات گازی (مشتری، اورانوس و نپتون) نیز کمی مسطح شدگی دارند.

به مانند مشتری، جو زحل نیز ازنوارهای موازی تشکیل شده است، البته این نوارها محوتر بوده و در استوا بزرگ تر هستند. سیستم ابری زحل، برای نخستین بار توسط ماموریت ویجر رصد شد. ابر مشاهده شده در سال ۱۹۹۰، نمونه ای یک لکه سفید بزرگ است که پدیده ای زودگذر بوده و هر سی سال رخ می‌دهد. طبق پیش بینی‌ها، طوفانی بعدی در ۲۰۲۰ خواهد بود. در سال ۲۰۰۶ ناسا،طوفانی در ابعاد طوفان هیروکان در قطب جنوب رصد کرد، که چشم آن به خوبی قابل دیدن بود.

حلقه‌های زحل، یکی از زیباترین صحنه‌های منظومه شمسی و یکی از ویژگی‌های اصلی آن است. برخلاف دو سیاره‌ی گازی دیگر که درخشش بسیار(آلبدو بین ۰،۲ تا ۰،۶) مانع دیدن حلقه‌های تاریک آن‌ها می‌شود، حلقه‌های زحل را به راحتی با یک دوربین دوچشمی می‌توان دید. این حلقه‌ها فعال هستند : برخورد و انباشت مواد در آن‌ها صورت می‌گیرد.



شکل۱۴: شفق‌های قطبی زحل



شکل۱۴: آخرین عکس از سطح تیتان، ماموریت کاسینی- هویگنس

زحل قمرهای بسیاری دارد. بسیار سخت است که بگوئیم، زحل چند قمر دارد، زیرا هر تکه یخ موجود در حلقه‌ها را می‌توان به عنوان قمر در نظر گرفت. در سال ۲۰۰۹، تعداد ۶۲ قمر شناسایی شد، که ۵۳ قمر داری نام اختصاصی هستند. بیشتر این قمرها کوچک هستند: ۳۱ قمر، قطری کمتر از ۱۰ کیلومتر دارند و ۱۳ قمر دیگر قطری کمتر از ۵۰ کیلومتر. تنها ۷ قمر هست که به اندازه ی کافی بزرگ بوده تا تحت تاثیر گرانش خود داری شکل کروی شوند. تیتان، بزرگ ترین آن‌ها، از تیرو پلوتو نیز بزرگ تر است و تنها قمر دارای اتمسفر غلیظ در منظومه

شمسی است، که طی ماموریت کاسینی، کاوشگر هویگنس در سال ۲۰۰۴ به سمت آن پرتاب شد. این ماموریت نشان دادکه چرخه ای مشابه آب بر روی زمین، در سطح تیتان برای متان رخ می‌دهد و متان در هر سه حالت بر سطح آن وجود دارد.

اورانوس

اورانوس به مانند سایر سیارات گازی دارای حلقه است. اورانوس هفتمین سیاره از لحاظ فاصله تا خورشید، سومین از لحاظ ابعاد وچهارمین سیاره پرجرم در منظومه شمسی است. اولین سیاره ای که به کمک تلسکوپ کشف شد. این سیاره را به مانند پنج سیاره قدیمی با چشم غیر مسلح می‌توان دید، البته به علت درخشش کم، یافتن آن چندان آسان نیست. ویلیام هرشل در ۱۳ مارس ۱۷۸۱، خبر اکتشاف خود را منتشر و مرزهای منظومه شمسی را گسترش داد.

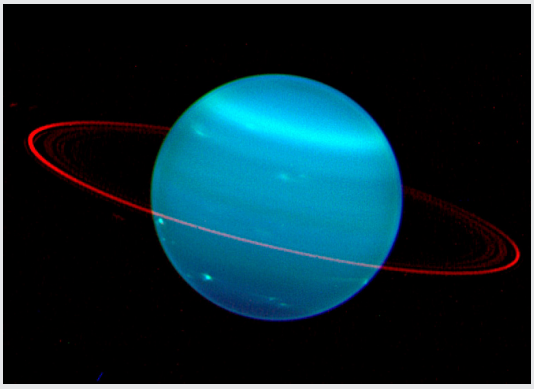
ساختار داخلی و اتمسفر اورانوس و نپتون در مقایسه با غول‌های گازی؛ مشتری و زحل متفاوت است. به همین دلیل، ستاره‌شناسان، برخی اوقات؛ آن‌ها را در دسته متفاوت غول‌های یخی یا ریزغول‌ها قرار می‌دهند.

اتمسفر اورانوس به صورت عمده از هیدوژن، هلیوم، مقادیر زیادی یخ آب، آمونیوم، متان و مقدار ناچیزی هیدورکربن تشکیل شده است. اورانوس سردترین دمای اتمسفر با حداقل ۲۲۴- درجه سانتی‌گراد را در منظومه شمسی دارا است. ابرهای این سیاره ساختار ترکیبی دارند، به طوری که لایه‌های پایین از آب و لایه‌های بالایی از متان تشکیل شده اند. به مانند سایر سیارات گازی، دارای حلقه، مغناطیس‌کره و تعدادی قمر طبیعی است. سیستم اورانوس در منظومه شمسی به علت قرار گیری محور چرخش بر صفحه ی حرکت انتقالی بسیار بی نظیر است. در نتیجه قطب‌های شمال و جنوب این سیاره، در محل استوای سایر سیارات قرار داد. در سال ۱۹۸۶ ویجر۲ عکس‌هایی از اورانوس تهیه کرد که در آن‌ها ویژگی‌های شاخصی در نور مرئی، لایه‌های ابر یا سیستم ابری مانند آنچه در سایر سیارات گازی وجود داشت، دیده نمی‌شد. با این حال، با نزدیک شدن اورانوس به اعتدال خود در دسامبر ۲۰۰۷، مشاهدات جدید، آثاری از تغییرات فصول و افزایش فعالیت‌های آب و هوایی را نشان داد. سرعت باد در سطح این سیاره به ۲۵۰ متر بر ثانیه می‌رسد.

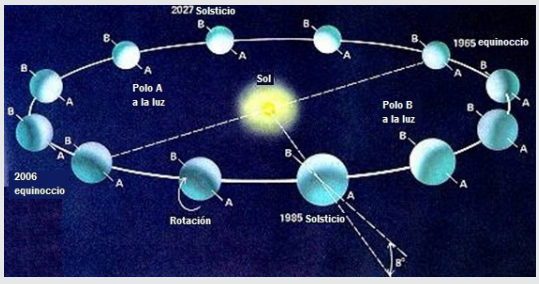
برخلاف سایر سیارات منظومه شمسی، محور چرخش اورانوس انحراف زیادی داشته و با صفحه‌ی چرخش آن موازی است. می‌توان گفت که پیوسته سیاره در حال چرخش است و قطب‌های آن به سمت خورشید هستند. یک نتیجه از این آرایش، دریافت انرژی بیشتر قطب‌ها نسبت به استوا، می‌تواند باشد. اما به علت سازوکاری ناشناخته، مناطق استوایی گرم تر از قطب‌ها هستند. برخورد عظیمی در هنگام شکل گیری سیاره، دلیل احتمالی انحراف آن می‌تواند باشد.

دوره ی چرخه ی اورانوس به دور خورشید ۸۴ سال زمینی است. میانگین فاصله تا خورشید ۳ میلیارد کیلومتر است. شدت شار دریافتی از خورشید ۱/۴۰۰ زمین است.

دوره چرخش لایه‌های داخلی اورانوس ۱۷ ساعت و ۱۴ دقیقه است. همچنین در لایه‌های بالایی اتمسفر، بادهایی سهمگینی هم راستا با چرخش در حال وزیدن هستند. در نتیجه، در حوالی عرض‌های ۶۰ درجه، قسمت‌های مرئی اتمسفر با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند و یک دور کامل را در ۱۴ ساعت طی می‌کنند. فشار اتمسفر کمتر از ۱/۳ بار است و ترکیب شیمیایی آن عبارت است از: ۸۳٪ هیدوروژن، ۱۵٪ هلیوم۲/۳٪ متان، ۰/۰۰۹٪ مقادیر ناچیز دتریوم و یخ‌های: آمونیوم، آب، آمونیوم هیدروسولفید و متان.



شکل۱۵: اورانوس



شکل۱۵: مدار اورانوس

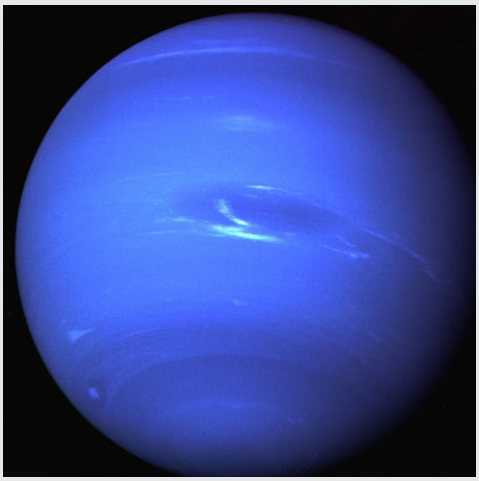
ما اطلاعات چندانی در مورد ساختار داخلی اورانوس نداریم، تنها می‌دانیم که ساختار آن با مشتری و زحل تفاوت دارد. براساس نظریه، این سیاره یک هسته از سیلیکات‌های آهن به قطر ۷۵۰۰ کیلومتر دارد که با لایه از یخ آب و هلیوم، متان و آمونیوم به قطر ۱۰۰۰۰ کیلومتر پوشیده شده است و سطح آن نیز لایه‌ای از هیدورژن و هیلوم مایع با قطر تقریبی ۷۶۰۰ کیلومتر

وجود دارد که به آرامی در اتمسفر ذوب می‌شود. اورانوس، برخلاف مشتری و زحل، چندان پرجرم نیست که هیدورژن را به صورت فلزی پیرامون هسته نگاه دارد. رنگ سبز- آبی آن به دلیل متان موجود در اتمسفر است که نور قرمز و فروسرخ خورشید را جذب می‌کند. اورانوس حداقل ۲۷ قمر دارد. دو قمر اولیه آن به نام‌های تیتانیا و اوبرون در ۱۳ مارس ۱۷۸۷ به وسیله ی ویلیام هرشل کشف شد.

نپتون

نپتون، هشتمین سیاره منظومه شمسی و آخرین سیاره گازی است. این سیاره توسط دانشمند آلمانی یوهان گاله در۲۳ سپتامبر ۱۸۴۷، به دنبال نشانه‌های اوربن ویر، کسی که مانند جان آدامز، ستاره‌شناس انگلیسی مکان آن را در آسمان محاسبه کرده بود، کشف شد.

نپتون با چشم غیر مسلح قابل رویت نیست و در تلسکوپ به رنگ سبز- آبی نمایان می‌شود. در ۲۵آگوست ۱۹۸۹ فضا پیمای ویجر۲ از نزدیکی آن عبور کرد. بزرگ‌ترین قمرآن تریتون است. ساختار داخلی آن مانند اورانوس می‌باشد. هسته‌ی مرکزی آن به اندازه ی زمین بوده و از جنس سیلیکات و آهن به صورت جامد است. هسته‌ی این سیاره مانند اورانوس، از یک ترکیب یکنواخت (سنگ مذاب، یخ، ۱۵٪ هیدورژن و مقداری هلیوم) تشکیل شده، اما ساختارلایه‌های آن مانند اورانوس و مشتری نیست.



شکل ۱۶: نپتون

رنگ آبی این سیاره ناشی جذب نور در طول موج‌های قرمزتوسط متان است. اتمسفر این سیاره از ۸۰٪ هیدورژن، ۱۹٪ هلیوم، ۱/۵٪ متان، حدود ۰/۰۱۹٪ دوتریم، ۰/۰۰۱۵٪ اتان و یخ :آمونیوم، آب، آمونیوم هیدروسولفید و متان تشکیل شده است.

به مانند سایرسیارات گازی، سیستم بادهای سیاره از بادهای بسیار سریع در نوارهای موازی با استوا، طوفان‌های شدید و گردبادها تشکیل شده است. باد بسیار سریعی با سرعتی بیش از ۲۰۰۰ همزمان با عبور ویجر۲ رصد شد، لکه‌ی سیاه بزرگ با اندازه‌ای در حدود لکه‌ی سرخ مشتری، شگفت‌انگیزترین پدیده‌ای بود که طی آن مشاهد شد. حلقه‌های سیاره نپتون بسیار محو، تیره با منشا ناشناخته است. نپتون ۱۴ قمر طبیعی دارد. تریتون، مهم ترین قمرنپتون، ۱۷ روز پس از کشف نپتون توسط ویلیام لاسل کشف شد.

سیارات کوتوله

پلوتو - چارن و آیریس

ده جرم در رده ی سیارات کوتوله دسته بندی شده اند. در این میان پلوتو (میانگین فاصله ۳۹ واحد نجومی) و قمرش چارن، به همراه آیریس که ابعاد آن نیز از پلوتو بیشتر است، که در این دسته بندی قرار می‌گیرند، بسیار جالب هستند.

پلوتو در سال ۱۹۳۰ توسط کلادیو تومبا به عنوان یک سیاره کشف شد و در آگوست ۲۰۰۶ در رده ی سیارات کوتوله قرار گرفت. انحراف مداری آن با دایره البروج ۱۷ درجه است. در حضیض ۲۹٫۷ واحد نجومی و در اوج ۴۹٫۵ واحد نجومی فاصله دارد. چارن، بزرگ ترین قمر پلوتو،به اندازه ای بزرگ است که اجرام پیرامون مرکز جاذبه را جذب کند.

چهار قمر کوچک دیگر، نیکس، هیدرا، سربروس و استیکس پیرامون زوج پلوتو- چارن می چرخند. پلوتو با مدار نپتون در رزونانس ۳:۲ است (هر دو دور چرخش پلوتو برابر با سه بار چرخش نپتون)

آیریس، در سال ۲۰۰۵ توسط تیمی به مدیریت مایکل برون کشف شد. کمی بزرگ تر از پلوتو بود و تا قبل از دسته بندی جدید توسط اتحادیه بین المللی ستاره شناسی در سال ۲۰۰۶، به عنوان سیاره‌ی دهم شناخته شد. همچنین یک قمر به نام دیزنومینا دارد. این جرم به مانند پلوتو، بخشی از کمربند کوییپر یا اجرام فرانپتونی است.

سایر اجرام منظومه شمسی

محیط میان ستاره‌ای

خورشید علاوه بر نور، جریان پیوسته از ذرات باردار(پلاسما) که آنها را باد خورشیدی می‌نامیم تولید می‌کند. این جریان با سرعت ۱/۵ میلیون کیلومتر بر ساعت پراکنده می‌شود در نتیجه باعث ایجاد هورسپهر می‌گرددکه اتمسفری مناسب

برای منظومه شمسی ایجاد می‌کند.۱۰۰ واحد نجومی(منطقه توقف خورشیدی علامت گذاری می‌گردد.). ماده شکیل دهنده منطقه توقف خورشیدی را محیط میان سیاره‌ای می‌نامند.چرخه خورشیدی ۱۱ساله مانندشراره‌های خورشیدی تکرارشونده و خروج جرم از تاج خورشیدی باعث مختل شدن هورسپهر و تشکیل اقلیم فضایی می‌شود. چرخش میدان مغناطیسی خورشیدی بر محیط میان سیاره‌ای تاثیر می‌گذارد و لایه هورسپهر که بزرگ ترین ساختار منظومه شمسی است را تشکیل می‌دهد.

میدان مغناطیسی زمین از اتمسفر در مقابل بادهای خورشیدی محافظت می‌کنند. شفق قطبی دراثر برهمکنش بین باد خورشیدی و میدان مغناطیسی زمین به‌وجود می‌آیند. هورسپهر از برخورد پرتوهای کیهانی از منظومه شمسی به ویژه در سیارات دارای میدان مغناطیسی که بیشتر تحت تاثیر این پرتوها خواهند بود محافظت می‌نماید.

محیط میان سیاره ای شامل حداقل دو ناحیه از گرد و غبار کیهانی در فرم دیسک می‌شود. اولین ناحیه، ابرغبار کیهانی در ناحیه داخلی منظومه شمسی که باعث ایجاد صبح کاذب می‌گردد. احمالا توسط سازش درونی در کمربند استروئیدی به دلیل برهم‌کنش با سیارات، شکل گرفته است. دومین ناحیه بین ۱۰ و ۴۰ واحد نجومی می‌باشد و احتمالا توسط سازش مشابه در کمربند کوئیپر شکل گرفته است. آن‌ها بقایای برافزایش سیاره‌ای می‌باشند. همچنین شامل گروه‌های گوناگونی از سیارک‌ها، دنباله دارها و اجرام فرا نپتونی می‌باشد.

دنباله دارها

دنباله دارها اجرام کوچکی از منظومه‌ی شمسی،با کیلومترها قطر تشکیل شده از یخ فرار هستند.این دنباله دارها چرخشی نامنظم و گاهی همراه با حضیض در ناحیه داخلی منظومه شمسی دارند، این چرخش هنگامی صورت میگیرد که افلیون، دور از پلوتو قرار می‌گیرد. هنگامی که دنباله داری وارد ناحیه داخلی منظومه‌ی شمسی می‌شود، مجاور بودن آن با خورشید باعث تصعید و یونیزاسیون سطح آن می‌شود که منجر به وجود آمدن دمی بلند از گاز و گرد و خاک می‌گردد.

دنباله دارهای کوتاه دوره (مانند دنباله دار هالی) چرخشش را در کمتر از ۲۰۰ سال کامل می‌کند و به منشا خود که کمربند کوئیپر می‌باشد بازمیگردد. دنباله‌داربلند دوره (مانند دنباله دارهیل-باپ) دارای دوره تناوب چندین هزار ساله هستند و منشا آن‌ها ابر اورت می‌باشد. در نهایت, برخی دنباله‌دارها وجود دارند که یک مسیر هذلولی دارند و به نظر می‌رسد که از خارج از منظومه شمسی می‌آیند. دنباله‌دارهای قدیمی که اکثر ترکیبات فرار خود را از دست داده‌اند, اکنون سیارک در نظرگرفته می‌شوند.

قنطورس در فاصله ۹و۳۰ واحد نجومی قرار گرفته است. و شکل یخی آن شبیه به دنباله دارها می‌باشد و میان مشتری و نپتون درحرکت است. بزرگترین و شناخته شده ترین قنطورس چاریکلو، با قطری بین ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. اولین قنطورس شناخته شده چیرون می‌باشد که در ابتدا به عنوان دنباله دار در نظر گرفته می‌شد زیرا مانند آن‌ها دارای دم بود. بعضی ستاره شناسان قنطورس را از اجرام کمربند کوئیپر در نظر می‌گیرند.

شکل ۱۷: دنباله دار

دنیاهای خارجی

در سال ۱۹۹۵ دو ستاره شناس سوئیسی به نام مایکل مِیرو دیدر کلاز خبر از شناسایی یک سیاره فرا خورشیدی که به اعلام کردند

منابع:

• Collin, S, Stavinschi, M., Leçons d’astronomie, Ed. Ars Docendi, 2003.

• Kovalevsky, J, Modern Astrometry, Springer Verlag, 2002.

• Nato A., Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.

• Nato A, Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.

افق محلی و ساعت آفتابی

رزا ماریا رز اتحادیه بین المللی نجوم، دانشگاه فنی کاتالونیا (بارسلونا، اسپانیا)

خلاصه

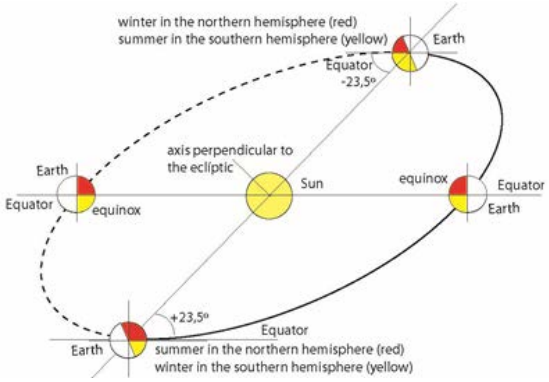
در یک مرکز آموزشی، شناخت افق در اولین مشاهدات برای دانش‌آموزان امری دشوار است. باید در هر مرکز یک مدل ساده ساخته شود تا مطالعه، تدریس و درک اولیه مباحث نجوم را برای ما آسان تر کند. در اینجا یک مدل ساده از ساعت استوایی برای این منظور ارائه شده است. می‌توانیم مدل‌های دیگری نیز (افقی و عمودی) بسازیم.

اهداف

- درک صحیح از حرکت روزانه و سالانه خورشید
- درک صحیح از حرکت کره سماوی
- آشنایی با ساختار ساعت آفتابی

زمین می‌چرخد و می‌گردد

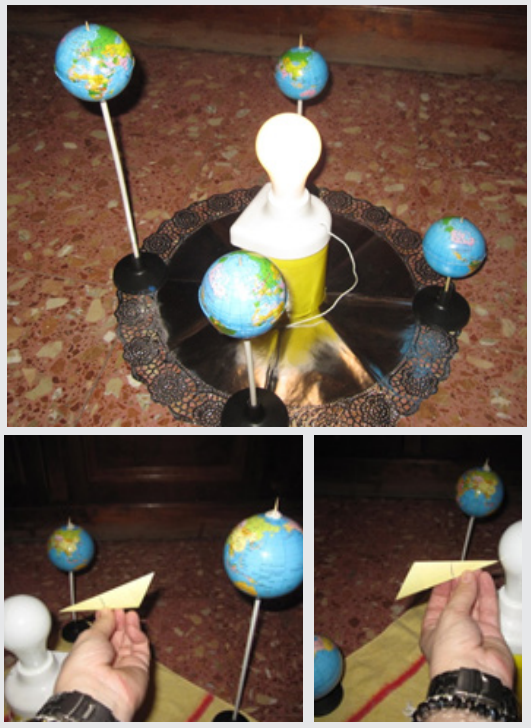
همانطور که می‌دانید، زمین حول محور خود می‌چرخد که نتیجه آن پیدایش روز و شب است. محور چرخش همان چیزی است که ستاره‌شناسان باستان آن را محور زمین می‌نامیدند؛ زیرا به نظر می‌رسید که آسمان به دور این محور حرکت می‌کند (آسمان روز و آسمان شب). اما زمین در یک مدار بیضی می‌چرخد و خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد. به صورت تقریبی این حرکت را می‌توان دایره‌ای در نظر گرفت. (از آنجا که خروج از محور مدار بیضی زمین تقریبا صفر است، یعنی مدار تقریباً یک دایره است).



شکل ۱: نمایی از حرکت انتقالی زمین. زاویه بین خط استوای زمینی و صفحه دایرةالبروج ۲۳٫۵درجه است. زاویه بین محور چرخشی زمین و محور عمود بر صفحه دایرةالبروج ۲۳٫۵ درجه است.

یک سال زمان نیازاست تا زمین یک دور کامل در مدار خود به دور خورشید بگردد؛ همچنین این گردش را در صفحه‌ای به نام دایرةالبروج انجام می‌دهد که عمود بر محور چرخشی زمین نیست و مقداری انحراف دارد. زاویه بین محور چرخشی زمینی و محور عمود بر صفحه دایره البروج ۲۳٫۵ درجه است. به همین ترتیب، زاویه بین سطح استوای زمینی و صفحه دایره البروج ۲۳٫۵ درجه است (شکل ۱). این انحراف باعث پیدایش فصول می‌شود. برای تجسم این پدیده می‌خواهیم یک مدل کوچک بسازیم (شکل ۲).

برای نشان دادن این پدیده از چهار کره و یک لامپ به‌عنوان خورشید که در مرکز قرار دارد، استفاده می‌کنیم. بهتر است که استوا و قطب‌ها را روی سطح زمین ترسیم کنیم تا مشخص باشند. سپس با توجه به اندازه مدل کره‌ای که داریم، فواصل را برای ساخت مدل تنظیم می‌کنیم. در اینجا ما از کره‌هایی با قطر ۸ سانتی متر استفاده می‌کنیم. یک تکه سفره یا کاغذ کوچک مربعی که طول قطر آن تقریباً ۲۵ سانتی متر است را تهیه می‌کنیم. با استفاده از ۴ چوب به ترتیب با ارتفاع های ۳، ۱۵، ۲۵ و ۱۵ سانتی متر چهار کره را به شکلی متقاطع قرار می‌دهیم (هر یک در مقابل دیگری باشد، شکل ۲). مقادیر به گونه‌ای محاسبه شده‌اند که شیب صفحه استوا نسبت به صفحه دایرةالبروج حدود ۲۳ درجه باشد.



شکل ۲الف ، ۲ب و۲ج: چهار کره که نمایانگر زمین و لامپی که خورشید را نشان می‌دهد، موقعیت‌های نسبی آنها باید به گونه‌ای باشد که خطی که از مرکز خورشید و مرکز کره می‌گذرد (صفحه دایره البروج)، با صفحه استوای زمین زاویه ۲۳° بسازد.

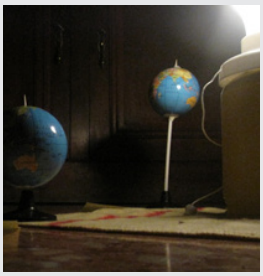
مدل را در یک اتاق تاریک قرار داده و لامپ را روشن می‌کنیم (می توان از شمع به جای لامپ استفاده نمود، اما دقت کنید که نسبت ارتفاعات را به درستی رعایت کنید). بدیهی است که کره در موقعیت A در نیمکره شمالی از نور بیشتری نسبت به کره در موقعیت C برخوردار است (شکل ۳) ، در حالی که منطقه روشن شده نیمکره جنوبی در C بیشتر از A است. در موقعیت‌های B و D ، هر دو نیمکره به یک اندازه روشن هستند. به این حالت اعتدال بهاری و پاییزی گفته می‌شود. در مواقعی که نیم کره منطقه روشنایی بیشتری دارد می‌گوییم تابستان است و وقتی کمتر است، زمستان؛ در نتیجه وقتی زمین در موقعیت A قرار دارد، تابستان در نیمکره شمالی و زمستان در نیمکره جنوبی است.

هنگامی که زمین در موقعیت C قرار دارد، زمستان در نیمکره شمالی و تابستان در نیمکره جنوبی است.

شکل ۳: مدل حرکت انتقالی که فصل‌ها را توضیح می‌دهد. هنگامی که زمین در موقعیت A قرار دارد، در نیمکره شمالی تابستان و در نیمکره جنوبی زمستان است. هنگامی که زمین در موقعیت C قرار دارد ، زمستان در نیمکره شمالی و تابستان در نیمکره جنوبی است. و هنگامی که زمین در موقعیت های Dو B قرار دارد و نیم کره ها به یک اندازه روشن می‌شوند، اعتدال‌ها رخ می‌دهند و طول شب و روز برابر می‌شود.

این مدل فرصت ارزشمندی را برای مطالعه فراهم می‌کند؛ زیرا اگر تصور کنیم فردی در یکی از نیمکره‌ها زندگی می‌کند، خواهیم دید که او با توجه به هر فصل خورشید را در ارتفاع متفاوتی می‌بیند. به‌عنوان مثال، شخصی را در نیم کره شمالی در نظر بگیریم، اگر این فرد در موقعیت A قرار داشته باشد، خورشید را در ۲۳٫۵° بالای صفحه استوای آسمان می‌بیند (شکل 4a). اما اگر او در نیمکره شمالی و در موقعیت C قرار داشته باشد، خورشید را در زیر استوا و در زاویه ۲۳٫۵°- مشاهده می‌کند (شکل 4b). وقتی او در موقعیت‌های B و D قرار دارد، خورشید را دقیقاً روی استوا، یعنی ۰ درجه بالای استوا می‌بیند.

شکل ٤b: نیمکره شمالی در موقعیت C زمستان است و زاویه خورشید ۲۳٫۵° زیر استوا است. با این حال، در نیمکره جنوبی تابستان است.



شکل ٤a: نیمکره شمالی در موقعیت A تابستان است و خورشید ۲۳٫۵° بالاتر از استوا قرار دارد. در حالیکه در نیمکره جنوبی زمستان است.

زمین موازی

موقعیت مدل قبل "زمین از بیرون" که از آن استفاده کردیم، از موقعیت مکانی ما قابل مشاهده نیست. در حقیقت، این امر بسیار غیرممکن به نظر می‌رسد؛ زیرا ما روی زمین قرار داریم و فقط یک فضانورد از سفینه فضایی می‌تواند زمین را از بیرون ببیند. اما یک راه حل ساده وجود دارد که به شما امکان می‌دهد هر روز و هر ساعت زمین را از بیرون دیده و روشن شدن سطح آن را مشاهده کنید. بیایید از مدل "زمین موازی" استفاده کنیم؛ یعنی یک کره دیگر که مانند زمین است، توسط منبع مشابه، یعنی خورشید روشن می‌گردد.

شکل ۵: یک نورافکن دو توپ را به یک روش روشن کرده و نواحی تاریک و روشن را ایجاد می‌کند

اگر یک نورافکن به دو کره بتابد، مناطق روشن و سایه‌ای که

در هر دو کره به وجود می‌آید، به صورت یکسان خواهد بود. (شکل ۵) ، بنابراین اگر ما یک کره را در جهت صحیح قرار دهیم، روشنی آن کره شبیه به کره ای است که بر روی آن قرار دارد یعنی زمین! در واقع ما می‌توانیم مانند یک فضانورد که در فاصله‌ای بسیار دورتر از ISS قرار دارد به آن نگاه کنیم.

طبق معمول ما از کره استفاده می‌کنیم؛ پایه آن را برداشته و روی یک لیوان قرار می‌دهیم و محور چرخش کره را در همان جهتی که واقعاً محور زمین قرار دارد، می‌گذاریم (ما از قطب‌نما برای پیدا کردن شمال-جنوب کمک می‌گیریم). همچنین باید کره را طوری بچرخانیم که موقعیت شهر ما در بالای کره قرار داشته باشد، زیرا در هر کجای دنیا که زندگی می‌کنیم، اگر روی سطح زمین به هر جهتی کیلومترها حرکت کنیم و در هر مکانی که می‌خواهیم بایستیم بالاخره روی سطح کره زمین قرار داریم . بنابراین موقعیت ما همیشه در بالای کره است.

شکل ۶a : در این مدل از پایه های معمولی کره استفاده نمی‌کنیم. باید کره را در محیط باز و روی یک لیوان به صورت متمایل قرار دهیم. همچنین مکانی که ما در آنجا هستیم در بالا قرار داشته باشد تا یک مدل واقعی باشد.

شکل ۶b : می‌توان یک عروسک را روی موقعیت مورد نظر قرار داد و از خاک رس برای مشخص کردن مرز سایه - روشن استفاده نمود. با گذشت چند ساعت مرز سایه -روشن جابه جا می‌شود. همچنین می‌توان چند تکه چوب کوچک بر روی کره قرار داد و سایه‌های بوجود آمده را بررسی کرد.

در نتیجه، ما برای پیدا کردن جهت شمال و جنوب از قطب نما استفاده می‌کنیم و شهر ما در بالاترین موقعیت روی کره قرارگیرد (شکل ۶a) برای اینکه مطمئن شویم کره به طور صحیح قرار گرفته است، می‌توانیم یک مداد را روی سطح کره قراردهیم، اگر مداد در بالای آن قرار گیرد و سقوط نکند کره در جهت مناسب قرار دارد، اما اگر مداد افتاد باید تا زمانی که پایداری مداد اصلاح شود، کره را بچرخانیم. ما می‌توانیم با قرار دادن یک عروسک، این موقعیت را نشان دهیم (شکل ۶b).

با تکه‌های "خاک رس" می‌توانیم خط مرز روشنایی و سایه را مشخص کنیم و ببینیم که با گذشت ساعت‌ها چگونه به آهستگی در سطح کره زمین حرکت می‌کند تا شب فرا می‌رسد. ما می‌توانیم تکه های کوچک از چوب را به عنوان شاخص قرار دهیم و ببینیم سایه‌ها چگونه هستند و در طول روز چگونه حرکت می‌کنند؛ تا بتوانیم اثرات حرکت چرخشی کره زمین را تجسم کنیم (شکل ۶b).

شکل ۷a : در نیمکره شمالی ، قطب شمال در منطقه آفتابی قرار دارد، بنابراین به معنای تابستان برای این نیمکره است و ما پدیده خورشید نیمه شب را مشاهده می‌کنیم. در نیمکره جنوبی قطب جنوبی در سایه قرار دارد، بنابراین آنجا زمستان است.

شکل ۷b : قطب شمال در سایه است، بنابراین در نیم کره شمالی زمستان است. در نیمکره جنوبی قطب جنوب روشن بوه و بنابراین در آن نیم کره تابستان است. شکل ۷b: در روز اول بهار یا روز اول پاییز خط جدا کننده روز و شب از هر دو قطب عبور می‌کند.

نکته جالب، شبیه سازی حرکت انتقالی است که به کمک این مدل می‌توان چگونگی جابه جایی خط سایه روشن را در طول سال تجسم کرد؛ بنابراین می‌توانیم تابستان (شکل ۷a)، زمستان (شکل ۷b) و اعتدالین (شکل ۷c) را مانند مدل چهار کره که در ابتدا ساختیم، مشاهده کنیم (شکل ۳).

اما پس از استفاده از این دو مدل، ضروری است که مدل واقعی را برای ناظری که روی زمین قرار دارد و حرکت ستارگان را هر روز نسبت به افق مشاهده می‌کند، توضیح داد. مدل ما، یک مدل براساس افق محلی ناظر است؛ یعنی مدلی براساس مشاهدات واقعی ناظر.

رصد

معلمان رشته‌های مختلف علمی (مکانیک، برق، شیمی، زیست شناسی و...) تمایل دارند بگویند که کار در یک مرکز علمی بدون آزمایشگاه امکان پذیر نیست. از این لحاظ معلمان ستاره‌شناسی باید خوشحال باشند زیرا همیشه آزمایشگاه نجومی دارند که در دسترس است. همه مؤسسات و مدارس محوطه‌ای دارند که دانش‌آموزان درآن بازی می‌کنند: زمین بازی در فضای باز یا حیاط؛ اما این مکان‌ها تنها محلی برای بازی کردن نیستند؛ بلکه آزمایشگاه‌های ستاره‌شناسی نیز هستند: بنابراین ما در هر مدرسه یا مؤسسه به یک آزمایشگاه عظیم دسترسی داریم و این یک فرصت ارزشمند است.

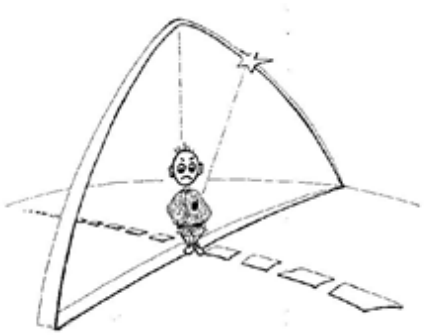
شکل ۸: تصور کلاسیک از کره آسمانی

مشکل وقتی بروز می‌کند که دانش آموز از حیاط مدرسه برای انجام فعالیت‌های عملی نجوم استفاده می‌کند؛ اما هیچ ارتباطی بین آموزه‌های معلم در مورد کره سماوی در کلاس درس و زیر آسمان پیدا نمی‌کند.

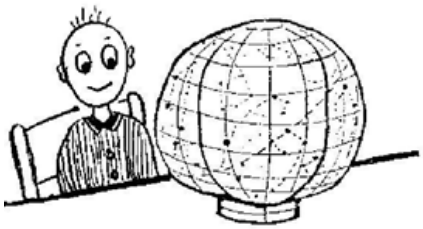
وقتی که معلم به صورت تئوری روی تخته سیاه و یا با استفاده از مدل‌ها در مورد نصف‌النهارها و مدارها یا مختصات صحبت می‌کند، شکل‌هایی مانند شکل ۸ را ارائه می‌دهد. این مباحث خیلی سخت نیست و دانش‌آموزان بدون مشکل آن را درک می‌کنند؛ زیرا مشابه شکل‌هایی است که دانش‌آموزان قبلاً با چشمان خود دیده‌اند و از نمونه‌های آن‌ها در درس جغرافیا استفاده کرده‌اند (شکل ۹).

مشکلات از زمانی شروع می‌شود که ما در حال مشاهده آسمان هستیم و هیچ خطی در آنجا وجود ندارد. مشاهده محور چرخش زمین امکان‌پذیر نیست و یافتن مرجع در آسمان واقعاً کار آسانی نیست. حالا مشکل اصلی این است که در کلاس درس دانش‌آموز درون کره سماوی است، اما اطلاعاتی را که ما به دانش‌آموز ارائه داده‌ایم بر این اساس است که از بیرون به آسمان بنگرد؛ بنابراین درک این شرایط جدید که در داخل کره است موضوع ساده ای نیست (شکل ۱۰).

بدیهی است که پس از این تجارب، باید به فکر تغییر نحوه تدریس خود در کلاس درس باشیم. می‌توان توضیحات را از دید ناظری که درون کره سماوی قرار دارد بیان کرد؛ در این صورت این روش ساده تر بوده و به شرایط واقعی ناظر نیز نزدیکتر است، اما بیان مطالب تنها به این روش کافی نیست. دانش‌آموزان باید بتوانند هر کتاب نجومی را مطالعه کنند و مفهوم کره سماوی از دید ناظر بیرونی که در کتاب‌های علمی از آن بسیار استفاده شده است را درک کنند. در این شرایط می‌توان به فکر ساختن الگویی برای دانش‌آموزان بود که امکان مقایسه هر دو دیدگاه را فراهم می‌کند و همچنین "باعث می‌شود خطوط آسمان قابل رؤیت بوده" و درک بهتری از افق را ارائه می‌دهد.



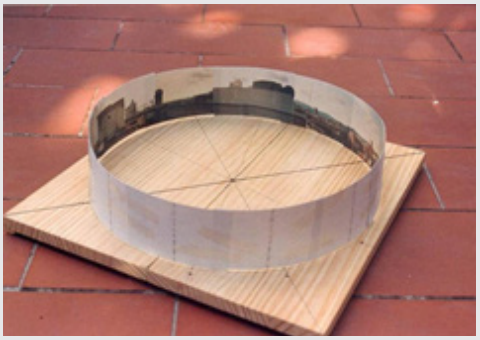
شکل ۹: کره سماوی از دید ناظر بیرونی



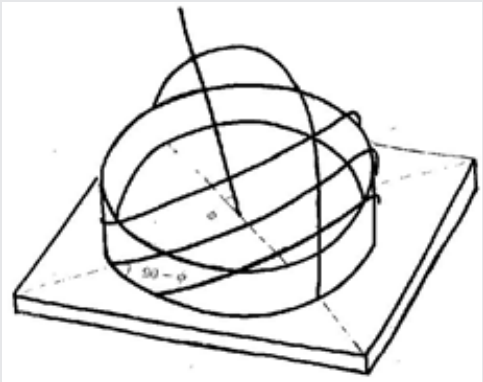
شکل ۱۰: کره سماوی از دید ناظر درونی

مدل افق محلی

ما با گرفتن عکس از افق شروع می‌کنیم. گرفتن عکس از افق با دوربین و سه پایه از هر مکان از حیاط مدرسه - اگر ساختمان‌ها به ما اجازه دهند - یا حتی بالکنی با افق باز، بسیار ساده است. (ما موقعیت سه پایه را با رنگ یا گچ برروی زمین مشخص خواهیم کرد). انتخاب مکان مناسب بسیار مهم است، زیرا ایده اصلی این است که در طی هر مشاهده، مدل را در آن جا مستقر کنیم. هنگام گرفتن عکس‌ها ، لازم است که هر عکس یک قسمت مشترک با عکس بعدی داشته باشد، و سپس می‌توان همه عکس‌ها را زنجیروار به هم متصل کرده تا تصویر افق را به صورت یک تصویر پارانورما داشته باشیم.



شکل ۱۱: افق محلی.

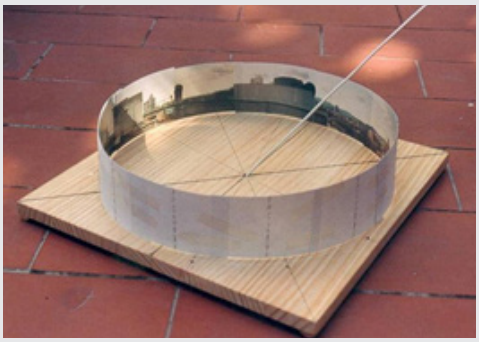


شکل ۱۲: مدلی که افق و محور قطبی را نشان می‌دهد

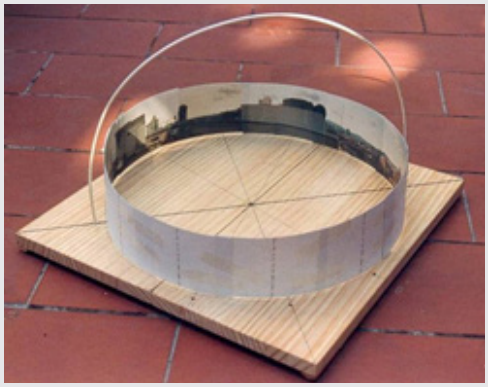
وقتی همه عکس ها را گرفتیم آن‌ها را یکی یکی در کنار هم به یک‌دیگر وصل می‌کنیم؛ سپس استوانه بدست آمده را بر روی یک صفحه مربع چوبی در همان محلی(شهر) که عکس‌ها را گرفته‌ایم، می‌چسبانیم. (شکل ۱۲). بسیار مهم است که همه عکس‌ها را مطابق با افق واقعی قرار دهیم.

سپس محور چرخش زمینی را معرفی می‌کنیم. با در نظر گرفتن عرض جغرافیایی محل، یک شاخص را با شیب (عرض جغرافیایی) محل در مدل قرار می‌دهیم (شکل ۱۲).

می توان محور چرخشی مدل را با این مقدار تنظیم کرد. از آنجا که این مدل با توجه به افق محلی جهت‌گیری می‌شود ، از یک شاخص بلند برای نشان دادن محور واقعی چرخش، تعیین مکان قطب جنوب و تصور جهت جنوب استفاده می‌کنیم (شکل ۱۳). بدیهی است که به راحتی می‌توان جهت شمال و قطب شمال را معرفی کرد. بعداً ما می‌توانیم خط مستقیم از شمال-جنوب را در مدل و همچنین در زمین یا در بالکن که در آن عکس گرفته‌ایم بکشیم (با همان روش معمولی که قبلا خط شمال جنوب را مشخص می‌کردیم). کشیدن این خط بسیار مهم است زیرا هر بار که از این مدل استفاده می‌کنیم ، ناگزیر به جهت‌گیری آن خواهیم بود و داشتن این خط مستقیم شمالی - جنوبی برای تسهیل کار بسیار مفید است. (می‌توانیم با یک قطب‌نما، جهت این مسیر را تأیید کنیم).



شکل ۱۳: مدل با حلقه افق و محور قطبی



شکل ۱۴: مدل با نصف النهار محلی

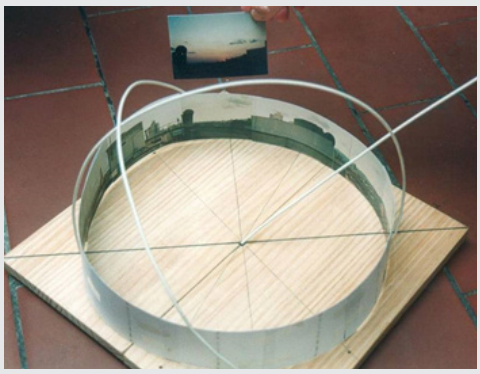
مرحله بعدی کار تعیین نصف النهار مکان است. مشخص کردن نصف النهار محلی بسیار آسان است، اما شبیه سازی و تحلیل آن برای دانش‌آموزان یک کار ساده نیست (شاید به این دلیل که هر کس نصف النهار خود را دارد). ما می‌توانیم روی مدل یک سیم را که ازنقاط شمال و جنوب و همچنین محور زمین می‌گذرد نصب کنیم (شکل ۱۴). در واقع این سیم نشانگر نصف النهار مکان در مدل است، که به ما اجازه می‌دهد تا خط نصف النهار محلی را در آسمان تصور کنیم. اکنون تصور نصف النهار به سادگی امکان پذیر است زیرا در همان مکان‌هایی وجود دارد که دانش‌آموز در مدل می‌بیند. نصف النهار محلی از همان ساختمانی که در عکس و در افق واقعی وجود دارد شروع می‌شود و پس از عبور از بالای سر، به همان ساختمانی که به لطف سیمی که کشیدیم و در عکس مشخص است می‌رسد.

روند معرفی استوا پیچیده‌تر است. یک روش بیان این است که استوا خط شرقی - غربی است. اگرچه این راه حل بسیار ساده است، اما از دیدگاه آموزشی چندان سودمند نیست. برای این منظور دوباره به عکاسی رو می‌آوریم، دوباره دوربین و سه پایه را در همان محلی که از افق عکس گرفته بودیم قرار می‌دهیم (این همان دلیلی است که ما مکان عکاسی‌مان را بر روی زمین نشانه گذاری کردیم). به کمک دوربین نصب بر روی سه پایه، از طلوع و غروب خورشید در اولین روز بهار و پاییز عکس می‌گیریم. در این حالت دو عکس از موقعیت دقیق جهت‌های شرق و غرب در افق خواهیم داشت که با توجه به عکس‌ها در بالای افق واقعی قراردارد.

با استفاده از یک سیم عمود بر محور چرخش زمین، استوای سماوی را شبیه سازی می‌کنیم. این سیم در جهت شرقی و غربی بسته می‌شود (در صفحه افقی که عمود بر راستای شمال - جنوب است). با این وجود، ثابت کردن این سیم بر روی سیمی که نماد محور چرخش است کار ساده‌ای نیست؛ زیرا محور چرخش متمایل است و بدیهی است که استوا نیز متمایل می‌شود. اما حالا این سؤال ایجاد می‌شود که این تمایل برای چیست.

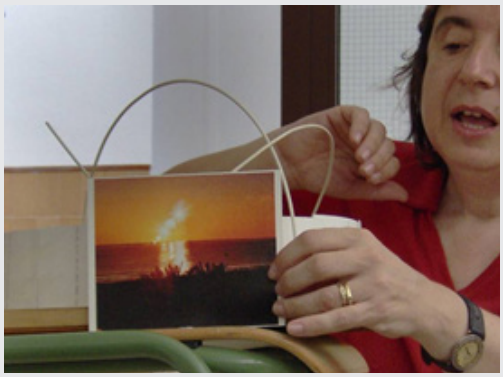
ما در روز اول بهار یا تابستان چهار، پنج عکس از طلوع آفتاب می‌گیریم. عکس گرفتن از خورشید هنگامی که در آسمان ارتفاع گرفته باشد، خطرناک است، اما در هنگام طلوع یا غروب خورشید چون جو زمین مانند یک فیلتر عمل می‌کند، ایمن است. ما با استفاده از نرم افزار مناسب همه عکس‌ها را بر روی هم قرار می‌دهیم (از یک مرجع به عنوان افق استفاده می‌کنیم)، حال می‌توان انحراف خورشید را در افق نشان داد. این تصویر میزان شیبی که لازم است سیم استوایی ما در مدل داشته باشد را مشخص می‌کند (شکل ۱۶). با استفاده از دو عکس در جهت‌های شرقی و غربی، می‌توان میزان انحراف رد ستاره‌ها در استوا را نیز مشخص کرد. بنابراین می‌توان سیمی را که نماد استوای سماوی است در جای خود قرار داد. اکنون نقاط ثابت و همچنین میزان شیب‌ها را می‌دانیم؛ بنابراین می‌توان سیم استوای سماوی را روی قاب چسبانده و نصف النهار محلی را نیز ثابت نگه داشت (شکل ۱۶).

اگر خورشید را به عنوان یک ستاره معمولی در نظر بگیریم (خورشید به علت نزدیکی به ما، برایمان مهمترین ستاره است؛ اما عملکرد آن با ستاره‌های دیگر تفاوت چندانی ندارد) ، می‌توانیم تمایل مسیر ستاره‌ها را هنگام طلوع یا غروب بدست آوریم. برای این کار باید با توجه به افق دو عکس از این لحظات را در جهت‌های شرق و غرب بگیریم (شکل ۱۷).

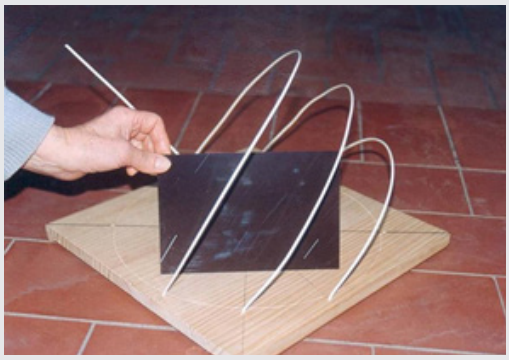


شکل ۱۵: مکان غروب آفتاب در اعتدال بهاری یا پاییزی

ممکن است گرفتن عکس‌های گفته شده در پاراگراف قبلی در شهری که مدرسه در آن قرار دارد، غیر ممکن باشد. برای این منظور باید به حومه شهر، جایی که آلودگی نوری نباشد رفت و با یک دوربین عکاسی سوار بر روی سه پایه نزدیک به ۱۰ دقیقه برای عکس مورد نظر نوردهی کرد. بسیار مهم است که دوربین به موازات افق قرار داشته باشد (می‌توان از یک تراز برای انجام این کار استفاده کرد).



شکل ۱۶: رد از طلوع آفتاب



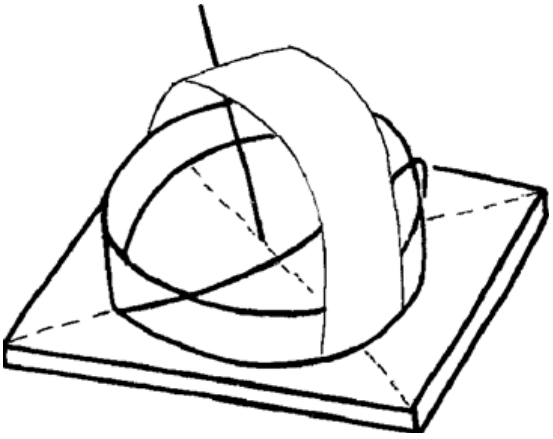
شکل ۱۷ : رد ستارگان در شرق

از این فرصت برای جمع‌آوری یک نمونه کار کوچک از مجموعه عکس‌ها استفاده کنید. به عنوان مثال، شما می‌توانید یک عکس با نوردهی ۱۵ دقیقه از یکی از قطب‌ها بگیرید، تصویر دیگری از منطقه بالاتر و در امتداد نصف النهار محلی بگیرید، عکس دیگری بعد از همان نصف النهار و... تا زمانی که به تصویری که در افق است برسید. پیشنهاد می‌شود که از همه طول نصف النهار مکان که از شمال به جنوب کشیده شده و از بالای سرمان عبور می‌کند، عکاسی کنیم. بدیهی است که نصف النهار محلی در منطقه‌ای که ما تصمیم به گرفتن عکس گرفتیم با مدرسه مشابه نیست، اما دانش‌آموزان می‌توانند به راحتی این تفاوت کوچک را درک کنند.

وقتی همه عکس‌ها را داریم، می‌توانیم با همه آن‌ها یک نوار نصف النهار بسازیم. با استفاده از این نوار، دانش‌آموزان می‌توانند حرکت کره سماوی در اطراف محور چرخش زمین را بهتر درک کنند. جالب این‌جاست که در هنگام عکس برداری با نوردهی طولانی، طول مسیرهای طی شده توسط ستارگان متفاوت خواهد بود. حداقل طول در قطب و حداکثر آن در استوا قرار دارد. همچنین شکل آن‌ها نیز متفاوت است. در خط استوا، مسیر ستارگان به صورت خطی مستقیم است؛ در حالیکه در ناحیه نزدیک قطب، بالای خط استوا، خطوط منحنی به صورت مقعر و در زیر خط استوا خطوط منحنی به صورت محدب هستند. اگر پرینت کاغذی بزگ از تصاویر تهیه کنیم، می‌توان نوارها را روی سر دانش‌آموزان گذاشت و به آنها اجازه دهیم حرکت را بهتر درک کنند.

می‌توان با گرفتن دو عکس در جهت شرق و غرب، تمایل رد ستاره‌ها در خط استوا را متوجه شد، علاوه بر آن می‌توان محل سیم را که نمادی از استوای سماوی است را بدون مشکل پیدا کرد. ما نقاط مورد نظر برای سفت کردن سیم بر روی صفحه چوبی و شیب آن را می‌دانیم، بنابراین سیم را به صفحه چوبی و نصف النهار مکان وصل می‌کنیم(شکل۱۱)

به سادگی می‌توان عکس‌های نصف النهار مکان مورد نظر را به صورت یک نوار بر روی مدل قرار داد. برای این منظور از تصاویر کپی تهیه کرده و در محل قطب شمال، سوراخی که نشانگر محور چرخش باشد، ایجاد نموده و آن را روی مدل قرار می‌دهیم. سیم استوای سماوی، با مسیر مستقیم رد ستارگان بر روی نوار منطبق خواهد بود(شکل۱۸).

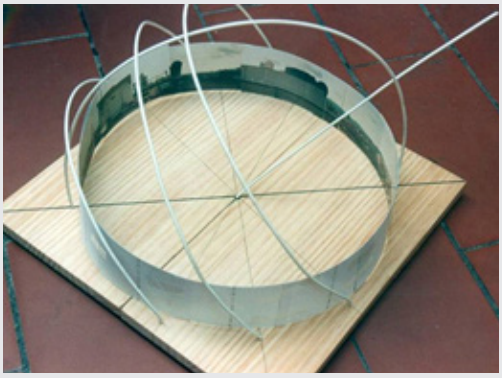


شکل ۱۸: عکس های نصف النهار مکان

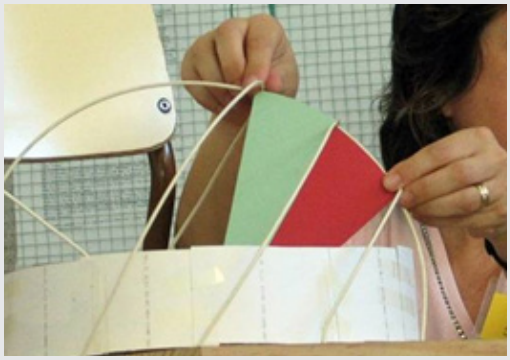
با استفاده از این مدل می‌توان امکان مشاهده کره سماوی را هم از داخل و هم خارج از آن به دانش‌آموزان داد.

اگر دوباره از طلوع و غروب خورشید در روز اول زمستان و تابستان عکس بگیریم، دانش‌آموزان می‌توانند ببینند که مکان‌های طلوع و غروب خورشید در شهرشان به طور شگفت انگیزی بسیار متفاوت است. همچنین می‌توانید به موازات استوا، مدارهای رأس السرطان و رأس الجدی را با شیبی مشابه، تنظیم کرد. با استفاده از یک نقاله ساده می‌توان دید که زاویه داخلی بین مدار رأس السرطان و استوا در حدود ۲۳ است. این زاویه برای مدار راس الجدی و استوا نیز همین مقدار

است. (شکل ۱۹ و ۲۰)



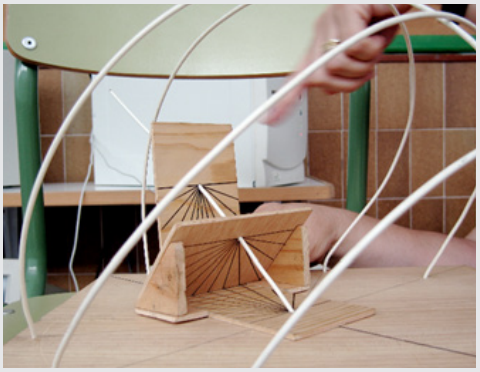
شکل ۱۹: مسیرهای خورشید در روز اول هر فصل. مکان غروب و طلوع خورشید فقط در دو روز اعتدالین با هم منطبق هستند



شکل ۲۰: زاویه بین مسیر در روز اول دو فصل متوالی ۲۳٫۵ است

برای دانش آموزان دانستن اینکه مکان طلوع وغروب خورشید همیشه دقیقا در شرق و غرب نیست، بسیار جالب است.

در کتاب‌های بسیاری بیان شده که خورشید در شرق طلوع و در غرب غروب می‌کند. اما دانش‌آموزان می‌توانند ببینند که تنها در دو روز از سال خورشید دقیقا از شرق طلوع و در غرب غروب می‌کند (شکل های ۱۹ و ۲۰)



شکل ۲۱: یک مدل بزرگ ساعت آفتابی که سه نوع از آن را نمایش می‌دهد

بنابراین، دانش‌آموزان به صورت عملی و همزمان کره سماوی را از درون (کره واقعی) و از خارج کره (به کمک مدل) می‌بینند. با چنین مدلی، دانش‌آموزان می‌توانند محیط خود را بهتر درک کنند و سؤالات مربوط به آن را به راحتی حل کنند. آنها همچنین می‌توانند منطقه‌ای که مربوط حرکت خورشید است (بین مدارهای مدل) را نشان دهند و آن را در بالای آسمان و افق واقعی شهر تصور کنند. جهت یابی نیز برایشان به راحتی آب خوردن می‌شود.

ساعت آفتابی

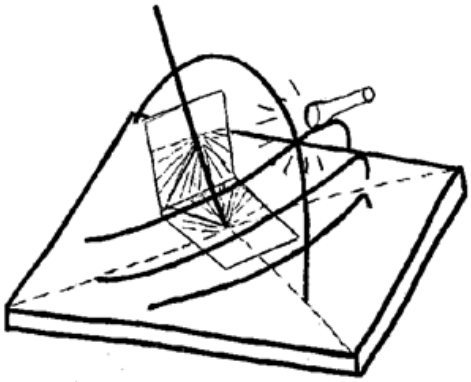
به سراغ یک مدل کاربردی دیگر یعنی، ساعت آفتابی می‌رویم. برای توضیح ساختار ساعت به روشی ساده و آموزشی، بهتر است فقط به افق و حرکت خورشید توجه کنیم. در ابتدا به آسانی متوجه می‌شویم که محور چرخش زمین به عقربه ساعت آفتابی تبدیل می‌شود.

اگر یک چراغ قوه را در راستای صفحه استوایی و بر روی مدار رأس‌السرطان حرکت دهیم، می‌توانیم سایه عقربه ساعت آفتابی (که شاخص نشانگر محور چرخش زمین است) را ببینیم که از ربع چهارم استوایی می‌گذرد. از طرف دیگر، هنگامی که چراغ قوه را در رأس الجدی حرکت می‌دهیم ، سایه در ناحیه زیر صفحه ظاهر می‌شود و مشخص است که وقتی چراغ قوه روی استوا قرار می‌گیرد، هیچ سایه‌ای تشکیل نمی‌شود. بنابراین، به راحتی می‌توان تأیید کرد که ساعت استوایی در تابستان و بهار با نشان دادن ساعت بر روی صفحه کار می‌کند و در زمستان و پاییز، ساعت‌ها را در زیر آن نشان می‌دهند؛ همچنین این ساعت در دو روز از سال یعنی دو روز اعتدالین، کار نمی‌کند.

با در نظر گرفتن صفحه استوایی افقی و عمودی (با جهت شرقی - غربی) می‌توانیم ببینیم که در سه ربع، (سه چهارم صفحه) چراغ قوه ساعت یکسانی را نشان می‌دهد (شکل ۲۱). همچنین ساعت‌ها در صبح و بعد از ظهر در ساعت خورشیدی یکسان است و سایه شاخص به یک اندازه است. بدیهی است که در سه ساعت، زمان یکسان است. به راحتی می‌توان مشخص کرد که در کدام منطقه باید ساعت‌های صبح و بعد از ظهر را برای هر ساعت ترسیم کرد. (همه معلمان در بعضی مناطق با ساخت ساعت آفتابی با مشکل مواجه شده‌اند، اما با استفاده از این مدل دیگر این اتفاق نمی‌افتد).

اگر چراغ قوه را در امتداد مدارهای رأس السرطان و رأس الجدی جابه‌جا کنیم، به راحتی می‌توان مسیر نور تابیده شده از چراغ قوه را که به صورت مخروط‌های متفاوت بر صفحه می‌تابد، مشاهده کرد. در حالت اول (نخستین روز تابستان)،

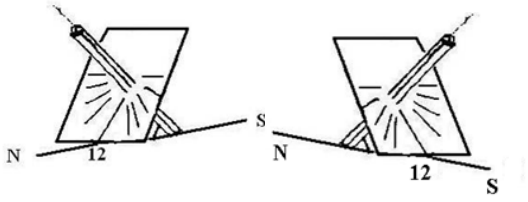
مخروط تقریباً دایره‌ای شکل است و منطقه مورد تابش واقع شده به وضوح کوچکتر از حالت دوم است. در حالت دوم و در مدار بعدی (روز اول زمستان)، این قسمت بیضوی است و منطقه محصور شده بسیار بیشتر است. پس دانش‌آموزان به راحتی می‌توانند درک کنند که تابش در حالت اول بسیار متمرکز است، یعنی دمای سطح در تابستان بیشتر است و در مدل نیز کاملاً مشهود است که ساعت تابش خورشید بیشتر است. پیامد طبیعی آن این است که تابستان گرمتر از زمستان است (شکل ۲۲).



شکل ۲۲: ساعت ها و فصل ها

ما از این فرصت برای آشنایی با وسایل مورد نیاز در ساخت ساعت آفتابی استفاده خواهیم کرد.

ساخت یک ساعت آفتابی استوایی بسیار آسان است؛ فقط کافی است شاخص را در جهت محور چرخش زمین، یعنی در جهت شمال به جنوب قرار دهید (یک قطب نما می‌تواند به ما کمک کند) و به اندازه عرض جغرافیایی محل، ارتفاع آن را تنظم کنید (شکل ۲۳ و ۲۴) شاخص هر ساعت همیشه به همین روش قرار می‌گیرد.

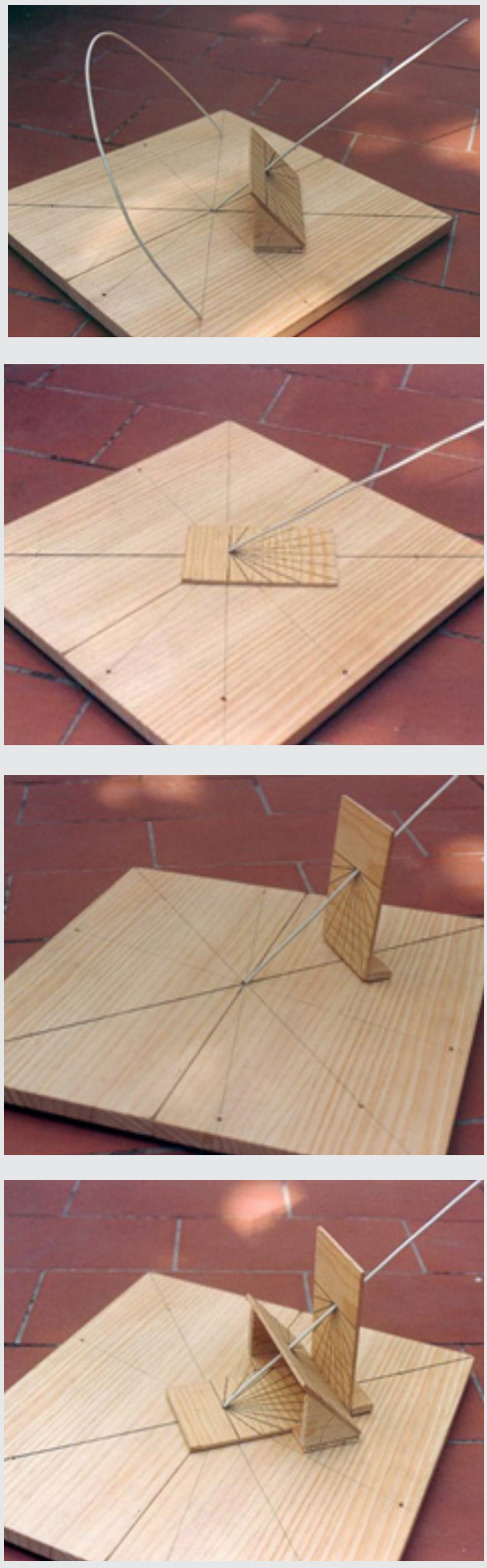


شکل ۲۴: ساعت استوایی مورد استفاده در نیمکره جنوبی

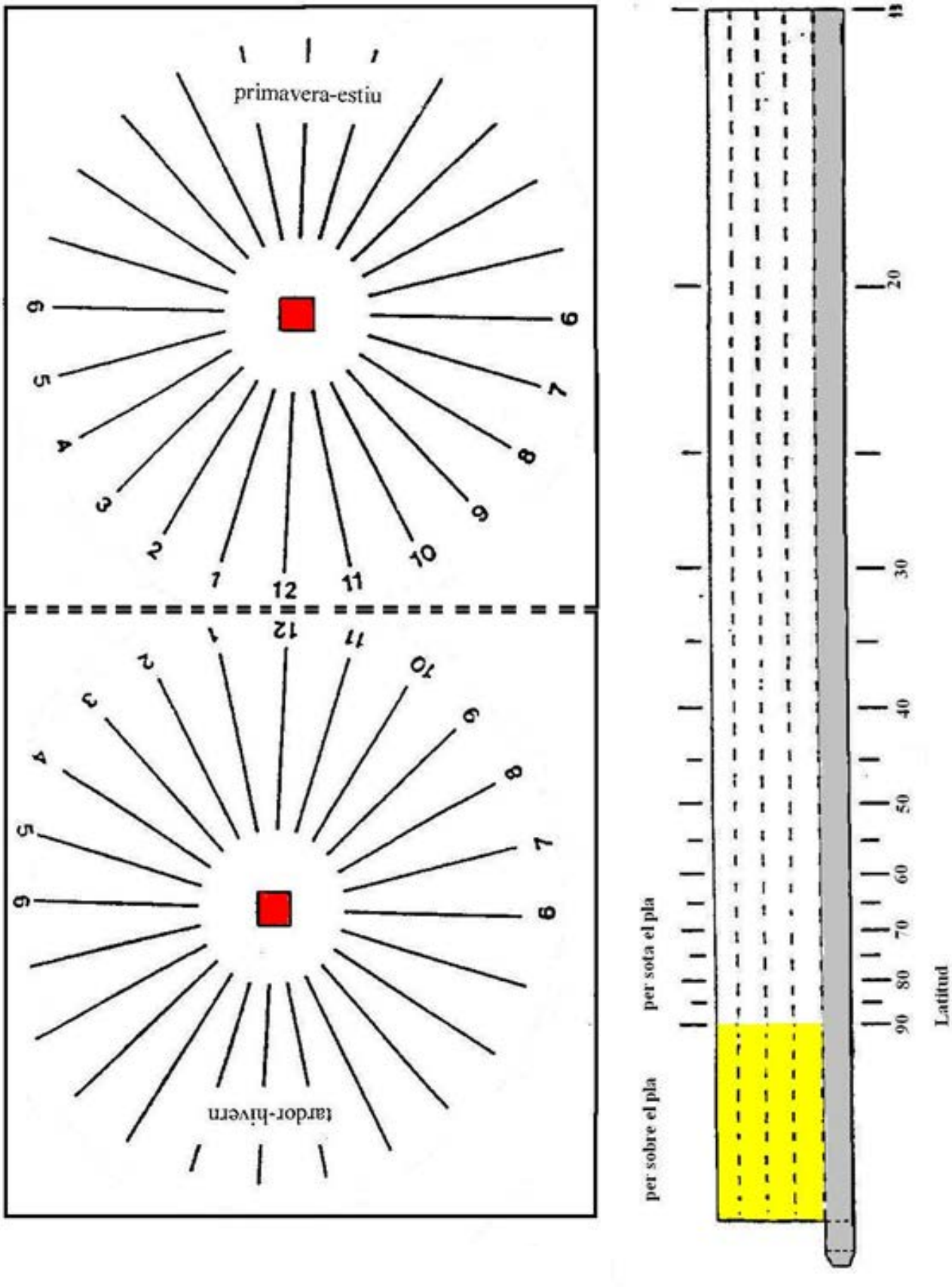
شکل ۲۳: ساعت استوایی مورد استفاده در نیمکره شمالی

فاصله بین خطوط ساعت استوایی (فاصله لبن ۱۵ درجه (شکل۲۵a و ۲۵b) ترسیم می‌شوند؛ زیرا خورشید در ۲۴ ساعت چرخش ۳۶۰ درجه را می‌دهد. اگر۳۶۰ را به ۲۴ تقسیم کنیم ، فاصله هر ساعت ۱۵ درجه می‌شود.

خطوط ساعت های افقی و عمودی، با در نظر گرفتن عرض جغرافیایی محل و طرح خطوط استوایی به دست می‌آیند



شکل ۲۶a, ۲۶b, ۲۶c y ۲۶d : تصاویری از چند ساعت



شکل۲۵ الف و۲۵ ب: طرح ساعت استوایی.

Gen	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	days
+ ۳٫۴	+ ۱۳٫۶	+ ۱۲٫۵	+ ۴٫۱	− ۲٫۹	− ۲٫۴	+ ۳٫۶	+ ۶٫۳	+ ۰٫۲	− ۱۰٫۱	− ۱۶٫۴	− ۱۱٫۲	۱
+ ۵٫۷	+ ۵٫۱	+ ۱۱٫۲	+ ۲٫۶	− ۳٫۴	− ۱٫۶	+ ۴٫۵	+ ۵٫۹	− ۱٫۵	− ۱۱٫۷	− ۱۶٫۴	− ۹٫۲	۶
+ ۷٫۸	+ ۷٫۳	+ ۱۰٫۲	+ ۱٫۲	− ۳٫۷	− ۰٫۶	+ ۵٫۳	+ ۵٫۲	− ۳٫۲	− ۱۳٫۱	− ۱۶٫۰	− ۷٫۰	۱۱
+ ۹٫۷	+ ۹٫۲	+ ۸٫۹	− ۰٫۱	− ۳٫۸	+ ۰٫۴	+ ۵٫۹	+ ۴٫۳	− ۴٫۹	− ۱۴٫۳	− ۱۵٫۳	− ۴٫۶	۱۶
+ ۱۱٫۲	+ ۱۳٫۸	+ ۷٫۴	− ۱٫۲	− ۳٫۶	+ ۱٫۵	+ ۶٫۳	+ ۳٫۲	− ۶٫۷	− ۱۵٫۳	− ۱۴٫۳	− ۲٫۲	۲۱
+ ۱۲٫۵	+ ۱۳٫۱	+ ۵٫۹	− ۲٫۲	− ۳٫۲	+ ۲٫۶	+ ۶٫۴	+ ۱٫۹	− ۸٫۵	− ۱۵٫۹	− ۱۲٫۹	+ ۰٫۳	۲۶
+ ۱۳٫۴		+ ۴٫۴		− ۲٫۵		+ ۶٫۳	+ ۰٫۵		− ۱۶٫۳		+ ۲٫۸	۳۱

جدول ۱: معادله زمان

زمان خورشیدی و زمان در ساعت مچی

ساعت‌های آفتابی زمان خورشیدی را نشان می‌دهند که با ساعت‌هایی که همه ما بر روی مچ دست خود بسته‌ایم و استفاده می‌کنیم متفاوت است. برای این منظور باید چندین مورد را در نظر گرفت.

تنظیم طول جغرافیایی

زمین از نصف النهار مبدأ یا همان نصف النهار گرینویچ به ۲۴ منطقه زمانی تقسیم می‌شود. برای تنظیم طول جغرافیایی، نیاز است که طول جغرافیایی محلی و طول جغرافیایی نصف النهار "استاندارد" در منطقه خود آگاهی داشته باشید. اگر از نصف النهار مبدأ به سمت شرق حرکت کنیم از علامت "+" و اگر به سمت غرب حرکت کنیم از علامت"−" استفاده می‌کنیم. بایستی طول‌ها را بر اساس ساعت، دقیقه و ثانیه بیان کنیم (۱ درجه = ۴ دقیقه)

تنظیم ساعت تابستانه / زمستانه

تقریباً همه کشورها ساعت تابستانه و زمستانه دارند (استفاده از نور روز). در بعضی از کشورها بسته به تصمیم دولتمردان آن کشور معمولاً ساعت در تابستان یک ساعت به جلو کشیده می‌شود و در زمستان به عقب برمی‌گردد.

تنظیم معادله زمان

مطابق قانون مساحت کپلر، کره زمین به دور خورشید در یک مداری بیضی شکل می‌گردد، در نتیجه حرکت آن همیشه ثابت نیست و این امر یک مشکل جدی برای ساعت‌های مکانیکی ایجاد می‌کند. ساعت‌های مکانیکی میانگین زمان را به عنوان میانگین زمان در کل طول یک سال تعریف می‌کنند. معادله زمان تفاوت بین "زمان خورشیدی واقعی" و "میانگین زمان" است. این معادله در جدول ۱ جدول بندی شده است.

زمان خورشیدی + تنظیم کامل = زمان ساعت مچی

مثال ۱: بارسلونا (اسپانیا) در ۲۴ مه.

نتیجه	توضیحات	تنظیم
− ۸٫۷ m	بارسلونا در همان منطقه زمانی "استاندارد" گرینویچ قرار دارد.	۱. عرض جغرافیایی
+ ۶۰ m	ماه می‌دارای DST + ۱ساعت است	۲. DST
− ۳٫۶ m	جدول را در تاریخ ۲۴ مه بخوانید	۳. معادله زمان
+ ۴۷٫۷ m		جمع

به عنوان مثال در ساعت ۱۲:۰۰ به وقت خورشیدی، ساعت مچی ما این مقدار خواهد بود:

(زمان خورشیدی) ۱۲ h + ۴۷٫۷ m = ۱۲ h ۴۷٫۷ m (زمان ساعت مچی)

مثال ۲: تولسا، اوکلاهما (ایالات متحده) ۱۶ نوامبر.

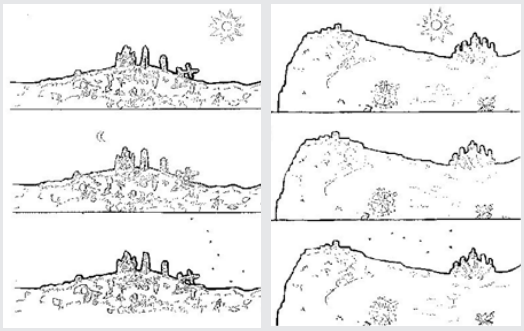
نتیجه	توضیحات	تنظیم
+ ۲۴ m	نصف النهار استاندارد "تولسا" در ۹۰ درجه سانتی گراد است.	۱. عرض جغرافیایی
	در نوامبر چیزی نداریم	۲. DST
− ۱۵٫۳ m	جدول تاریخ ۱۶ نوامبر را می‌خوانیم	۳. معادله زمان
+ ۸٫۷ m		جمع

به عنوان مثال در ساعت ۱۲:۰۰ به وقت خورشیدی ، ساعت مچی ما این مقدار خواهد بود:

(زمان خورشیدی) ۱۲ h + ۸٫۷ m = ۱۲ h ۸٫۷ m (زمان ساعت مچی)

جهت یابی

مشکل دیگر برای دانش‌آموزان جهت یابی است. در یک دوره نجوم عمومی، باید حس جهت یابی دانش‌آموزان را تقویت کنیم. ممکن است که دانش‌آموزان هیچ وقت دوباره نجوم را مطالعه نکنند. حداقل خروجی که از یک دوره نجوم انتظار می‌رود این است که دانش‌آموزان قادر به تشخیص جهت شمال باشند، دانش‌آموزان باید بدانند که مسیر خورشید بالای افق جنوبی است و همچنین بدانند که سیارات در میان افق حرکت می‌کنند؛ به ویژه یاد بگیرند که ویژگی‌های مختلف جغرافیایی شهر خود را پیدا کنند. به عنوان مثال، در افق بارسلونا (تصاویر ۲۷a و b ۲۷) دانش‌آموزان می‌توانند گزینه‌های مختلفی را در مورد موقعیت خورشید، ماه و صورت‌های فلکی خاص در افق در نظر بگیرند. دو کوهی که در تصویر می‌بینیم تقریباً در موقعیت‌های متضاد قرار دارند، اما این برای دانش‌آموزان بی معنا است و آن ها در تشخیص این که هر نقاشی مربوط به کدام افق است، با مشکل مواجه می‌شوند. آن‌ها مباحث نظری را می‌دانند، اما اگر به اندازه کافی تمرین نداشته باشند، تفاوت‌ها را متوجه نمی‌شوند. برای برطرف کردن مشکلاتی که ذکر شد از مدلی که در قسمت قبل طراحی کردیم استفاده می‌کنیم. این مدل برای روشن شدن بسیاری از موضوعات مرتبط با جهت یابی در افق محلی بسیار مؤثر است.



شکل ۲۷b :افق جنوب غربی بارسلونا

شکل ۲۷a: افق شمال شرقی بارسلونا.

گفتنی است که این مدل برای توضیح موقعیت محلی کره سماوی در طول روز و شب مفید است. این مدل به درک بهتر حرکت خورشید (و سایر اعضای منظومه شمسی که در دایره البروج حرکت می‌کنند) کمک می‌کند. دانش‌آموزان با استفاده از مدل پیشنهادی می‌فهمند که یک ستاره درخشان در پیرامون هرگز نمی‌تواند یک سیاره باشد.

ساختن این مدل در مقیاس بزرگ بسیار ارزشمند است. در این حالت، دانش‌آموزان و حتی بزرگسالان می‌توانند وارد آن شوند و موقعیت خورشید را در مقایسه با استوا و مدارها در روز اول انقلاب تابستانی و زمستانی تطبیق دهند. (شکل ۲۸الف). برخی موزه‌های علمی این نوع مدل را ساخته‌اند (شکل ۲۸ب).

شکل ۲۸ الف : مدلی با دانش‌آموزان دبستان. شکل ۲۸ب: مدل در مقیاس بزرگ در پارک علم گرانادا.

دانش‌آموزان پس از استفاده از مدل می‌توانند چیزهایی را که قبلاً درک نمی‌کردند را متوجه شوند. به عنوان مثال، اکنون کاملاً مشخص است که خورشید فقط در استوا عمود بر افق طلوع و غروب می‌کند.

کتابشناسی

• Alemany, C., Ros, R.M., Parallel Earth, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, EU-UNAWE, Barcelona, 2012

• Lanciano, N., Strumenti per i giardino del cielo, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016

• Ros, R.M., De l'intérieur et de l'extérieur, Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.

• Ros, R.M., Laboratorio de Astronomía, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.

• Ros, R.M., Sunrise and sunset positions change every day, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.

• Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., El planisferio y 40 actividades más, Antares, Barcelona, 2005.

• Ros, R.M., Lanciano, N., El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica, 76, p.12-20,1995.

نشانگر ماه، خورشید و ستارگان

رزا ماریا رز، فرانسیس برت هومی
اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا) CLEA (نیس، فرانسه)

خلاصه

در این کارگاه روش ساده‌ای به منظور توضیح و درک حرکت ظاهری ستارگان، خورشید و ماه در مناطق مختلف زمین معرفی می‌شود. همچنین مدل‌های ساده‌ای ساخته می‌شود که به ما اجازه نمایش این حرکت‌ها در عرض‌های مختلف جغرافیایی را می‌دهند.

اهداف

- درک حرکت ظاهری ستارگان در عرض‌های جغرافیایی مختلف
- درک حرکت ظاهری خورشید در عرض‌های جغرافیایی مختلف
- درک حرکت ماه و اهله‌ی آن در عرض‌های جغرافیایی مختلف

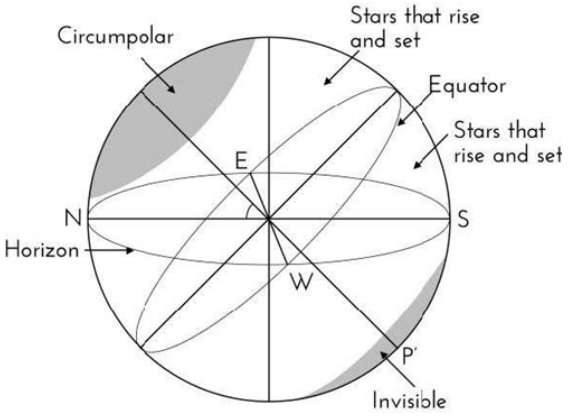
هدف ساخت نشانگر

توضیح چگونگی حرکت ظاهری خورشید، ماه یا ستارگان از روی زمین کار چندان ساده‌ای نیست. دانش آموزان می‌دانند که خورشید هر روز طلوع و غروب می‌کند اما آن‌ها با اطلاع از این که مکان خورشید هر روز در هنگام غروب و طلوع تغییر می‌کند و خورشید با توجه به هر عرض جغرافیایی مسیر متفاوتی را در آسمان طی می‌کند تعجب خواهند کرد. نشانگرها ساده هستند و به کمک آن‌ها می‌توان خورشید نیمه‌شب و عبور خورشید از سرسو را توضیح داد. به ویژه این نشانگرها برای درک حرکات متفاوت و جابه جایی‌ها و تفاوت آن‌ها در عرض‌های جغرافیایی متفاوت بسیار کارآمد هستند.

به کمک داستان‌های اسطوره‌ای و کمی قواعد هندسی می‌توان به سادگی صورت‌های فلکی را در آسمان یافت و به خاطر سپرد اما این روش تنها برای یک مکان مشخص بر روی زمین کاربرد دارد. به علت حرکت کره‌ی سماوی ناظری در قطب شمال همه ستارگان نیم‌کره‌ی شمالی و ناظری در قطب جنوب همه ستارگان نیم‌کره‌ی جنوبی را می‌بینند. اما برای ناظرانی در سایر عرض‌های جغرافیایی چه رخ می‌دهد؟

نشانگر ستاره‌ای: چرا برخی از ستاره‌ها ناپیدا هستند؟

وقتی ناظر در یکی از دو قطب زندگی نمی‌کند همه چیز کمی پیچیده می‌شود. در حقیقت برای اکثر ناظران صادق است. در این مورد با توجه به حرکات مشاهده شده (برای هر عرض جغرافیایی) ستارگان به سه دسته تقسیم می‌شوند: ستارگان دور قطبی، ستارگانی که طلوع و غروب می‌کنند، ستارگان ناپیدا (شکل ۱). همه ما شگفتی دیدن برخی از ستاره‌های نیم‌کره‌ی جنوبی در حالی که در نیم‌کره‌ی شمالی زندگی می‌کنیم را تجربه کرده‌ایم؛ البته بیشتر از آن زمانی تعجب می‌کنیم که به خورشید نیمه‌شب پی ببریم.



شکل ۱: سه دسته از ستارگان (قابل مشاهده از یک عرض مشخص): دور قطبی، دارای طلوع و غروب، ستارگان ناپیدا.

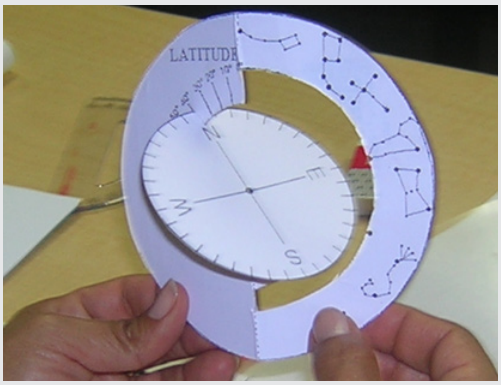
دانش‌آموزان با توجه به سنشان می‌توانند به آسانی درک کنند که چرا برخی از ستارگان به صورت دورقطبی در محل زندگی شان ظاهر می‌شوند. اما این کار سختی است که از آن‌ها بخواهید که تصور کنند در یک گوشه دیگر از دنیا کدام ستارگان دور قطبی هستند. اگر از آن‌ها بپرسید که یک ستاره مشخص (مثلا شباهنگ) در شهر بوینس آیرس دارای طلوع و غروب است یا خیر، یافتن پاسخ این سوال برای آن‌ها سخت خواهد بود. با این حال به کمک نشانگر ستاره‌ای می‌توان حرکات قابل مشاهده ستارگان متفاوت را با توجه به عرض جغرافیایی ناظر شبیه‌سازی کرد و مورد مطالعه قرار داد.

هدف اصلی نشانگر

مهم‌ترین هدف، شناخت صورت‌های فلکی دور قطبی، ستارگان دارای طلوع و غروب و ستارگانی است که در یک عرض جغرافیایی مشخص ناپیدا هستند، می‌باشد. واضح است که اگر ما ستارگان را در عرض جغرافیایی تقریبی ۴۵ درجه شمالی رصد می‌کردیم می‌توانستیم تعداد زیادی از ستارگان نیم‌کره‌ی جنوبی که هر روز طلوع وغروب می‌کنند را رصد کنیم.

در این مدل، نشانگر باید شامل صورت‌های فلکی با میل‌های متفاوت باشد (در اینجا بُعد چندان اهمیتی ندارد). بهتر است از ستارگانی که برای دانش آموزان آشناتر هستند استفاده شود.

آن‌ها می‌توانند بُعدهای متفاوتی داشته باشند؛ در نتیجه در طول ماه‌های مختلف سال قابل مشاهده هستند.



تصویر ۲: استفاده از نشانگر؛ این یک نمونه از نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی است که از صورت‌های فلکی جدول ۱ در آن استفاده شده است.

برای کشیدن صورت فلکی انتخاب شده تنها از ستاره‌های پرنوری که به کمک آن‌ها می‌توان صورت فلکی را شناسایی کرد استفاده نمایید. بهتر است صورت‌های فلکی از نصف النهار مشابه نباشند و صورت‌های فلکی انتخاب شوند که برای دانش آموزان شناخته شده‌تر هستند. اگر مایل به ساختن نشانگری برای هر فصل هستید، شما می‌توانید از صورت‌های فلکی با میل‌های متفاوت استفاده کنید. بُعد این صورت‌های فلکی در آسمان شامگاهی نیم‌کره‌ی شمالی برای فصل پاییز (بهار) بین ۲۱h تا h ۳، فصل زمستان بین ۳h تا ۹h، برای بهار (پاییز) بین ۹h تا ۱۴h و برای تابستان بین ۱۴h تا ۲۱h باشد.

کمترین میل	بیشترین میل	صورت فلکی
+ ۷۰	+ ۹۰	خرس کوچک
+ ۵۰	+ ۶۰	خرس بزرگ
+ ۳۰	+ ۵۰	قو
+ ۱۰	+ ۳۰	شیر
- ۱۰	+ ۱۰	شکارچی و شباهنگ
- ۵۰	- ۲۰	عقرب
- ۷۰	- ۵۰	صلیب جنوبی

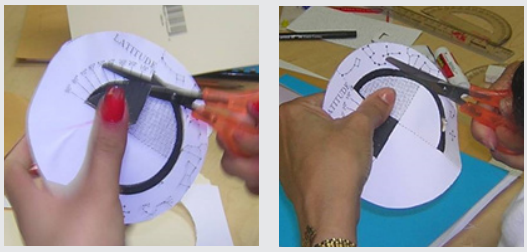
جدول ۱: صورت‌های فلکی نمایش داده شده بر روی نشانگر شکل ۱.

اگر تصمیم به انتخاب صورت‌های فلکی فقط برای یک فصل بگیریم ممکن است انتخاب صورت فلکی بین عرض ۹۰ و ۶۰ درجه شمالی، بین ۶۰ و ۴۰ درجه شمالی، بین ۴۰ تا ۲۰ درجه شمالی، بین ۲۰ درجه شمالی تا ۲۰ درجه جنوبی بدون هم‌پوشانی و رسیدن به ۹۰ درجه شمالی بسیار سخت باشد. همچنین انتخاب تعداد صورت‌های فلکی که برای دانش آموزان شناخته شده باشد و دارای تعداد کمی ستاره‌های پرنور بوده که بتوانند نصف النهار را پوشش دهند کار دشواری است. زیرا صورت‌های فلکی معروف و دارای ستاره‌های پرنور در آسمان تمام سال حضور ندارند. بنابراین شاید بهتر باشد که یک نشانگر بسازیم.

دلیلی دیگر برای ساختن یک نشانگر این است که تغییرات فصول مربوط به هر منطقه با عرض جغرافیایی مشخص در دو نیم کره منحصر به فرد است.

ساخت نشانگر

برای بدست آوردن یک نشانگر مقاوم (تصویر ۳) پیشنهاد می‌شود که آن‌ها را بر روی یک مقوا بچسبانید (شکل ۴ و ۵). بهتر است یک مدل بزرگ‌تر برای استفاده آموزگار ساخته شود.



تصویر ۱-۳ و ۲-۳: ساخت نشانگر ستاره‌ای

دستورالعمل ساخت نشانگر ستاره‌ای به شرح زیر است.

نشانگر نیم‌کره‌ی شمالی:

۱- از تصویر ۴ و ۵ یک کپی بر روی مقوا تهیه کنید.

۲- تصویر را در محل‌هایی که دارای خط پیوسته است برش بزنید (شکل ۴ و ۵).

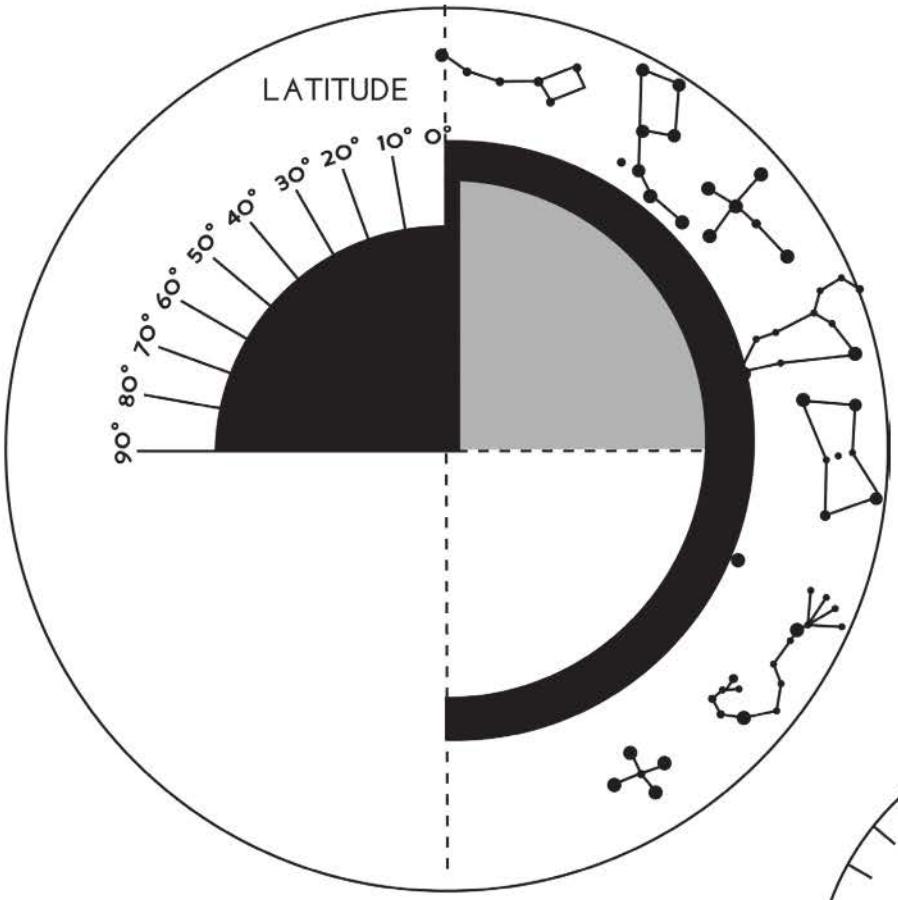
۳- قسمت سیاه را جدا کنید (شکل ۴).

۴- شکل اصلی را در محلی که خطوط پیوسته است تا کنید (شکل ۴). چندین بار این کار را تکرار کنید تا نشانگر به راحتی قابل استفاده باشد.

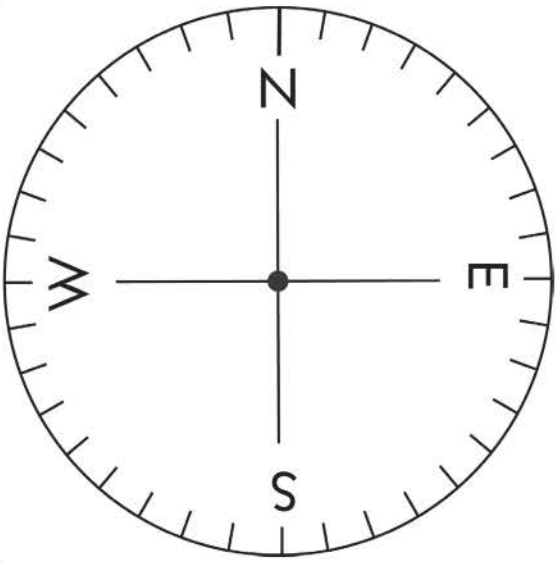
۵- یک برش کوچک در قسمت حرف N صفحه‌ی افقی ایجاد کنید (شکل ۵). این برش باید به اندازه‌ای باشد که مقوا به داخل آن برود.

۶- یک چهارم (ربع) شمالی- شرقی صفحه‌ی افقی را بر روی یک چهارم قسمت خاکستری رنگ قطعه‌ی اصلی بچسبانید (شکل ۴). نکته مهم هم راستایی محور شمال- جنوب با محور دوگانه‌ی صورت‌های فلکی است.

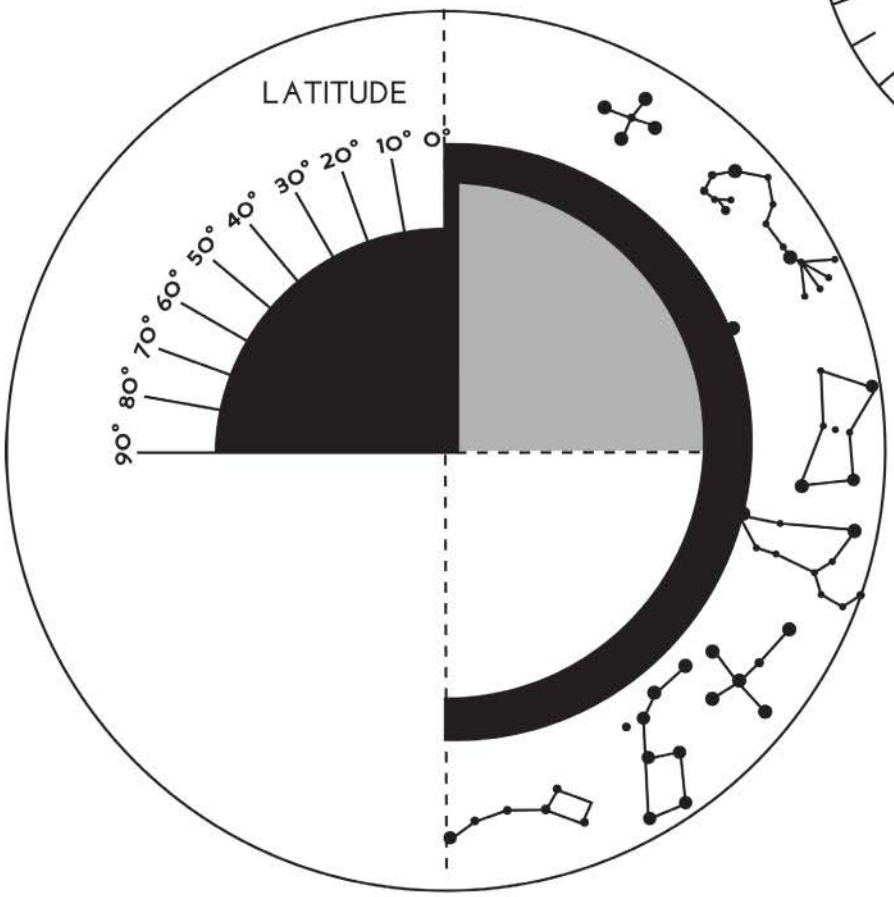
۷- قسمت W نیز با عرض جغرافیایی ۹۰ درجه هم راستا باشد.



شکل ۴: بخش اصلی نشانه‌گر ستاره‌ای برای نیم‌کره‌ی شمالی



شکل ۵: صفحه‌ی اُفقی



شکل ۶: بخش اصلی نشانگر در نیم‌کره‌ی جنوبی

نشانگر برای نیم‌کره‌ی جنوبی

۱- از تصویر ۵ و ۶ یک کپی بر روی مقوا تهیه کنید.

۲- تصویر را در محل‌هایی که دارای خط پیوسته است برش دهید (شکل ۵ و ۶).

۳- قسمت سیاه را جدا کنید (شکل ۶).

۴- بخش اصلی را در محلی که خطوط پیوسته است تا کنید (شکل ۶). چندین بار این کار را تکرار کنید تا نشانگر به راحتی قابل استفاده باشد.

۵- یک برش کوچک در قسمت حرف S صفحه‌ی افقی ایجاد کنید (شکل ۵). این برش باید به اندازه‌ای باشد که مقوا به داخل آن برود.

۶- یک چهارم (ربع) جنوبی- غربی صفحه ی افقی را بر روی یک چهارم قسمت خاکستری رنگ بخش اصلی بچسبانید (شکل ۵). نکته مهم هم راستایی محور شمال- جنوب با محور دوگانه‌ی صورت‌های فلکی می‌باشد. قسمت E نیز باید با عرض جغرافیایی ۹۰ درجه هم راستا باشد.

۷- مطمئن شوید که صفحه‌ی افقی بر بخش اصلی عمود باشد.

۸- برای دست‌یابی به حداکثر دقت می‌بایست دو بخش با دقت به یکدیگر چسبانده شوند.

با توجه به محل سکونت خود یکی از نشانگرها را انتخاب کنید. همچنین شما می‌توانید صورت‌های فلکی خود را با توجه به معیارهای گوناگون بیان شده انتخاب کنید.

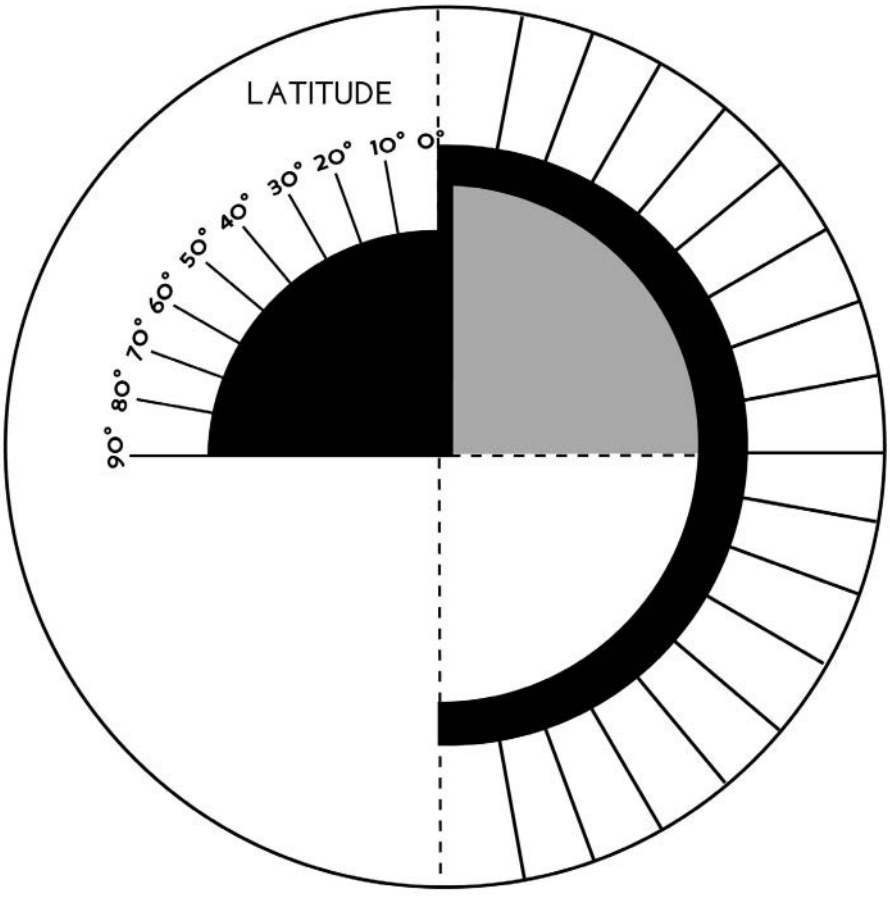
برای نمونه شما می‌توانید صورت‌های فلکی قابل مشاهده برای یک فصل یا یک ماه و... را بکشید. بدین منظور باید تنها صورت‌های فلکی را در نظر بگیرید که بُعد آن‌ها بین دو مقدار مشخص است. سپس صورت‌های فلکی با مقدار میل متفاوت را در شکل ۷ رسم کنید. توجه کنید که هر بخش ۱۰° را پوشش می‌دهد.

نحوه استفاده از نشانگر

برای شروع باید عرض جغرافیایی مکان رصدی خود را تعیین کنید. به کمک این نشانگر می‌توانیم سفری مجازی به نقاط مختلف زمین داشته باشیم.

به کمک دست چپ خود بخش اصلی نشانگر(شکل ۴ یا ۶) را که دارای قسمت سفید (زیر قسمت یک چهارم عرض جغرافیایی) است بگیرید. عرض مورد نظر را انتخاب و صفحه‌ی افقی (شکل ۵) را حرکت دهید تا به عرض انتخابی برسد. به کمک دست راست خود بخشی که دارای صورت فلکی است را چندین بار به سمت چپ و راست حرکت دهید.

حالا می‌توانید مشاهده کنید که کدام صورت‌های فلکی همواره بالای افق (دور قطبی)، کدامیک دارای طلوع و غروب هستند و کدام صورت‌های فلکی همواره زیر افق قرار دارند (ناپیدا).



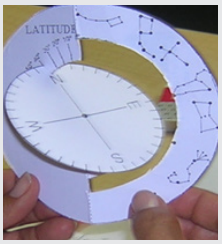
شکل ۷: بخش اصلی نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی یا جنوبی.

خمیدگی (انحراف) مسیر ستارگان نسبت به افق

به کمک نشانگربه سادگی می‌توان زاویه نسبی مسیر ستارگان نسبت به افق با توجه به تغییرات عرض جغرافیایی را مشاهده کرد (شکل های ۸، ۹ و ۱۰).

اگر ناظر در استوا زندگی کند (عرض جغرافیایی ۰°) این زاویه ۹۰° است. به بیان دیگر اگر ناظر در قطب شمال یا جنوب زندگی کند (عرض‌های جغرافیایی ۹۰° شمالی یا جنوبی) مسیر ستارگان با افق موازی خواهد بود. به صورت کلی اگر ناظر در شهری با عرض جغرافیایی L زندگی کند خمیدگی مسیر هر روزه‌ی ستارگان نسبت به افق برابر ۹۰° منهای L (L - ۹۰°) خواهد بود.

تصاویر۱-۸ و ۲-۸: غروب ستارگان در آسمان لاپلند (فنلاند) با عرض جغرافیایی ۶۸° شمالی. زاویه مسیر نسبی ستارگان نسبت به افق برابر است با ۹۰° منهای عرض جغرافیایی محل.
(عکس از: Hannula Irma، فنلاند)



تصاویر۱-۹ و ۲-۹: طلوع ستارگان در مونتسنی (اسپانیا) در عرض جغرافیایی ۴۱° شمالی. زاویه مسیر نسبی ستارگان نسبت به افق برابر است با ۹۰° منهای عرض جغرافیایی محل.
(عکس از: Rosa M. Ros، اسپانیا).

تصاویر ۱-۱۰ و ۲-۱۰: رد ستارگان در سمت غرب ماتهوآلا (مکزیک) در عرض جغرافیایی ۲۳° شمالی. زاویه مسیر ستارگان نسبت به افق برابر است با ۹۰ منهای عرض جغرافیایی محل.
(عکس از: Luis J de la Cruz، مکزیک)

با دقت به شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ می‌توان این امر را بررسی کرد. تصویر شکل ۸ از شهر لاپلند (فنلاند)، تصویر ۹ از شهر مونتسنی (در نزدیکی بارسلونا، اسپانیا) و تصویر ۱۰ از شهر سن‌لوییس‌پتوسی (مکزیک) گرفته شده‌اند. لاپلند دارای عرض جغرافیایی بیشتر از مونتسنی و سن‌لوییس‌پتوسی دارای عرض جغرافیایی کمتر از مونتسنی هستند؛ بنابراین انحراف مسیر ستارگان متفاوت است.

دانش آموزان با استفاده از نشانگر می‌توانند فعالیت‌های زیر را انجام بدهند.

اگر عرض جغرافیایی ۹۰° شمالی را انتخاب شود ناظر در قطب شمال قرار خواهد داشت. تمام صورت‌های فلکی نیم‌کره‌ی شمالی را به صورت دورقطبی مشاهده خواهد کرد. هیچ کدام از صورت‌های فلکی نیم‌کره‌ی جنوبی قابل رصد نبوده و هیچ صورت فلکی طلوع و غروب نمی‌کند.

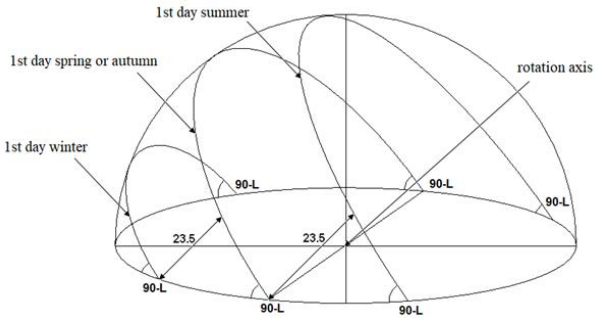
اگر عرض جغرافیایی ۰° باشد ناظر در استوا قرار دارد و ما می‌توان تمام صورت‌های فلکی را به صورتی که دارای طلوع و غروب باشند رصد کرد (عمود بر افق). هیچ‌کدام دورقطبی یا ناپیدا نیستند.

در عرض جغرافیایی ۲۰° (شمالی یا جنوبی) تعداد صورت‌های فلکی دور قطبی نسبت به عرض ۴۰° (شمالی یا جنوبی) کمتر است. اما در عرض ۲۰° تعداد صورت‌های فلکی با طلوع و غروب در مقایسه با عرض ۴۰° بیشتر است.

برای عرض ۶۰° (شمالی یا جنوبی) تعداد زیادی از صورت‌های فلکی دورقطبی و ناپیدا هستند. اما در مقایسه با عرض ۴۰° (شمالی یا جنوبی) تعداد کمتری از ستارگان دارای طلوع و غروب هستند.

نشانگر خورشیدی: چرا خورشید هر روز از یک مکان مشابه طلوع نمی‌کند؟

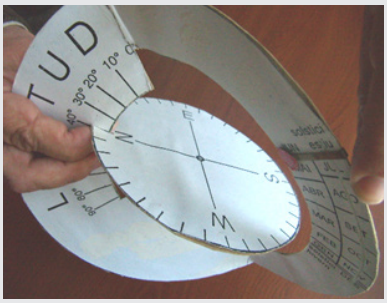
توجیه حرکات قابل مشاهده خورشید از روی زمین ساده است. دانش آموزان می‌دانند که خورشید روزانه طلوع و غروب می‌کند اما بدون شک اگر آن‌ها بدانند که خورشید هر روز در مکان متفاوتی طلوع و غروب می‌کند شگفت‌زده خواهند شد. همچنین بررسی مسیرهای مختلف خورشید با توجه به عرض محلی نیز بسیار جذاب خواهد بود. اما تشریح پدیده‌هایی مانند خورشید نیمه‌شب یا عبور خورشید از سرسو کار دشواری است. این نشانگر برای درک حرکات خورشید و تفاوت‌های آن در عرض‌های مختلف بسیار مفید است.



شکل ۱۱: سه مسیر متفاوت خورشید (روز اول فصل‌های پاییز یا بهار، تابستان و زمستان).

ساخت نشانگر

برای ساخت نشانگر خورشیدی باید در نظر داشت که میل خورشید روزانه تغییر می‌کند. همچنین نشانگر باید قابلیت این را داشته باشد که مکان خورشید با توجه به فصول تغییر کند. در اولین روز فصل بهار یا پاییز میل خورشید ۰° است و در راستای استوا حرکت می‌کند. در اولین روز تابستان (زمستان در نیم‌کره‌ی جنوبی) میل خورشید ۲۳.۵°+ و در اولین روز زمستان (تابستان در نیم‌کره‌ی جنوبی) برابر با ۲۳.۵°- است (شکل ۱۱). اگر بخواهید که مسیر خورشید را بررسی کنید مدل ما باید قابلیت تغییر مقادیر را داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که برای ساختن یک نشانگر مقاوم (تصاویر۱۲) قبل از برش آن‌ها را بر روی یک مقوا چسبانده و سپس ببرید. همچنین می‌توانید یک نشانگر بزرگ‌تر برای استفاده‌ی معلم بسازید.



تصاویر ۱-۱۲ و ۲-۱۲: آماده‌سازی نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی شمالی با عرض جغرافیایی ۴۰°+.

دستور العمل ساخت

نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی

۱- یک کپی از شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تهیه کنید.

۲- در امتداد خطوط پیوسته یک برش ایجاد کنید (شکل ۱۳ و ۱۴).

۳- قسمت‌های سیاه را از بخش اصلی خارج کنید (شکل ۱۴).

۴- راستای خط چین بخش را اصلی تا کنید. چندین بار این کار را تکرار کنید تا نشانگر به راحتی قابل استفاده باشد.

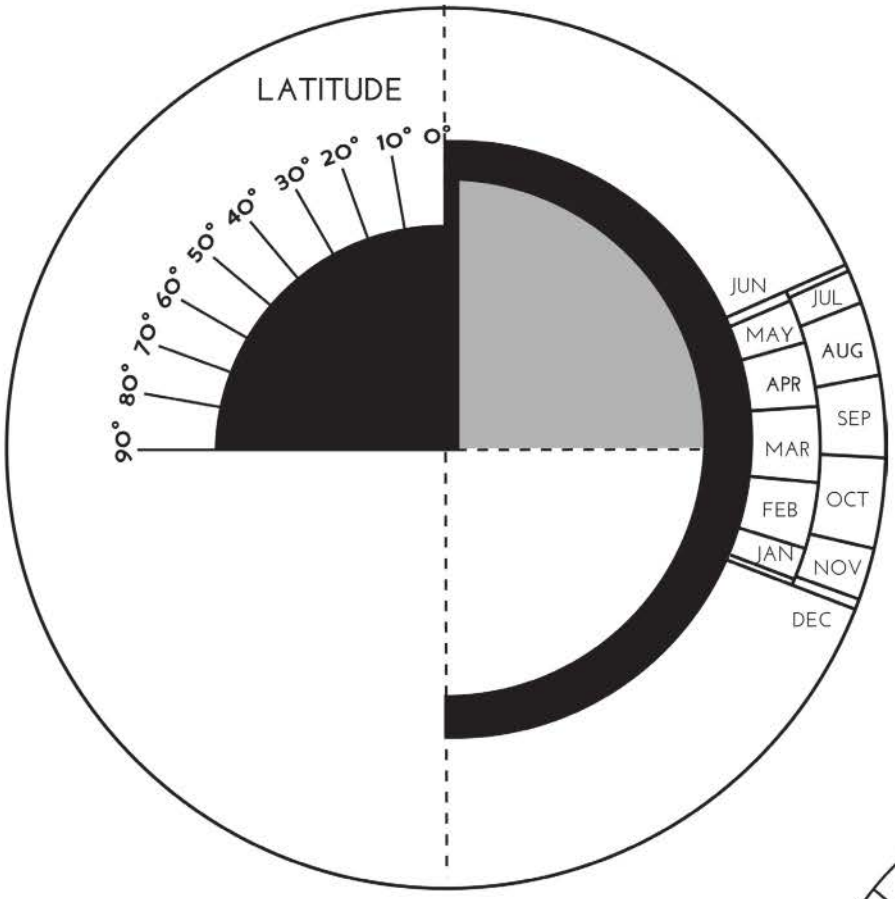
۵- برش کوچکی در نقطه N صفحه‌ی افقی ایجاد کنید (شکل ۱۴)؛ این برش باید به اندازه‌ای باشد که بتواند در بخش اصلی وارد شود.

۶- یک چهارم (ربع) شمالی- شرقی صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را بر روی ربع خاکستری بخش اصلی بچسبانید (شکل ۱۳)؛ راستای شمال - جنوب با محور دوگانه‌ی صورت‌های فلکی بخش اصلی باید در یک راستا قرار بگیرند. همچنین W صفحه‌ی افقی در راستای عرض ۹۰° بخش اصلی باشد.

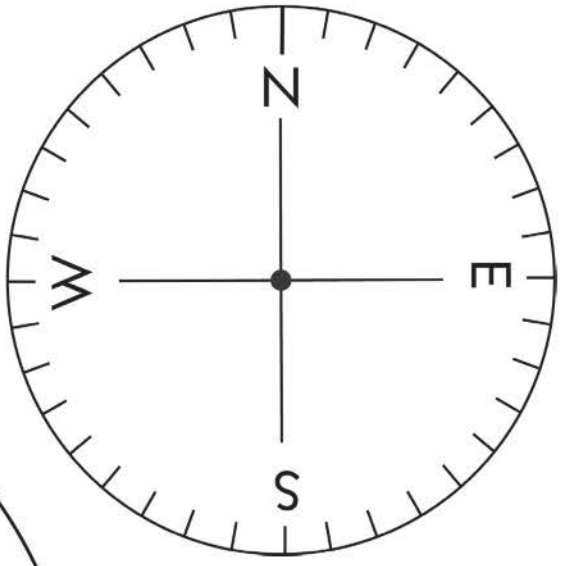
۷- وقتی که صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را در بخش اصلی قرار می‌دهید مطمن شوید که این دو بر یکدیگر عمود باشند.

۸- برای دست‌یابی به حداکثر دقت باید قسمت‌های مختلف را به درستی بچسبانید.

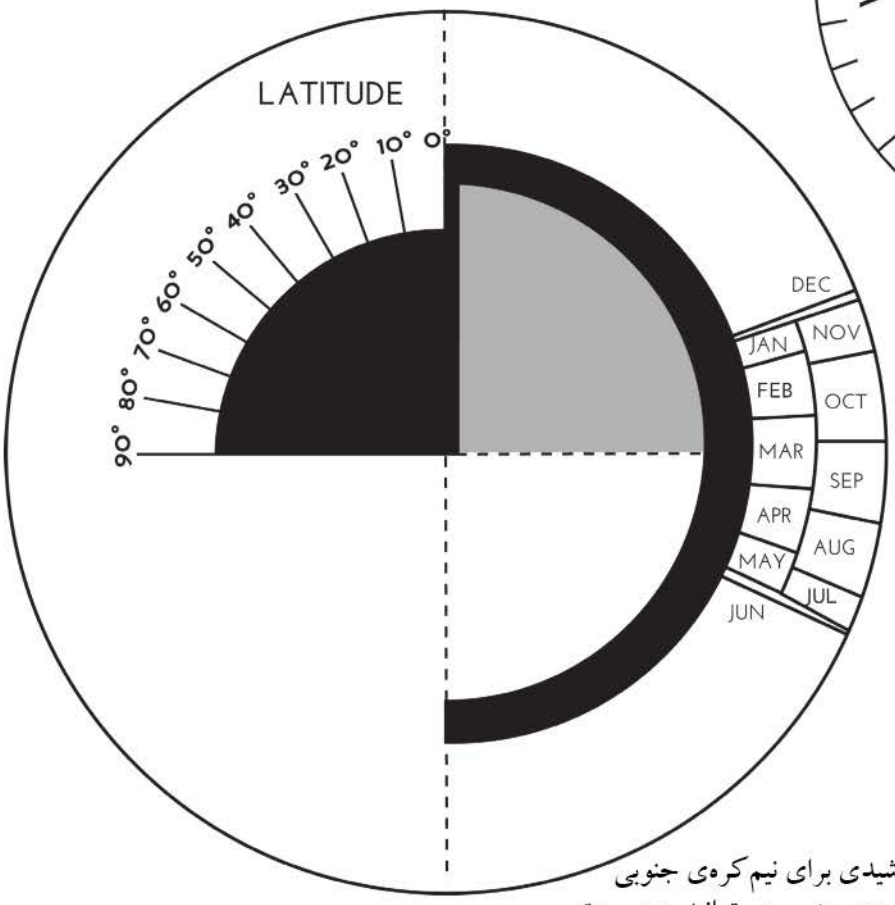
۹- برای قرار دادن خورشید بر روی نشانگر دایره‌ای به رنگ قرمز بر روی کاغذ نقاشی کنید. سپس آن را ببرید و بین دو چسب کاغذی بچسبانید. حال این مسیر که با چسب کاغذی ساخته شده را به همراه خورشید بر روی بخش میل نشانگر قرار دهید (شکل ۱۳). ایده‌ی اصلی این است که به کمک این روش بتوان خورشید را به سادگی در موقعیت‌های مختلف قرار داد.



شکل ۱۳: بخش اصلی نشانه‌گر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی شمالی



شکل ۱۴: صفحه‌ی افقی



شکل ۱۵: قسمت اصلی نشانه‌گر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی جنوبی

برای ساختن نشانه‌گر خورشیدی نیم‌کره‌ی جنوبی می‌توانید به صورت مشابه عمل کنید؛ فقط شکل ۱۳ را با شکل ۱۴ جایگزین کنید.

نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی جنوبی

یک کپی از شکل های ۱۵ و ۱۴ تهیه کنید.

۲- در امتداد خطوط پیوسته یک برش ایجاد کنید (شکل ۱۴ و ۱۵).

۳- قسمت‌های سیاه را از بخش اصلی خارج کنید (شکل ۱۴).

۴- راستای خط چین بخش اصلی را تا کنید. چندین بار این کار را تکرار کنید تا نشانگر به راحتی قابل استفاده باشد.

۵- برش کوچکی در نقطه S صفحه‌ی افقی ایجاد کنید (شکل ۱۴)؛ این برش باید به اندازه‌ای باشد که بتواند در بخش اصلی وارد شود.

۶- یک چهارم (ربع) جنوبی - غربی صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را بر روی ربع خاکستری بخش اصلی بچسبانید (شکل ۱۵). راستای شمال جنوب با محور دوگانه‌ی صورت‌های فلکی بخش اصلی در یک راستا باشند. همچنین E صفحه‌ی افقی در راستای عرض ۹۰° بخش اصلی باشد.

۷- وقتی که صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را در بخش اصلی قرار می‌دهید، مطمئن شوید که این دو بر یکدیگر عمود باشند.

۸- برای دست‌یابی به حداکثر دقت قسمت‌های مختلف را به درستی بچسبانید.

۹- برای قرار دادن خورشید بر روی نشانگر دایره‌ای به رنگ قرمز بر روی کاغذ نقاشی کنید. سپس آن را ببرید و بین دو چسب کاغذی بچسبانید. حال این مسیر که با چسب کاغذی ساخته شده را به همراه خورشید بر روی بخش میل نشانگر قرار دهید (شکل ۱۵). ایده‌ی اصلی این است که بتوان خورشید را به سادگی در موقعیت‌های مختلف قرار داد.

استفاده از نشانگر خورشیدی

برای استفاده از نشانگر ابتدا عرض جغرافیایی خود را تعیین کنید. به کمک این نشانگر می‌توان یک سفر مجازی بر روی سطح زمین داشت.

سه منطقه در نظر گرفته می‌شود:

۱- مناطق میانی در نیم‌کره‌ی جنوبی یا شمالی

۲- مناطق قطبی

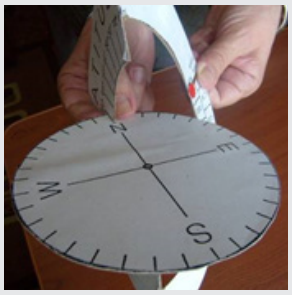
۳- مناطق استوایی

۱- منطقه‌ای در عرض‌های میانی نیم کره جنوبی یا شمالی:

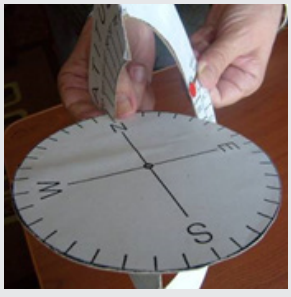
فصل‌ها

• زاویه مسیر نسبی خورشید نسبت به افق

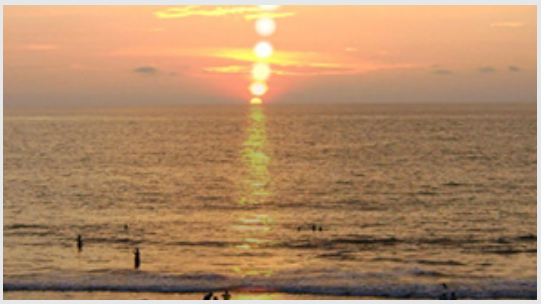
با استفاده از نشانگر به سادگی می‌توان دید که زاویه مسیر خورشید نسبت به افق به عرض جغرافیایی وابسته است. اگر ناظر ساکن استوا باشد (عرض °۰) این زاویه °۹۰ است. اگر ناظر در قطب شمال یا جنوب باشد (عرض °۹۰ شمالی یا جنوبی) این زاویه موازی افق است. به صورت کلی اگر ناظر در شهری با عرض جغرافیایی L زندگی کند انحراف مسیر روزانه خورشید نسبت به افق برابراست با ۹۰ منهای L است. با بررسی تصاویر ۱۶ می‌توان این مورد را درک کرد. عکس گرفته شده در تصاویر ۱۶ مربوط به منطقه‌ی لاپلند (فنلاند) است و تصویر ۱۷ در گاندیا (اسپانیا) گرفته شده است. لاپلند در عرض‌های بالاتری نسبت به گاندیا قرار دارد؛ بنابراین انحراف مسیر خورشید کمتر است. تصویر ۱۸ مربوط به شهر لادریئوس (کلمبیا) با عرض جغرافیایی °۴ می‌باشد؛ در نتیجه انحراف مسیر خورشید زاویه حدودی °۸۶ است.

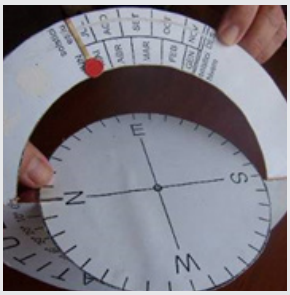


تصویر ۱-۱۶ و ۲-۱۶: طلوع خورشید در لاپلند (فنلاند). زاویه مسیر خورشید نسبت به افق متمم عرض جغرافیایی آن است (۹۰° منهای عرض جغرافیایی).
(عکس از: Sakari Ekko، فنلاند)



تصویر ۱-۱۷ و ۲-۱۷: طلوع خورشید در گاندیا (اسپانیا) با عرض جغرافیایی °۴۱ شمالی. زاویه مسیر خورشید نسبت به افق برابر است با ۹۰ منهای عرض جغرافیایی.
(عکس از: Rosa M. Ros، اسپانیا)





تصویر ۱۸: طلوع خورشید در لادریئوس (کلمبیا). زاویه مسیر خورشید نسبت به افق برابر با متمم عرض جغرافیایی آن است (°۸۶ = °۴ - °۹۰). (عکس از: Mario Solarte، کلمبیا)

• ارتفاع مسیر خورشید با توجه به فصول

نیم‌کره‌ی شمالی

با استفاده از نشانگر به سادگی می‌توانید تغییرات ارتفاع خورشید با توجه به فصل را در شهر خودتان (عرض جغرافیایی شهر خود را انتخاب کنید) بررسی کنید. برای مثال در اولین روز بهار میل خورشید °۰ است. می‌توانید خورشید را بر روی اولین روز بهار (۲۱ مارس) قرار دهید. سپس خورشید را در راستای استوا از شرق به غرب حرکت بدهید. می‌توان مسیر خورشید که در ارتفاع خاصی نسبت به افق قرار دارد را مشاهده کرد.

آزمایش را برای همان عرض جغرافیایی در روزهای متفاوت تکرار کنید. وقتی که خورشید را در نخستین روز تابستان اول تابستان (۲۱ ژوئن) در راستای استوا حرکت بدهید (میل خورشید °۲۳.۵+) متوجه می‌شوید که مسیر خورشید بالاتر از روز اول بهار است. در آخر، آزمایش را برای روز اول زمستان (۲۱ دسامبر) تکرار کنید (میل خورشید °۲۳.۵-). متوجه می‌شوید که مسیر خورشید در ارتفاع کمتری قرار دارد. در روز اول پاییز میل خورشید °۰ است و مسیر خورشید در راستای استوا مشابه مسیر خورشید در روز اول بهار است.

بدون شک با تغییر عرض جغرافیایی، ارتفاع مسیر خورشید نیز تغییر می‌کند. اما همواره بیشترین ارتفاع مربوط به اولین روز تابستان و کمترین ارتفاع مربوط به اولین روز زمستان می‌باشد (تصویر ۱۹).

تصویر ۱۹: مسیر خورشید در زمستان و تابستان در نروژ. کاملا مشخص است که خورشید در تابستان در ارتفاع بالاتری نسبت به زمستان قرار دارد. این دلیلی برای طولانی‌تر بودن روزهای تابستان است.

نیم‌کره‌ی جنوبی

با استفاده از نشانگر به سادگی می‌توانید تغییرات ارتفاع خورشید با توجه به فصل را در شهر خودتان (عرض جغرافیایی شهر خود را انتخاب کنید) بررسی کنید. برای مثال در اولین روز بهار میل خورشید °۰ است. می‌توان خورشید را بر روی اولین روز بهار (۲۱ سپتامبر) قرار داد و آن را در راستای استوا از شرق به غرب حرکت داد. متوجه خواهید شد که مسیر خورشید در ارتفاع خاصی نسبت به افق قرار دارد.

آزمایش را برای همان عرض جغرافیایی در روزهای متفاوت تکرار کنید. وقتی که خورشید را در نخستین روز تابستان (۲۱ دسامبر) در راستای استوا حرکت دهید (میل خورشید °۲۳.۵) متوجه می‌شوید که مسیر خورشید بالاتر از روز اول بهار است. در آخر، آزمایش را برای روز اول زمستان (۲۱ ژوئن) تکرارکنید (میل خورشید °۲۳.۵+). متوجه می‌شوید که مسیر خورشید در ارتفاع کمتری قرار دارد. در روز اول پاییز میل خورشید °۰ است و مسیر خورشید در راستای استوا مشابه مسیر خورشید در روز اول بهار است.

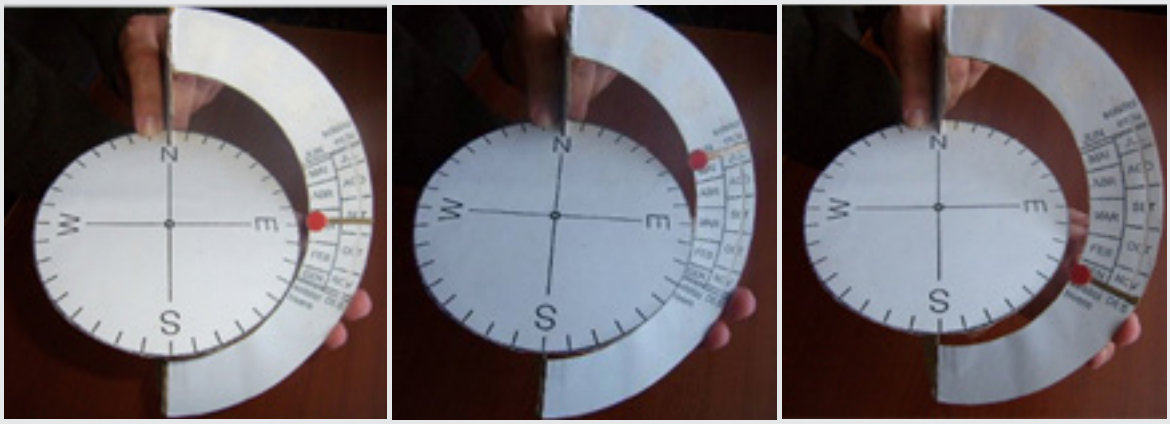
بدون شک اگر با تغییر عرض جغرافیایی، ارتفاع مسیر خورشید نیز تغییر می‌کند. اما همواره بیشترین ارتفاع مربوط به اولین روز تابستان و کمترین ارتفاع مربوط به اولین روز زمستان خواهد بود.

در فصل تابستان با قرارگیری خورشید در ارتفاع بالاتر پرتوهای خورشیدی با زاویه عمودتری به سطح زمین می‌تابند. به همین علت میزان پرتوها بر سطح کوچک‌تری متمرکز شده و هوا گرم‌تر می‌شود. همچنین در این فصل ساعات روز نسبت به زمستان بیشتر است؛ در نتیجه دما در تابستان افزایش می‌یابد.

• طلوع و غروب روزانه خورشید در مکان متفاوت

در آزمایش‌های پیشین اگر روزانه به محل طلوع یا غروب خورشید توجه کنید متوجه تفاوت مکان آن‌ها می‌شوید. به بیان شفاف‌تر فاصله‌ی افقی بین طلوع (یا غروب) در اولین روز دو فصل متوالی، با افزایش عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد (تصویر۲۰).

تصویر۱-۲۰، ۲-۲۰ و ۳-۲۰: طلوع آفتاب به ترتیب در ریگا (لتونی) با عرض جغرافیایی °۵۷، بارسلونا (اسپانیا) با عرض جغرافیایی °۴۱ و پوپایان (کلمبیا) با عرض جغرافیایی °۲. اولین روز هر فصل (چپ: زمستان، وسط: بهار یا پاییز، راست: تابستان). غروب‌های تصاویر وسط در یک راستا قرار دارد. به راحتی می‌توان درک کرد که فاصله‌ی بین غروب تابستان و زمستان در ریگا (بیشترین عرض جغرافیایی) بیشتر از بارسلونا و خیلی بیشتر از پوپایان است. (عکس از: Ilgonis Vilks از لتونی، Rosa M. Ros از اسپانیا و Juan Carlos Mart nez از کلمبیا).



تصویر۱-۲۱، ۲-۲۱ و ۳-۲۱: طلوع خورشید در اولین روز بهار یا پاییز، طلوع خورشید در اولین روز تابستان، طلوع خورشید در اولین روز زمستان. شبیه‌سازی به کمک این نشانگر بسیار ساده است. تنها کافی است که خورشید را برای هر فصل در دو عرض جغرافیایی مختلف مانند °۶۰، °۴۰ و °۰ قرار دهید (تصویر۲۱).

تصاویر۲۰ مربوط به نیم‌کره‌ی شمالی است اما این پدیده در نیم‌کره‌ی جنوبی مشابه می‌باشد (تصویر۲۲). تنها تفاوت در زمان فصل‌ها است.

تصویر۱-۲۲، ۲-۲۲ و ۳-۲۲: غروب خورشید به ترتیب در پوپایان (کلمبیا) با عرض جغرافیایی ۲°، لاپز (بولیوی) با عرض جغرافیایی ۱۹°- و ایسکوئل (آرژانتین) با عرض جغرافیایی ۴۳°-. در اولین روز هر فصل (چپ: تابستان، وسط: بهار یا پاییز، راست: زمستان). غروب‌های تصاویر وسط در یک راستا قرار دارد. به سادگی می‌توان درک کرد که فاصله غروب تابستان و زمستان در ایسکوئل (با عرض جغرافیایی بیشتر) بیشتر از لاپز است.

۲- نواحی قطبی: خورشید نیمه شب

• تابستان و زمستان قطبی

اگر بخواهید عرض قطبی (۹۰° شمالی یا جنوبی) را به کمک نشانگر بررسی کنید سه حالت ممکن است. اگر میل خورشید ۰° باشد خورشید در راستای افق حرکت می‌کند که همان استوای آسمان است.

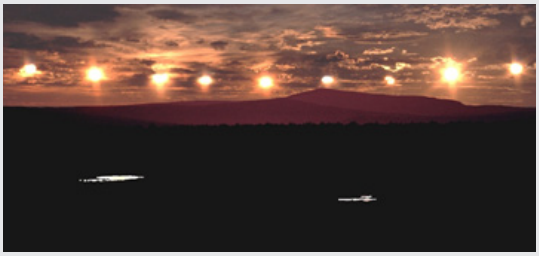
اگر میل مطابق اولین روز تابستان باشد خورشید به موازات افق حرکت می‌کند. در واقع خورشید از دومین روز بهار تا آخرین روز تابستان همواره به موازات افق حرکت می‌کند. در این حالت نیمی از سال همیشه روز است.

در نخستین روز پاییز خورشید در راستای افق حرکت می‌کند. از دومین روز پاییز تا آخرین روز زمستان خورشید در امتداد افق اما پایین‌تر از آن حرکت می‌کند. در این حالت نیمی از سال همیشه شب است.

البته مثال بیان شده حالت کلی است. در برخی از عرض‌های شمالی مسیر خورشید موازی با افق نیست. در این مناطق همچنان طلوع و غروب به علت عرض بالای آن‌ها وجود ندارد. در این موارد ما می‌توان خورشید نیمه شب را مشاهده کرد.

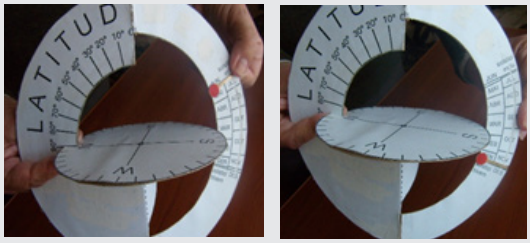
• خورشید نیمه شب

اگر عرض جغرافیایی ۷۰° جنوبی یا شمالی را بر روی نشانگر انتخاب کنید می‌توان مفهوم خورشید نیمه‌شب را شبیه‌سازی کرد. اگر خورشید را در اولین روز تابستان (اولین روز زمستان نیم‌کره‌ی جنوبی) قرار دهید متوجه می‌شوید که خورشید در این روز نه طلوع و نه غروب می‌کند. مسیر خورشید مماس با افق است؛ اما هرگز پایین‌تر از افق نمی‌رود. این پدیده به نام خورشید نیمه‌شب شناخته شده‌است. به علت اینکه خورشید حتی در نیمه‌شب بالاتر از افق است، این پدیده را خورشید نیمه‌شب نامیده‌اند (تصویر۲۲).



تصویر ۱-۲۳ و ۲-۲۳: مسیر خورشید نیمه‌شب در لاپلند (فنلاند). خورشید به افق نزدیک می‌شود اما هرگز غروب نمی‌کند و دوباره شروع به صعود می‌کند. (عکس از: Sakari Ekko)

در قطب‌ها (۹۰° شمالی یا جنوبی) خورشید نیمی از سال بالای افق و در نیمی دیگر زیر افق قرار دارد. به کمک نشانگر به سادگی می‌توان این پدیده را نشان داد.

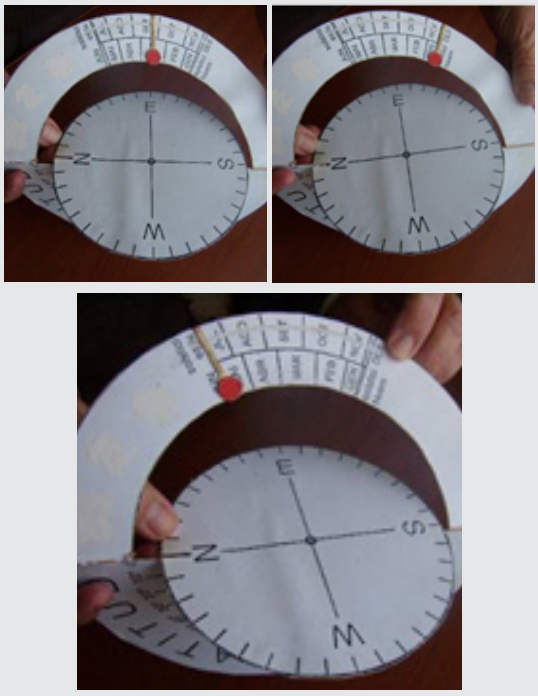


تصویر ۱-۲۴ و ۲-۲۴: به کمک نشانگر می‌توان نشان داد که خورشید در نیمی از سال بالای افق و در نیمی دیگر زیر آن قرار دارد.

۳- مناطق استوایی: خورشید در سرسو

• خورشید در سرسو

در مناطق استوایی تفاوت چندانی میان چهار فصل وجود ندارد. مسیر خورشید عمود بر افق است و ارتفاع خورشید در طول سال یکسان است. همچنین طول روزها مشابه است (تصویر ۲۵)

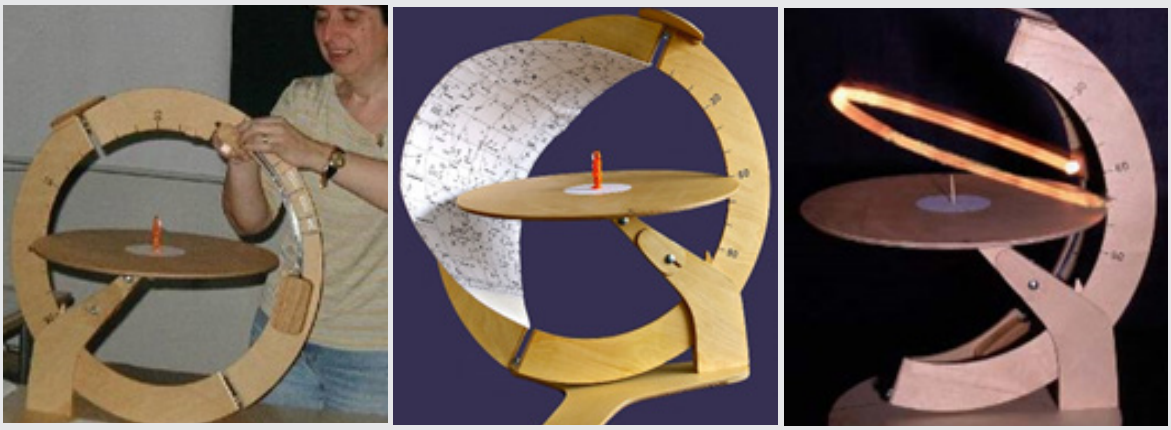


تصویر ۱-۲۵، ۲-۲۵ و ۳-۲۵:طلوع خورشید در اولین روز هر فصل؛ اولین روز تابستان، اولین روز بهار یا پاییز و اولین روز زمستان (نیم‌کره‌ی شمالی). در استوا مسیر خورشید عمود بر افق است. طلوع خورشید در همه‌ی فصول در مکان تقریبا مشابه‌ای رخ می‌دهد. فاصله‌ی زاویه‌ای بین طلوع‌ها تنها ۲۳.۵° (انحراف دایره البروج) است. در عرض‌های جغرافیایی بیشتر مسیر خورشید بیشتر خمیده شده و فاصله‌ی بین سه نقطه‌ی طلوع افزایش می‌یابد (تصاویر ۲۱ و ۲۲).

علاوه بر این، در کشورهای استوایی روزهای خاصی وجود دارد؛ روزهایی که خورشید از سرسو می‌گذرد. در این روزها نور خورشید به صورت عمود بر مناطق استوایی تابیده و سطح زمین را گرم می‌کند. به همین علت دما افزایش یافته و سایه مردم در زیر کفش هایشان ناپدید می‌شود (تصویر ۲۶). در برخی از فرهنگ‌های باستانی این روزها بسیار ویژه بوده‌اند زیرا تماشای این پدیده آسان بوده‌است. این موضوع همچنان نیز وجود دارد. خورشید در مناطقی که بین مدار راس‌السرطان و راس‌الجدی قرار دارند تنها در دو روز از سال از سرسو عبور می‌کند. با استفاده از نشانگر این پدیده را می‌توان نمایش داد. همچنین می‌توان زمان تقریبی رخ دادن این حادثه با توجه به عرض جغرافیایی را محاسبه کرد.

تصویر ۱-۲۶ و ۲-۲۶: سایه کوچک (خورشید تقریبا در مناطق نزدیک به استوا در سرسو قرار دارد). شبیه‌سازی خورشید در سرسو برای هندوراس (عرض جغرافیایی ۱۵° شمالی).

برای مثال (تصویر ۲۶) اگر عرض ۱۵° شمالی را انتخاب کنید با استفاده از نشانگر می‌توانید زمان تقریبی خورشید که در ظهر در سرسو قرار می‌گیرد را محاسبه کنید. بدین منظور تنها کافی است که یک چوب را به صورت عمود بر صفحه‌ی افقی قرار دهید؛ متوجه می‌شوید که این روزها مربوط به اواخر ماه آپریل و نیمه‌ی ماه آگوست خواهد بود.



تصویر۱-۲۷، ۲-۲۷ و ۳-۲۷: نشانگر چوبی خیلی بزرگ. نشانگر ستاره‌ای چوبی. با استفاده از دوربین عکاسی و بازه‌ی زمانی بیشتر می‌توان عکسی از مسیر خورشید تهیه کرد.

نشانگر خیلی بزرگ

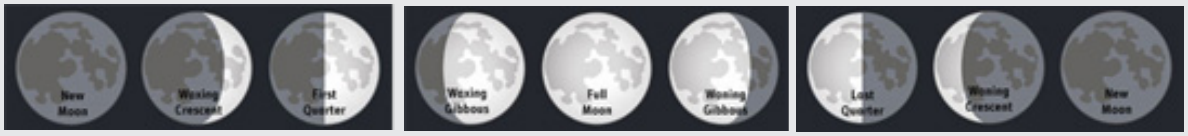
می‌توان نشانگر را با مواد دیگری مانند چوب ساخت (تصویر ۲۷). در این مدل می‌توان از یک منبع نور برای نشان دادن جایگاه خورشید استفاده کرد. به کمک دوربین عکاسی و بازه‌ی زمانی بیشتر نیز می‌توان مسیر حرکت خورشید را شبیه‌سازی کرد.

نشانگر ماه: چرا ماه در برخی مناطق لبخند می‌زند؟

هدف از آموزش مبحث ماه به دانش آموزان آشنایی آن‌ها با نحوه رخ دادن اهله‌ی ماه، خورشید گرفتگی و ماه گرفتگی می‌باشد. اهله‌ی ماه بسیار جذاب است و به کمک یک توپ و یک منبع نور می‌توان آن را آموزش داد.

مدلی مانند آنچه در شکل ۲۸ ارائه شده است هلال ماه و تغییرات آن را نشان می‌دهد. به صورت ساده می‌توان گفت که هلال افزاینده یادآور حرف "C" و هلال کاهنده یادآور حرف "D" است. این موضوع برای کسانی که در نیم‌کره‌ی جنوبی زندگی می‌کنند صدق می‌کند اما در نیم‌کره‌ی شمالی کاربردی ندارد و ساکنین آن ماه را دروغگو می‌نامند.

این مدل اهله‌ی ماه را شبیه‌سازی می‌کند (تصویر ۲۹) و به کمک آن می‌توان نشان داد که چرا ماه با توجه به فاز خود شبیه حروف "D" و "C" دیده می‌شود. بارها ماه بر فراز افق مانند تصویر ۲۹ دیده شده است. با این حال با توجه به هر کشور ماه ممکن است به صورت "C" مایل یا "D" مایل (تصویر۳۰) و یا حتی در مواردی به صورت "U" دیده شود (آن را ماه خندان می‌نامند؛ شکل ۳۰). چگونه می‌توان این پدیده را تشریح کرد؟ برای درک تفاوت ظاهری ماه در عرض‌های جغرافیایی مختلف از نشانگر ماه می‌توان استفاده کرد.



شکل ۲۸: فازهای ماه

تصویر۲۹: فازهای ماه بر فراز افق

به منظور بررسی حرکات ماه ابتدا باید موقعیت آن را نسبت به خورشید (علت تشکیل اهله) و میل آن (که روزانه تغییر می‌کند و سریع‌تر از خورشید است) را در نظر گرفت. باید نشانگری بسازید که برای دانش آموزان امکان تغییر موقعیت ماه نسبت به خورشید و میل که در طول یک ماه متفاوت است را به آسانی فراهم کند. در واقع مسیر حرکت ماه از میان ستارگان همان مسیری است که خورشید در طول روز طی می‌کند (دایره البروج). البته مدار ماه با دایره البروج°۵ اختلاف دارد.

ماه نو زمانی رخ می‌دهد که ماه در راستای خورشید قرار بگیرد. حال اگر ماه در نقطه‌ای مخالف از دایره االبروج قرار بگیرد ماه کامل رخ می‌دهد. در این حالت میل آن برعکس خورشید است (در حدود °۵ شمالی یا جنوبی). برای مثال در انقلاب ژوئن (انقلاب تابستانی) ماه کامل در موقعیتی قرار دارد که خورشید در انقلاب زمستانی در آن حضور دارد. در این حالت میل آن منفی است (بین °۲۹- و °۱۸-). حرکت روزانه ماه کامل در ماه ژوئن مانند حرکت خورشید در ماه دسامبر است.

در نیم‌کره‌ی شمالی هلال "D" شکل ماه را در نظر بگیرید (و "C" شکل در نیم‌کره‌ی جنوبی) می‌دانید که ماه با خورشید زاویه نسبی °۹۰ می‌سازد. با این حال در مسیر دایره البروج ماه از خورشید دور است (تقریبا سه ماه اختلاف). در ماه ژوئن هلال ماه میلی نزدیک به میل خورشید در ماه سپتامبر را دارد (°۰). در ماه سپتامبر میلی نزدیک به میل خورشید در ماه دسامبر(°۲۳.۵-) و . . .

تصویر۱-۳ و ۲-۳: ساخت نشانگر ستاره‌ای

ساخت نشانگر

نشانگر ماه به همان روش نشانگر خورشید ساخته می‌شود. مانند قبل به یک مدل برای شبیه‌سازی مشاهدات در نیم‌کره‌ی جنوبی و یک مدل دیگر برای نیم‌کره‌ی شمالی نیاز داریم (شکل ۱۳ و ۱۴ برای نیم‌کره‌ی شمالی و شکل ۱۳ و ۱۵ برای نیم‌کره‌ی جنوبی). می‌توان یک مدل بزرگ‌تر برای استفاده‌ی معلم ساخت.

از شبیه‌ساز خورشید استفاده کنید و یک ماه کاهنده (برای نیم‌کره‌ی شمالی به شکل "C" و برای نیم‌کره‌ی جنوبی به شکل "D") به جای خورشید قرار دهید و با توجه به دستورالعمل زیر یک شبیه‌ساز ماه بسازید.

برای قرار دادن ماه بر روی نشانگر تصویر۳۱ (ماه تربیع) را برش دهید و مانند ساختن خورشید دو قطعه چسب به بالا و پشت ماه برش داده شده بچسبانید. این نوار شفاف را بر روی مکانی که ماه‌ها مشخص شده‌اند قرار دهید (شکل ۱۲ یا ۱۴ با توجه به نیم‌کره‌ی مورد نظر). هدف اصلی این است که به راحتی بتوان بین ماه‌های انتخابی حرکت کرد.

تصویر ۱-۲۴ و ۲-۲۴: به کمک نشانگر می‌توان نشان داد که خورشید در نیمی از سال بالای افق و در نیمی دیگر زیر آن قرار دارد.

استفاده از نشانگر ماه

برای استفاده از این نشانگر ابتدا می‌بایست عرض جغرافیایی را انتخاب کرد. می‌توان به کمک این نشانگر سفری مجازی به نقاط مختلف زمین داشت.

به کمک دست چپ خود بخش اصلی نشانگر که دارای قسمت سفید است (زیر بخش اعداد عرض جغرافیایی) را بگیرید (تصویر ۳۲). عرض جغرافیایی را انتخاب کنید و صفحه‌ی افقی را حرکت دهید تا به عرض انتخابی برسد. روزی که می‌خواهید حرکت ماه کاهنده را شبیه‌سازی کنید انتخاب کنید. سه ماه به مقدار آن اضافه کنید و ماه که در فاز تربیع چهارم (تصویر۳۱) است را در آنجا قرار دهید. این ماه که ماه در آن حضور دارد همان جایی است که خورشید

در سه ماه بعد در آن خواهد بود. از دست راست خود برای حرکت شرق به غرب صفحه‌ای که ماه بر روی آن قرار دارد استفاده کنید.

به کمک شبیه‌سازی در نیم‌کره‌ی شمالی می‌توانید تغییرات تربیع چهارم ماه همراه با عرض جغرافیایی و زمان را در طول سال مشاهده کنید. از منظر رصدگر (عروسک) هلال کاهنده‌ی تربیع چهارم ماه می‌تواند به شکل "C" و "U" بر بالای افق ظاهر شود.

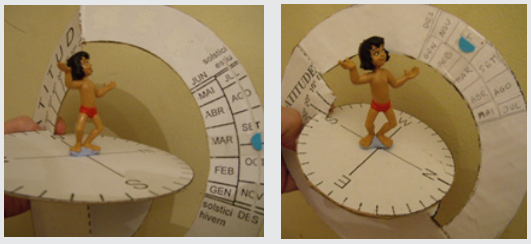
اگر عرض جغرافیایی حدود ۷۰° شمالی یا جنوبی انتخاب شود تربیع ماه به صورت "C" به غرب حرکت می‌کند. اینکه در کدام زمان از سال باشد چندان مهم نیست؛ در همه‌ی فصل‌ها به صورت "C" دیده می‌شود (تصویر ۳۲).

اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۲۰° شمالی یا جنوبی باشد ناظر در نزدیکی استوا است و ماه را به صورت ماه لبخندی "U" می‌بیند. ماه در مقایسه با مثال قبل در امتداد خطی که به افق عمودتر است حرکت می‌کند (تصویر ۳۲). شکل "U" با تغییر ماه تغییر نمی‌کند و در کل سال به همین شکل دیده می‌شود.

اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۹۰° شمالی یا جنوبی باشد ناظر در قطب حضور دارد و با توجه به اینکه در کدام روز سال باشد یکی از دو حالت زیر رخ می‌دهد:

- ماه در حالی که در امتداد افق حرکت می‌کند به صورت "C" دیده می‌شود.
- به علت اینکه مسیر حرکت زیر افق است نمی‌توان ماه را مشاهده کرد.

اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۰° باشد ناظر در استوا است و می‌توان ماه را به صورت "U" ماه لبخندی دید. ماه عمود بر افق طلوع و غروب می‌کند. با شکل "U" ناپدید می‌شود (در ظهر) و با شکل برعکس " ∩ " بازخواهد گشت.



تصویر ۱-۳۲ و ۲-۳۲: نشانگر برای عرض جغرافیایی ۷۰° شمالی. نشانگر برای عرض جغرافیایی ۲۰° جنوبی.

برای ساکنین عرض‌های جغرافیایی میانی ماه در فاز تربیع با زاویه کمتر یا بیشتری طلوع می‌کند و شکل آن بین "U" و "C" خواهد بود.

آزمایشات بالا را به صورت مشابه برای ماه در حالت "D" شکل نیز می‌توان انجام داد. به یاد داشته باشید که هنگام قرار دادن ماه در جایگاه خورشید عدد صحیح روز را انتخاب کنید (در این مورد می‌بایست سه ماه کم کرد).

اگر عرض جغرافیایی ۷۰°- شمالی یا جنوبی باشد متوجه می‌شوید که ماه به صورت "D" خواهد بود و از شرق به غرب حرکت می‌کند. این امر به اینکه در کدام روز از سال باشد بستگی ندارد. در همه‌ی فصل‌ها ماه به صورت "D" دیده می‌شود (تصویر ۳۳)

اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۲۰°- باشد (تصویر ۳۲) ناظر ساکن نواحی استوایی است و ماه لبخندی "U" با کمی انحراف دیده می‌شود. ماه برخلاف مثال قبلی به صورت عمود بر افق در مسیر خود حرکت می‌کند (تصویر ۳۲). شکل "U" با توجه ماه‌های سال تغییر نمی‌کند.

اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۹۰°- باشد ساکن در قطب جنوب قرار دارد و با توجه به زمان یکی از دو حالت زیر را می‌توان دید:

- مشاهده‌ی ماه به صورت "D" که در امتداد افق حرکت می‌کند.
- با توجه به اینکه مسیر در پایین‌تر از افق است نمی‌توان ماه را مشاهده کرد.

اگر عرض جغرافیایی ۰° باشد مانند شبیه‌سازی نیم‌کره‌ی شمالی ناظر در استوا است و می‌تواند ماه را به صورت "U" ماه لبخندی ببیند. ماه عمود بر افق طلوع و غروب می‌کند. با شکل "U" ناپدید می‌شود (در ظهر) و با شکل برعکس " ∩ " بازخواهد گشت.

برای ساکنین نواحی با عرض‌های جغرافیایی میانی ماه در موقعیتی بین شکل "U" و "C" طلوع و غروب خواهد کرد. و میزان خمیدگی آن وابسته به عرض جغرافیایی ناظر است.

دیدگاه‌های بالا را به صورت مشابه می‌توان وقتی که ماه به شکل "C" است اعمال کرد و به یاد داشته باشید که سه ماه از موقعیت خورشید کم کنید.

قدردانی: نویسندگان از Joseph Snider به علت ساخت ابزار خورشیدی در سال ۱۹۹۲ که برای ساخت نشانگرها از آن الهام گرفته‌اند کمال تشکر را دارند.

سیستم زمین - ماه - خورشید: فازها و گرفت‌ها

رزا ماریا رزا - اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا)

چکیده

در این بخش به فازهای ماه، خورشید گرفتگی و ماه گرفتگی پرداخته می‌شود. با استفاده از این گرفت‌ها می‌توان به فاصله و قطر اجرام سیستم زمین - ماه - خورشید دست یافت.

اهداف

- درک دلیل فازهای مختلف ماه
- درک دلیل ماه گرفتگی
- درک دلیل خورشید گرفتگی
- درک دلیل جزر و مد

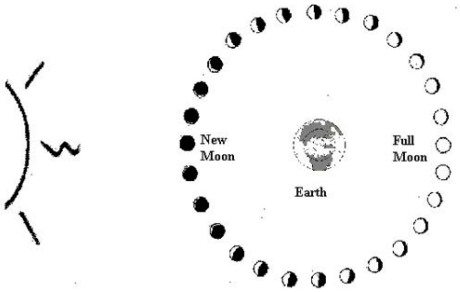
موقعیت‌های نسبی

واژه "گرفت" در موقعیت‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما کاربرد کلی آن در مواقعی است که یک جرم از مقابل جرم دیگری عبور می‌کند؛ در این قسمت موقعیت نسبی ماه و زمین مانع نور خورشید می‌شود.

خورشید گرفتگی زمانی رخ می‌دهد که ماه میان خورشید و زمین قرار گرفته باشد و بخشی یا کل دیسک ظاهری خورشید را بپوشاند. این پدیده تنها در زمان ماه نو رخ می‌دهد. (شکل ۱)

ماه گرفتگی زمانی رخ می‌دهد که ماه از میان سایه زمین عبور کند. در هنگام وقوع این پدیده ماه و خورشید در دو سمت مخالف زمین قرار دارند؛ به همین دلیل پدیده ماه گرفتگی تنها در زمان ماه کامل رخ می‌دهد. (شکل ۱)

ماه و زمین هر دو در مدارهای خود که بر یک صفحه منطبق نمی‌باشند، گردش می‌کنند. شیب مدار ماه نسبت به مدار زمین ۵ درجه می‌باشد. این مدارها در دو نقطه به نام نقاط "گره" با یکدیگر برخورد دارند؛ گرفت‌ها تنها زمانی رخ می‌دهند که ماه نزدیک یکی از این گره‌ها قرار داشته باشد. اگر دو مدار ماه و زمین بر یکدیگر منطبق بودند تعداد گرفت‌ها در یک سال بسیار بیشتر از چیزی بود که الان وجود دارد (۰ تا ۳ گرفت در یک سال).



شکل ۱: خورشید گرفتگی زمانی رخ می‌دهد که ماه میان زمین و خورشید باشد (ماه نو). ماه گرفتگی زمانی رخ می‌دهد که ماه از میان مخروط سایه زمین عبور کند (زمین میان خورشید و ماه کامل قرار دارد).

مدل‌های ماسک

مدل صورت‌های پوشیده شده

ماه دو حرکت دارد: حرکت چرخشی و حرکت انتقالی که دوره هر دو تقریبا با هم برابر است (تقریبا چهار هفته).

به همین دلیل از زمین همیشه یک سمت ماه را می‌توانیم ببینیم.

این موقعیت را می‌توان با یک مدل‌سازی ساده نشان داد. یک نفر داوطلب به عنوان زمین، و یک نفر دیگر به عنوان ماه با ماسک سفید انتخاب می‌شود. پیش از آغاز حرکت ماه، زمین و ماه رو به روی یکدیگر قرار می‌گیرند. اگر ماه ۹۰ درجه به دور زمین بچرخد باید ۹۰ درجه نیز به دور خود بچرخد. دوباره ماه و زمین رو به روی یکدیگر قرار می‌گیرند. از داوطلب زمین بپرسید که شکل ماه تغییر کرده یا همان قسمت قبلی است. این موقعیت را چهار بار با چرخش‌هایی ۹۰ درجه‌ایی تکرار کنید. هر ۹۰ درجه چرخش به معنای یک هفته تغییر ماه در آسمان است. داوطلب زمین هیچگاه نمی‌تواند پشت سر داوطلب ماه رو ببیند؛ بدین ترتیب همیشه یک سمت از ماه رو به زمین قرار دارد.

برای انجام این مدل‌سازی حداقل به پنج نفر داوطلب و منبع نور خارجی به عنوان خورشید نیاز داریم؛ یک نفر به عنوان زمین وسط قرار می‌گیرد و چهار نفر دیگر در فواصل مساوی اطراف زمین به عنوان فازهای مختلف ماه قرار می‌گیرند. برای جذاب‌تر شدن مدل‌سازی افرادی که نقش ماه را دارند می‌توانند از ماسک‌های سفید رنگ استفاده کنند. با توجه به این که همیشه یک سمت ماه رو به زمین است همه آن‌ها باید رو به زمین قرار بگیرند (تصویر ۲). با استفاده از منبع نور که می‌تواند یک چراغ قوه باشد نور از پشت سر یکی از افراد به ماه‌ها تابیده می‌شود به طوری که از دید زمین فازهای مختلف ماه شبیه‌سازی شود؛ گاهی اوقات ماه کاملا روشن است (ماه کامل)، نیمی از ماه روشن است (تربیع) و گاهی اوقات کاملا

تاریک است (ماه نو).

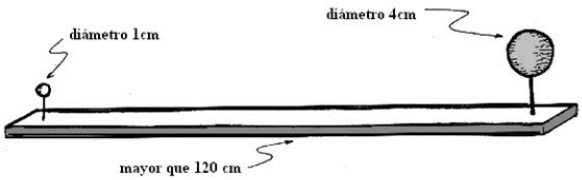
هرچه تعداد داوطلب‌ها برای ماه بیشتر باشد، فازهای مختلفی را می‌توان شبیه‌سازی کرد.

تصویر ۲: مدل زمین- ماه (توضیح فازهای مختلف ماه و بخش‌های قابل رویت ماه)

مدل زمین- ماه

درک هندسه فازهای مختلف ماه، خورشیدگرفتگی و ماه گرفتگی کار ساده‌ای نیست. اما برای تسهیل در درک آن یک مدل ساده طراحی شده است.

برروی یک تخته چوب ۱۲۵ سانتی‌متری دو نی با اندازه ۳ یا ۴ سانتی‌متر بچسبانید. دو توپ کوچک با قطر ۴ و ۱ سانتی‌متر برروی نی‌ها قرار دهید (شکل ۳).



شکل ۳: مدل زمین و ماه

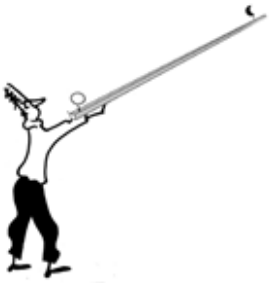
این اندازه‌ها مقیاسی از اندازه حقیقی ماه و زمین می‌باشد. به همین دلیل صحیح در نظر گرفتن آن‌ها بسیار مهم است.

قطر زمین	۱۲۸۰۰ کیلومتر	۴ سانتی‌متر
قطر ماه	۳۵۰۰ کیلومتر	۱ سانتی‌متر
فاصله میان زمین و ماه	۳۸۴۰۰۰ کیلومتر	۱۲۰ سانتی‌متر
قطر خورشید	۱۴۰۰۰۰۰ کیلومتر	۴۴۰ سانتی‌متر= ۴.۴ متر
فاصله میان زمین و خورشید	۱۵۰۰۰۰۰۰۰ کیلومتر	۴۷۰۰ سانتی‌متر= ۰.۴۷ کیلومتر

جدول ۱: فواصل و قطر اجرام سیستم زمین- ماه- خورشید

شبیه‌سازی فازهای ماه:

در یک روز آفتابی که ماه در طول روز مشخص است چوب را به گونه‌ای به سمت ماه بگیرید که توپ کوچک‌تر به سمت ماه باشد (شکل ۴). ناظر باید پشت توپی که نشانگر زمین است قرار بگیرد. توپی که نشانگر ماه است اندازه ماه واقعی خواهد بود و فاز آن را نشان می‌دهد. با تغییر جهت مدل شاهد فازهای مختلف ماه خواهید بود.



شکل ۴: استفاده از مدل در حیاط مدرسه

بهتر است که این فعالیت را در محیطی باز انجام دهید اما اگر هوا ابری باشد می‌توانید در محیط سرپوشیده و با استفاده از یک چراغ قوه به عنوان منبع نور انجام دهید.

شبیه‌سازی ماه گرفتگی

توپ بزرگ‌تر را که زمین می‌باشد به سمت خورشید قرار دهید (برای جلوگیری از تابش مستقیم خورشید می‌توان از یک چراغ قوه کمک گرفت). سایه زمین که از ماه بزرگ‌تر است آن را می‌پوشاند (تصاویر ۱-۵ و ۲-۵). این روشی بسیار ساده برای شبیه‌سازی ماه گرفتگی می‌باشد.

تصاویر ۱-۵ و ۲-۵: شبیه‌سازی ماه گرفتگی

تصویر۶: تصویر ترکیبی از ماه گرفتگی قمر زمین از میان سایه مخروطی زمین عبور می‌کند.

شبیه‌سازی خورشید گرفتگی

توپ کوچک‌تر (ماه) به سمت خورشید قرار می‌گیرد. سایه آن بر روی توپ زمین تشکیل می‌شود. با انجام این فعالیت خورشیدگرفتگی شبیه‌سازی شده و سایه کوچک ماه بر برخی نواحی زمین مشخص خواهد بود (تصاویر۷ و ۸).

تصاویر۱-۷ و ۲-۷: شبیه‌سازی خورشید گرفتگی

شیب مدل باید به درستی تنظیم شود تا خورشیدگرفتگی شبیه‌سازی شود. به همین دلیل در واقعیت نیز تعداد خورشید گرفتگی‌ها از ماه گرفتگی‌ها کمتر می‌باشد.

تصویر۸: جزئیات تصویر۱-۷

تصویر ۹: تصویری از خورشید گرفتگی سال ۱۹۹۹ در برخی نواحی زمین که از ایستگاه فضایی بین‌المللی ثبت شده‌است.

- **رصد**

ماه گرفتگی تنها در هنگام ماه کامل و خورشید گرفتگی در هنگام ماه نورخ می‌دهد.

- خورشید گرفتگی تنها از برخی مناطق زمین قابل مشاهده است.
- هم خطی دقیق ماه و زمین که منجر به یک گرفت می‌شود به سادگی رخ نمی‌دهد؛ به همین دلیل هر ماه نو و یا ماه کامل شاهد یک گرفت نیستیم.

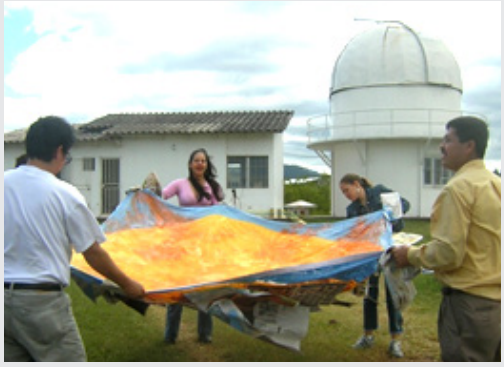
مدل خورشید- ماه

برای شبیه‌سازی سیستم زمین- ماه- خورشید با توجه به فواصل میان آن‌ها مدل جدیدی با در نظر گرفتن ناظر زمینی طراحی کنید. از دانش‌آموزان بخواهید که خورشیدی پارچه‌ای یا کاغذی به قطر ۲۲۰ سانتی‌متر طراحی کنند. سپس ماه با قطر ۰.۶ سانتی‌متر (کم‌تر از ۱ سانتی‌متر) را در مقابل آن قرار بدهید. می‌توان با جایگزین کردن توپ ماه در تخته چوب از موقعیت ماه و ناظر اطمینان حاصل کرد.

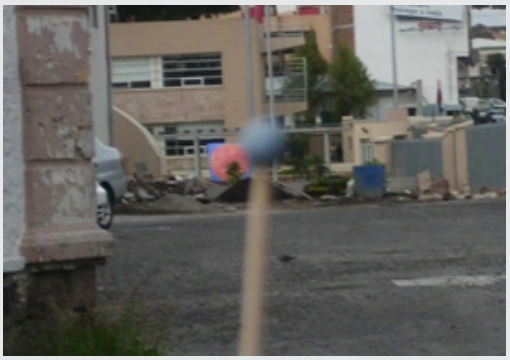
در این فعالیت ماه را در فاصله ۲۳۵ متری خورشید قرار می‌دهیم؛ ناظر نیز ۶۰ سانتی‌متر از ماه فاصله خواهد داشت. دانش‌آموزان از اینکه متوجه می‌شوند با این فواصل ماه می‌تواند خورشید را بپوشاند شگفت‌زده خواهند شد. درک اندازه و فاصله واقعی ماه و خورشید برای دانش آموزان کمی دشوار است اما با استفاده از این فعالیت به راحتی می‌توان اندازه و فاصله ۴۰۰ برابری خورشید نسبت به ماه را برای آنان شفاف‌سازی کرد. این فعالیت به خوبی موقعیت اجرام مختلف را در هنگام خورشید گرفتگی نشان می‌دهد؛ انجام یک تمرین و فعالیت بسیار مفیدتر از خواندن اعداد در یک کتاب است.

قطر زمین	۱۲۸۰۰ کیلومتر	۲.۱ سانتی‌متر
قطر ماه	۳۵۰۰ کیلومتر	۰.۶ سانتی‌متر
فاصله میان زمین و ماه	۳۸۴۰۰۰ کیلومتر	۶۰ سانتی‌متر
قطر خورشید	۱۴۰۰۰۰۰ کیلومتر	۲۲۰ سانتی‌متر
فاصله میان زمین و خورشید	۱۵۰۰۰۰۰۰۰ کیلومتر	۲۳۵ متر

جدول ۲: فواصل و قطر اجرام سیستم زمین- ماه- خورشید



تصویر ۱۰: مدل خورشید



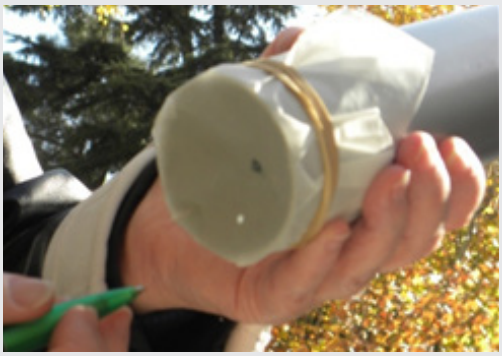
تصویر ۱۱: تماشای خورشید و ماه در مدل

محاسبه قطر خورشید

قطر خورشید را می‌توان به روش‌های گوناگونی محاسبه کرد. در اینجا روشی ساده با استفاده از " دوربین پین‌هول" یک سوراخ ارائه می‌شود. این کار را می‌توانید با استفاده از یک جعبه کفش یا یک لوله مقوایی و فویل آلومنیومی یا پلاستک به عنوان محور اصلی انجام دهید.

۱- یک سمت استوانه را با کاغذی نیمه‌شفاف و سمت دیگر را با فویل آلومنیومی بپوشانید. با استفاده از یک پونز در فویل آلومنیومی سوراخی کوچک ایجاد کنید (تصاویر ۱۲ و ۱۳).

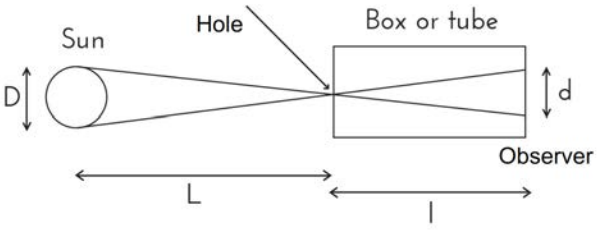
۲- سمتی از استوانه که سوراخ در آن وجود دارد به سمت خورشید گرفته و به کاغذ آن نگاه کنید. قطر تصویر خورشید بر روی کاغذ را اندازه‌گیری کنید.



تصویر ۱۲ و ۱۳: مدل دوربین پین‌هول

برای محاسبه قطر خورشید به شکل ۱۴ دقت کنید؛ در این

تصویر دو مثلث متشابه وجود دارد.



شکل ۱۴: محاسبات هندسی

رابطه زیر را داریم:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

و برای قطر خورشید داریم:

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

فاصله زمین تا خورشید: L

L: طول لوله

d: قطر تصویر خورشید

D: قطر واقعی خورشید که باید از این رابطه محاسبه شود

(قطر خورشید ۱۳۹۲۰۰۰ کیلومتر می‌باشد)

می‌توان با این تمرین قطر ماه کامل را محاسبه کرد (فاصله ماه تا زمین ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر است)

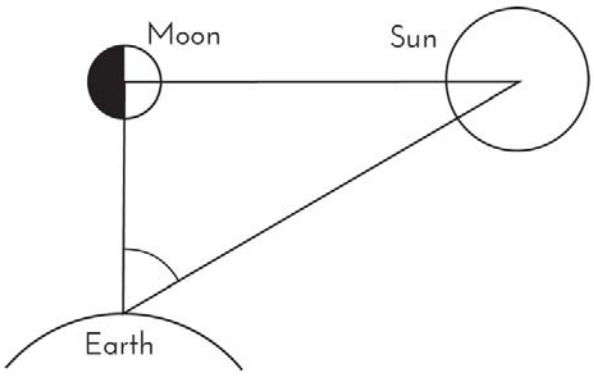
اندازه‌ها و فواصل در سیستم زمین - ماه - خورشید

آریستاخوس (۳۱۰ تا ۳۲۰ سال پیش از میلاد مسیح) نسبت میان فواصل و شعاع اجرام سیستم خورشید - زمین- ماه را مشخص کرد. وی شعاع خورشید و ماه، فاصله میان زمین و خورشید، فاصله میان زمین و ماه را به نسبت شعاع زمین محاسبه کرد. سال‌ها بعد اراتوستن (۲۸۰ تا ۱۹۲ سال پیش از میلاد مسیح) شعاع زمین را محاسبه کرد؛ بدین ترتیب فواصل و قطر اجرام این سیستم قابل محاسبه شد. هدف از انجام این فعالیت این است که دانش‌آموزان تمام محاسبات ریاضی آن را به عنوان یک فعالیت دانش‌آموزی انجام دهند و تا حد امکان به روش آریستاخوس و اراتوستن به رصد بپردازند.

تکرار آزمایش آریستاخوس

رابطه میان زمین- ماه و زمین- خورشید

آریستاخوس زاویه‌ای که میان دو خط ماه- خورشید و ماه- زمین تشکیل می‌شود را ۸۷ درجه در نظر گرفت (شکل ۱۵).



شکل ۱۵: موقعیت نسبی ماه در فاز تربیع

$$\cos = ES / EM$$

امروزه می‌دانیم که مقداری که آریستاخوس در نظر گرفته کمی با مقدار واقعی اختلاف دارد؛ مقدار صحیح این زاویه ۸۹° ۵۱′ می‌باشد. اما روش مورد استفاده‌ی آریستاخوس کاملا صحیح بوده است. و با توجه به شکل ۱۵ و طبق تعریف سکانت به این نتیجه می‌رسیم:

$$\cos = ES / EM$$

EM: فاصله میان زمین و ماه

ES: فاصله میان خورشید و ماه

$$ES = ۴۰۰\, EM$$

البته آریستاخوس این مقدار را ES = ۱۹ EM محاسبه کرد

رابطه میان شعاع ماه و خورشید

$$R_S = ۴۰۰\, R_M$$

رابطه میان قطر ماه و خورشید شبیه به فرمولی است که پیش از این بیان شد زیرا از زمین قطر ظاهری خورشید و ماه ۰.۵ درجه می‌باشد. پس این نسبت برابر است با:

$$R_S = ۴۰۰\, R_M$$

رابطه میان فاصله زمین و ماه و شعاع ماه یا فاصله میان زمین و خورشید و شعاع خورشید

$$EM = (720\, R_M)/\pi$$

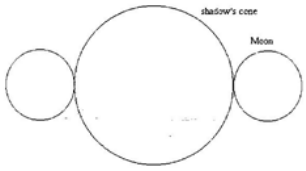
آریستاخوس مدار ماه به دور زمین را یک دایره در نظر گرفت؛ با توجه به اینکه قطر ظاهری ماه ۰.۵ درجه می‌باشد، مدار آن ۷۲۰ برابر قطر ظاهری می‌باشد. از این رابطه نتیجه می‌گیریم که

$$ES = (720\, R_S)/\pi$$

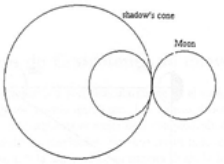
این رابطه میان فاصله تا زمین، شعاع ماه، شعاع خورشید و شعاع زمین برقرار است.

رابطه میان فاصله زمین تا خورشید و ماه، شعاع ماه، خورشید و زمین

آریستاخوس هنگام یک ماه گرفتگی متوجه شد مدت زمانی که طول می‌کشد ماه از میان سایه زمین عبور کند دو برابر زمانی است که طول می‌کشد که سطح ما پوشانده شود (شکل‌های ۱۶). او نتیجه‌گیری کرد که قطر سایه زمین دو برابر قطر ماه می‌باشد و نسبت آن‌ها به یکدیگر۲ به ۱ است. امروزه میدانیم که این نسبت ۲.۶ به ۱ می‌باشد.



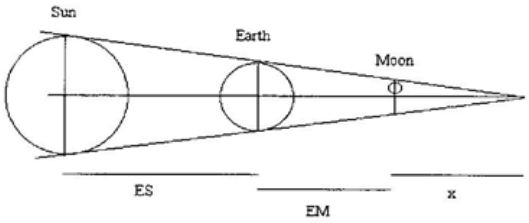
شکل ۱-۱۶: محاسبه مخروط سایه



شکل ۲-۱۶: محاسبه قطرماه

خلاصه نهایی

آخرین نتیجه (شکل ۱۷)



شکل ۱۷: سایه مخروطی و موقعیت نسبی زمین- ماه- خورشید

رابطه زیر را بدست می‌آوریم:

$$x/(2.6\ R_M) = (x+EM)/R_E = (x+EM+ES)/R_S$$

و با حذف متغییر اضافی x به رابطه ساده شده‌ی زیر می‌رسیم:

$$RM = (401/1440)\ RE$$

سپس با جایگذاری شعاع سیاره به شعاع سایر اجرام و فواصل آن‌ها دست می‌یابیم:

$$R_S = (2005/18)\ R_E,\ ES = (80200/\pi)\ R_E,\ EM = (401/(2\pi))\ R_E$$

محاسبه دانش آموزان

می‌توانید از دانش آموزان بخواهید تا محاسبات آریستاخوس را باردیگر انجام دهند. برای انجام این محاسبات ابتدا باید زاویه میان تربیع ماه و خورشید را بدست آورند؛ برای بدست آوردن این زاویه باید از زمان دقیق تربیع ماه اطلاع داشته باشند و از یک زاویه‌سنج استفاده کنند.

این زاویه را ۸۷° یا ′۵۱ °۸۹ در نظر بگیرید (محاسبه دقیق این زاویه بسیار دشوار است).

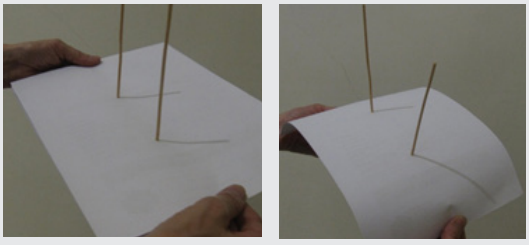
در طول یک ماه گرفتگی با استفاده از یک کورنومتر می‌توان زمان‌های زیر را محاسبه کرد: "اولین و آخرین تماس ماه با سایه مخروطی زمین" که همان قطر سایه مخروطی زمین است (تصویر ۱۷) و "مدت زماتی که طول می‌کشد تا ماه کاملا در سایه زمین قرار بگیرد" که همان قطر ماه است (تصویر۲۰). در نهایت می‌توان نسبت اندازه آن‌ها را محاسبه کرد (۲.۶ به ۱ یا عددی متفاوت).

مهم‌ترین هدف این فعالیت بدست آوردن اعداد قطر و فاصله نیست بلکه یادآوری این نکته به دانش آموزان است که با استفاده از دانش و ذکاوت خود حتی با در دست داشتن منابع اندک می‌توانند نتایج شگفت‌انگیزی بگیرند. در این فعالیت نبوغ آریستاخوس باعث شده که به ایده‌های جالبی در مورد نحوه اندازه‌گیری اندازه زمین، ماه و خورشید دست یابد.

دانش آموزان می‌توانند به کمک روش اراتوستن نیز شعاع زمین را بدست آورند. اگرچه روش وی بسیار شناخته شده می‌باشد اما در این بخش به طور خلاصه به آن می‌پردازیم.

تکرار آزمایش اراتوستن

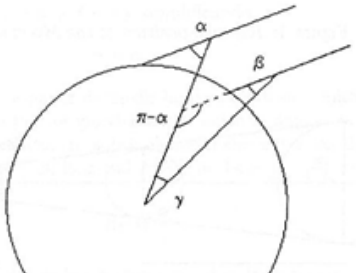
اراتوستن سرپرست کتابخانه اسکندریه بود. او در یکی از کتاب‌های کتابخانه خوانده بود که در شهر سِینا در روز انقلاب تابستانی بازتاب خورشید در ته یک چاه مشخص است (خورشید به طور عمود می‌تابد). او متوجه شد که در همان روز، در همان ساعت یک تکه چوب در شهر اسکندریه نیز هیچ سایه‌ای ندارد. به همین دلیل او نتیجه گرفت که سطح زمین نمی‌تواند تخت باشد و باید کروی باشد (تصاویر۱۸).



تصاویر۱۸: دو تکه چوب در سطح تخت دو سایه همسان دارند اما اگر سطح کروی باشد سایه‌ها متفاوت هستند.

تصور کنید دو تکه چوب به صورت عمودی در زمین در دو شهر مختلف با یک نصف‌النهار مشابه قرار داشته باشند. هر دو چوب باید به سمت مرکز زمین باشند. برای اندازه‌گیری

طول بهتر است از یک شاقول استفاده شود. باید طول شاقول از زمین تا نقطه علامت‌گذاری شده و طول سایه آن تا علامت را اندازه گرفت.



تصویر ۱۹: جایگذاری شاقول و زوایا در آزمایش اراتوستن

با موازی در نظر گرفتن پرتوهای خورشید برای هر شاقول یک سایه به وجود می‌آید. با محاسبه طول شاقول و سایه آن و با استفاده از تانژانت اندازه دو زاویه آلفا و بتا را بدست می‌آوریم (شکل ۱۹). زاویه مرکزی گاما را می‌توان باتوجه به مجموع زوایای داخلی یک مثلث بدست آورد. پس داریم:

$$\gamma = \alpha - \beta$$

دو زاویه آلفا و بتا را به کمک شاقول و سایه آن به دست آورده‌ایم.

در نهایت رابطه زیر برقرار است:

$$\gamma/d = 2\pi/(2\pi R_E)$$

سپس به این نتیجه می‌رسیم که:

$$R_E = d/\gamma$$

زاویه گاما را می‌توان با رصد و فاصله میان دو شهر را می‌توان به کمک یک نقشه دقیق برحسب کیلومتر به دست آورد.

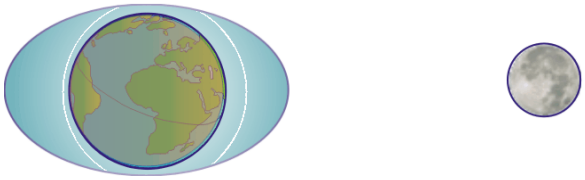
اراتوستن زاویه بتا را صفر و دو زاویه آلفا و گاما را با یکدیگر برابر در نظر گرفت و به کمک فاصله میان دو شهر سینا و الجاندریا به خوبی شعاع زمین را محاسبه کرد.

هدف از انجام این فعالیت دست‌یابی به نتیجه صحیح نمی‌باشد بلکه دانش‌آموزان باید متوجه شوند که برای بدست آوردن نتیجه می‌توانند از تمام خلاقیت‌های ذهنی خود و امکانات موجود استفاده کنند.

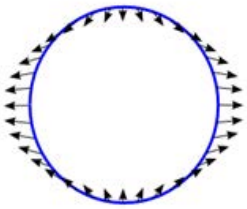
جزر و مد

جزر و مد افزایش و کاهش سطح آب دریاهای زمین در اثر چرخش زمین و نیروی گرانش خورشید و ماه می‌باشد. اگر چه این تاثیر بسیار اندک است اما حالت کف دریا و ساحل نیز بر جزر و مد تاثیر می‌گذارد. هر دوره جزر و مد تقریبا ۱۲.۵ ساعت طول می‌کشد.

دلیل اصلی جزر و مد کشش میان ماه و زمین است؛ در آن بخش از زمین که رو به ماه و پشت به ماه است شاهد بیشترین جزر و مدها خواهیم بود و در بخش‌های میانی جزر و مد کم می‌باشد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰: تاثیر جزر و مد بر آب دریاها



شکل ۲۱: تفاوت سطح ارتفاع آب در بخش‌های مختلف زمین

پدیده جزر و مد یک پدیده قدیمی است اما توجیه آن تنها پس از اکتشاف قانون جهانی گرانش نیوتون امکان‌پذیر بود (سال ۱۶۸۷).

$$Fg = G\frac{m_T \times m_L}{d^2}$$

نیروی گرانش ماه بر زمین تاثیر می‌گذرد. با توجه به قانون دوم نیوتون زمانی که نیروی گرانش وجود داشته باشد شتاب گرانش نیز وجود خواهد داشت. بدین ترتیب شتاب گرانشی که توسط ماه به زمین وارد می‌شود از این رابطه بدست می‌آید:

$$a_g = G\frac{m_L}{d^2}$$

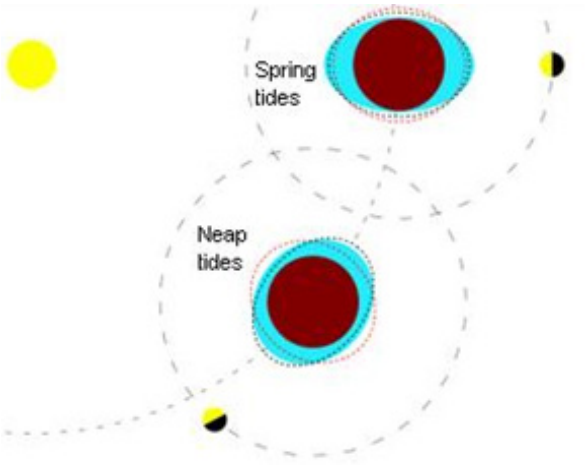
m_L: جرم ماه

d: فاصله ماه تا نقطه‌ای از زمین

بخش جامد زمین، صلب و انعطاف ناپذیر می‌باشد پس می‌توان شتاب گرانشی هر نقطه از زمین را با توجه به مرکز آن در نظر گرفت. اگرچه آب، مایع می‌باشد و شتاب گرانشی آن بستگی به فاصله آن تا ماه دارد. پس شتاب گرانشی آن سمت

از زمین که نزدیک به ماه است بیشتر می‌باشد. بدین ترتیب سطح آب اقیانوس‌ها شکلی بیضوی به خود می‌گیرد (شکل ۲۱).

این بیضی همیشه به سمت ماه (شکل ۲۰) و زمین به سمت پایین کشیده می‌شود؛ بدین ترتیب هر نقطه از زمین در طول یک شبانه روز شاهد یک مد و دو جزر می‌باشد. دوره هر جزر و مد کمی بیشتر از ۱۲ ساعت می‌باشد زیرا دوره چرخش ساروسی ماه به دور زمین تقریبا ۲۹.۵ روز می‌باشد. ماه طی هر دوره ۳۶۰ چرخش ساروسی خود درجه در آسمان طی می‌کند و هر روز ۱۲.۲ درجه و به عبارتی هر ۱۲ ساعت ۶.۶ درجه در آسمان جا به جا می‌شود. از آنجا که زمین در یک ساعت ۱۵ درجه می‌چرخد، ۶.۶ درجه برابر با ۲۴ دقیقه می‌شود. پس هر دوره جزر و مد ۱۲ ساعت و ۲۴ دقیقه طول می‌کشد. زمانی که طول می‌کشد تا یک جزر به یک مد تبدیل شود نصف این زمان یعنی ۶ ساعت و ۱۲ دقیقه می‌باشد.



شکل ۲۲: جزر و مدهای ناقص

همانطور که پیش از این بیان شد تاثیر ماه به دلیل فاصله کم به زمین بسیار بیشتر از تاثیر خورشید بر جزر و مد است. زمانی که ماه و خورشید در حالت مقارنه (ماه نو) و مقابله (ماه کامل) قرار بگیرند جزر و مد کامل و زمانی که نیروی گرانش این دو جرم نسبت به هم عمود باشد (تربیع اول و آخر) جزر و مد ناقص (کدر) خواهد بود.

کتابشناسی:

• Alonso, M., Finn,E. Física – um curso universitário. Volume I. Ed. Edgard Blucher, 1972

• Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo, Editorial Alambra, Madrid, 1988.

• Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., Experimentos de Astronomía, Editorial Alambra, Mexico, 1997.

• Fucili, L., García, B., Casali, G., “A scale model to study solar eclipses”, Proceedings of 3rd EAAE Summer School, 107, 109, Barcelona, 1999

• Lanciano, N., Strumenti per i giardino del cielo, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016

• Reddy, M. P. M., Affholder, M. Descriptive physical oceanography: State of the Art. Taylor and Francis. 249, 2001.

• Ros, R.M., Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 135, 149, Barcelona, 2005.

• Ros, R.M., Viñuales, E., Aristarchos’ Proportions, Proceedings of 3rd EAAE International Summer School, 55, 64, Barcelona, 1999.

• Ros, R.M., Viñuales, E., El mundo a través de los astrónomos alejandrinos, Astronomía, Astrofotografía y Astronáutica, 63, 21. Lérida, 1993.

کیف یک منجم (ستاره شناس) تازه کار (آماتور)

رزا ماریا رز - اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا)

چکیده

برای توسعه مهارت‌های رصدی، دانش‌آموزان به مجموعه‌ای از ابزارهای ساده نیاز دارند. دانش‌آموزان می‌توانند تعدادی از این ابزارها را ساخته و سپس از آن‌ها برای رصد آسمان در مدرسه خودشان استفاده کنند.

با استفاده از این ابزارها دانش‌آموزان به صورت ساده و پایه‌ای با ابزارهای متنوعی که برای تکمیل آن‌هاقرن‌ها، زمان سپری شده، چگونگی توسعه یافتن والزامی شدن آن‌ها آشنا می‌شوند. توانایی ساختن و مهارت استفاده از این ابزارها برای خواندن مشاهدات در ستاره شناسی بسیار اهمیت دارد. توسعه این الزامات با دانش‌آموزان آسان نیست به همین دلیل در این‌جا ابزارهای بسیار ساده را پیشنهاد می‌دهیم.

اهداف

- پی بردن به اهمیت یک رصد دقیق.
- پی بردن به نحوه استفاده از ابزارهای متنوعی که توسط دانش‌آموزان ساخته می‌شود.

رصد

ما می‌توانیم زمان و موقعیت اجرام سماوی را با استفاده از ابزارهای ساده‌ی دست ساز خودمان بدست آوریم. در اینجا ما اطلاعاتی در زمینه فراهم کردن ابزارهای رصدی مورد نیاز در کیف یک ستاره‌شناس تازه کار را به شما ارائه می‌دهیم. کیف و محتویات آن با ابزارهای ساده‌ای مانند: مقوا، چسب، قیچی و ... ساخته می‌شوند. بدون شک این فصل امکان بررسی بسیاری از ابزارهای مدرن و قدیمی دیگر را ارائه می‌دهد.

هر دانش‌آموز با توجه به مهارت هنری و قدرت تخیل و خلاقیت، کیف مخصوص به خود را طراحی خواهد کرد. این فعالیت را می‌توان با توجه به گروه سنی دانش‌آموزان با استفاده از ابزارهای ساده و یا پیچیده‌تر، بهینه نمود.

- خط کش نجومی بری اندازه‌گیری زوایا
- ارتفاع سنج ساده
- سمت یاب
- گردونه آسمان
- نقشه ماه
- ساعت استوایی
- طیف سنج

در این فعالیت ما یک کیف با ابزارهای ساده فراهم خواهیم کرد. این کیف کوچک را می‌توان به آسانی به مدرسه برد و یا در زنگ استراحت به سرعت آماده استفاده است. این کیف نباید بسیار بزرگ ویا شکننده باشد (به ویژه اگر برای دانش‌آموزان ابتدایی استفاده می‌شود). نکته‌ی بسیار مهم، دقت در اندازه گیری هدف نهایی این فعالیت نیست.

محتویات (ابزارها)

بدیهی است که ما فقط می‌توانیم این فعالیت را در حیاط مدرسه در فصل تابستان شبیه سازی کنیم. ایده این است که با استفاده ازابزاری که در اینجا خواهیم ساخت تمرین کنیم.

در ابتدا ما به یک جعبه مقوایی مانند جعبه کفش نیاز داریم. ما از این جعبه به عنوان کیف استفاده خواهیم کرد. شما می‌توانید ابزارهای خود را در این کیف کوچک، جمع آوری کرده و بچینید.

ابزارها شامل:

- خط‌کش نجومی جهت اندازه گیری زوایا: از این ابزار می‌توان برای اندازه‌گیری فاصله بین دو ستاره در یک صورت فلکی بر حسب زاویه و یا سایر اجرام استفاده کرد. استفاده از این ابزار بسیار ساده است و نیازی به معرفی مختصات ندارد.
- ارتفاع سنج ساده: از این ابزار برای اندازه گیری ارتفاع ستارگان می‌توان استفاده کرد. هنگامی که دانش‌آموزان جرم مورد نظر را از طریق جوینده ارتفاع سنج مشاهده نمودند، نخ متصل به آن به عنوان نشانگر،ارتفاع جرم از افق را نشان خواهد داد.
- سمت یاب: با استفاده از این ابزار می‌توان سمت ستارگان را نسبت به شمال پیدا کرد. می‌توان از قطب نما جهت تنظیم جهت‌های شمال - جنوب استفاده کرد.
- گردونه آسمان: گردونه آسمان ابزاری است برای پیدا کردن صورت‌های فلکی در تاریخ و ساعت‌های متفاوت. صورت‌های فلکی بر روی یک صفحه به صورت واضح تصویرشده‌اند و در صفحه‌ی دیگر قسمتی که مربوط به عرض جغرافیایی منطقه است را بریده تا دایره‌ای ایجاد شود، حال صفحه‌ی صورت‌های فلکی را در میان آن قرار می‌دهیم. با چرخاندن گردونه و تنظیم تاریخ و ساعت رصد، صورت‌های فلکی اصلی را می‌توان در آن دایره‌ای که بر اثر برش ایجاد شده، دید.
- طیف سنج: این ابزار نور را به هفت رنگی تشکیل دهنده‌ی آن تجزیه می‌کند.
- نقشه‌ی ماه: یک نقشه شامل اسامی دریاها و حفره‌های

روی ماه که با استفاده از دوربین دوچشمی می‌توان رصد کرد.

– چراغ قوه قرمز: برای روشن کردن نقشه ودیدن آن، قبل از مشاهده آسمان. نور سفید تطبیق چشم دانش‌آموزان با تاریکی را با مشکل مواجه می‌کند. اگر دانش‌آموزان در کیف خود چراغ قوه‌ی سفید دارند، یک طلق قرمز، در جلوی نور قرار دهید. اگر گروهی از داشن آموزان نورسفید داشته باشند ضمن ایجاد آلودگی نوری، رصد را با مشکل مواجه می‌کنند.

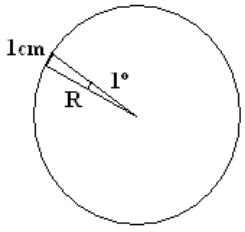
– قطب نما: برای تراز کردن ابزارها استفاده می‌شود.

– و البته ابزارهایی که هر دانش‌آموز باید با خود داشته باشد: مداد، ساعت، دفترچه یادادشت و در صورت امکان دوربین عکاسی.

با استفاده ازدستورالعمل‌ها و طرح‌ها، به سادگی می‌توان ابزارها را ساخت و از آن‌ها استفاده نمود.

برای مثال، با استفاده از ارتفاع سنج می‌توان موقعیت(ارتفاع) درخت یا یک تپه را در روز تعیین کرد. در شب نیز، می‌توان موقعیت ستارگان مختلف و یا ماه را برای درک چرخه‌ی اهله آن اندازه گرفت. ما دانش‌آموزان را تشویق به یادداشت برداری می‌کنیم.

برای اولین شب رصدی، برای آشنایی با آسمان ، بهتر است که از نقشه‌های ساده‌ی از پیش تهیه شده، که شامل صورت‌های فلکی اصلی هستند، استفاده شود. اگرچه نقشه‌های نجومی بسیار دقیق هستند، اما تجربه‌ی معلمان نشان می‌دهد که برخی مواقع استفاده از آن‌ها، بدون یک راهنما، گیج کننده است.



شکل ۱: شعاع R برای بدست آوردن ابزاری که در آن یک درجه معادل یک سانتی متر است.

در شکل ۱، ما رابطه‌ی بین محیط دایره‌ای به فرمول $2\pi R$ برحسب سانتی متر به ۳۶۰ را در نظر می‌گیریم به گونه‌ای که هر یک سانتی متر، ۱ درجه باشد:

$$\frac{2\pi R \text{ cm}}{360^\circ} = \frac{1 \text{ cm}}{1^\circ}$$

پس

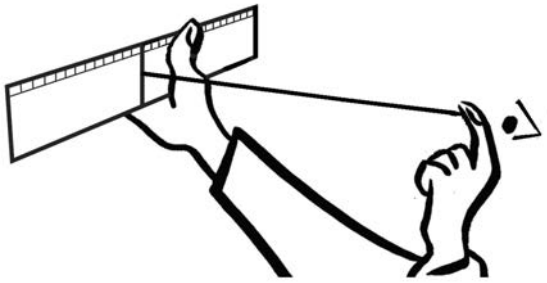
$$R = 180 / \pi = 57 \text{ cm}$$

برای ساخت خط کش؛ یک خط کش برمی‌داریم و نخی به طول ۵۷ سانتی متر را روی آن محکم می‌کنیم.

نکته ی خیلی مهم: نخ نباید کش بیاید.

چگونه از خط‌کش نجومی استفاده کنیم:

- ما با انتهای نخ که تقریبا چشم ما را لمس می‌کند (روی گونه، زیر چشم)، نگاه می‌کنیم.
- ما می‌توانیم با استفاده از خط کش اندازه گیری کنیم و هر یک سانتی متر را برابر با یک درجه در نظر می‌گیریم.(شکل ۲)



شکل ۲: استفاده از ابزار (یک خط کش و نخی به طول ۵۷ سانتی متر)، ما می‌توانیم با در نظر گرفتن ۱cm = ۱° زاویه‌ها را اندازه بگیریم.

تمرین پیشنهادی:

فاصله زاویه‌ای بین دو ستاره در یک صورت فلکی چقدر است؟ استفاده از خط کش برای اندازه گیری فاصله(زاویه) بین دبه و مراق در صورت فلکی خرس بزرگ.

ارتفاع سنج ساده: ارتفاع سنج تفنگی

یک نمونه ارتفاع سنج ساده، وسیله مناسبی برای اندازه گیری زوایا است. در این جا ما مدل تفنگی آن را آموزش خواهیم داد که برای دانش‌آموزان نیز بسیار جذاب است.

برای ساختن ارتفاع سنج: در ابتدا ما به یک مقوای مستطیل شکل به ابعاد ۱۲*۲۰ سانتی متر نیاز داریم. سپس مطابق شکل زیر برش‌های لازم را انجام می‌دهیم و دو حلقه کوچک در گوشه‌های آن ایجاد می‌کنیم.(شکل۳)

برگه‌ی مربوط به زوایا (شکل۴) را بریده و مطابق تصویر زیر(شکل ۳) آن را روی مقوا چسبانده، به گونه‌ای که یکی از قلاب‌ها در موقعیت صفر درجه قرار بگیرد(شکل ۳). سپس یک نخ در قسمت بالا بسته و از آن یک وزنه آویزان می‌کنیم.

چگونگی کار با ابزار:

• وقتی که از میان دو حلقه جسمی را مشاهده کردید که نخ نشانگر زوایه صفر را نشان داد، بیانگر افق است(شکل۵).

با استفاده ازنی‌ای که از حلقه‌ها عبور کند ناظری عالی خواهیم ساخت و توسط آن می‌توانیم ارتفاع خورشید را با نمایاندن تصویرآن برروی یک مقوای سفید به محاسبه کنیم.

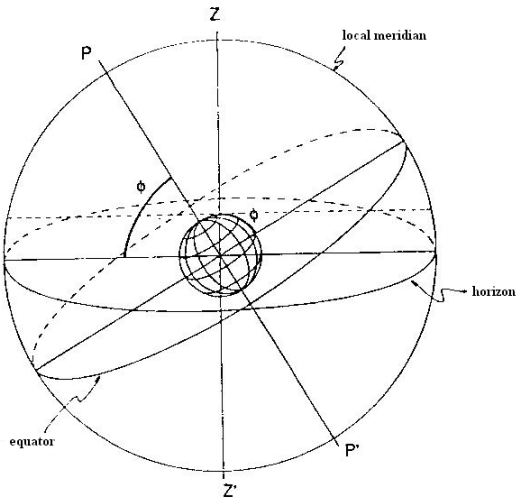
خطر: هرگز مستقیم به خورشید نگاه نکنید.

تمرین پیشنهادی:

عرض جغرافیایی مدرسه شما چقدر است؟

ما از ارتقاع سنج برای اندازه گیری ارتفاع ستاره‌ی شمال استفاده می‌کنیم. عرض جغرافیایی در هر منطقه‌ای برابر با ارتفاع ستاره قطبی در آن محل است.(شکل ۶)

شما همچنین می‌توانید از ارتفاع سنج برای محاسبه‌ی (در کلاس ریاضی) بلندی مدرسه و یا یک ساختمان در نزدیکی آن استفاده کنید.



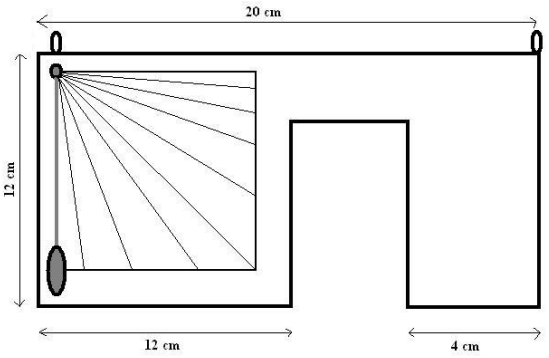
شکل ۶: عرض جغرافیایی مکان ϕ برابر است با ارتفاع ستاره‌ی شمال در آن محل

سمت یاب

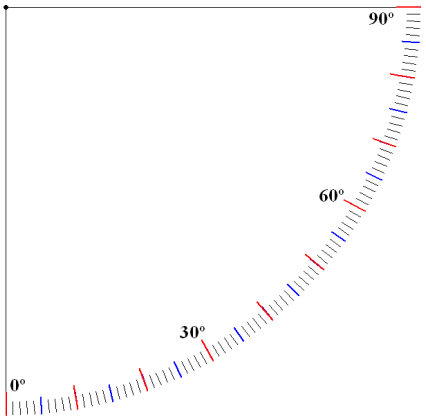
با استفاده از یک سمت یاب ساده، به راحتی می‌توان دومین پارامتر مختصات مورد نیاز برای تعیین مکان یک جرم آسمانی، را به دست آورد.

برای ساختن سمت یاب:

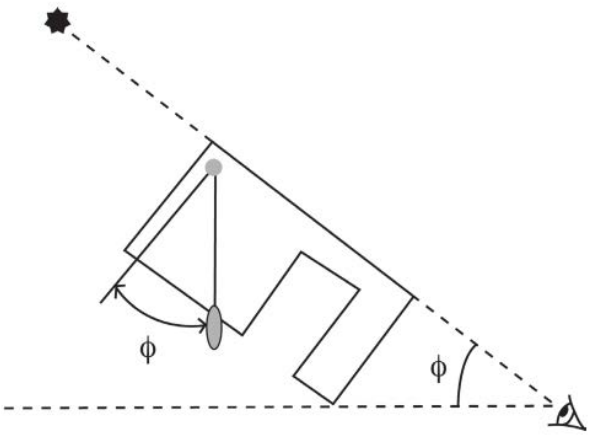
یک مقوای مستطیلی شکل به ابعاد ۱۲*۲۰ سانتی متر را برش دهید(شکل ۷ الف). سپس نیم دایره‌ی کاغذی(شکل ۸) را به گونه‌ای برروی مقوا می‌چسبانیم که قطرآن به موازات ضلع بزرگ مستطیل قرار بگیرد. سپس به کمک سه سوزن ته گرد، می‌توان جهت‌ها را برروی سمت یاب مشخص کنیم.(شکل۷ب)



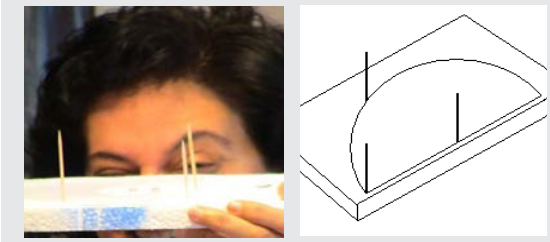
شکل۳: ارتفاع سنج تفنگی



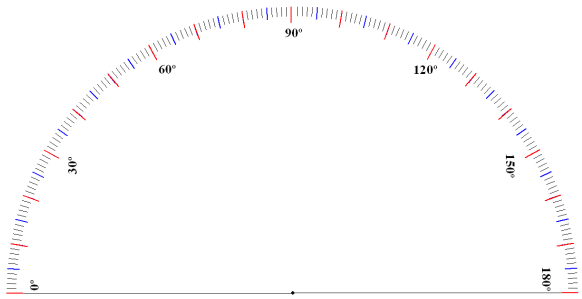
شکل ۴ :درجه بندی ۹۰ درجه برای چسباندن برروی ارتفاع سنج



شکل ۵ الف و ب: استفاده از زاویه یاب تفنگی



شکل ۷ الف و ب: استفاده از سمت یاب



شکل ۸: درجه بندی ۱۸۰ درجه برای چسباندن برروی سمت یاب

چگونگی کار با ابزار

• به منظور تعیین سمت یک ستاره، خط شروع نیم دایره را در راستای شمال - جنوب قرار می‌دهیم.

• سمت، زاویه بین راستای شمال-جنوب و خط واصل از مرکز دایره و راستای جرم است.

تمرین پیشنهادی:

سمت ماه را در امشب بدست آورید.

با استفاده از ارتفاع سنج و سمت سنج، ارتفاع و سمت ماه را بدست آورید. برای مطالعه‌ی حرکت ماه در شب، شما می‌توانید مختصات ماه را سه بار در هر ساعت محاسبه کنید. با استفاده از این روش شما می‌توانید حرکت ماه و ستارگان را در آسمان با یکدیگر مقایسه کنید.

گردونه آسمان

ما از نقشه ستارگان - با توجه به عرض جغرافیایی - برای آشنایی با صورت‌های فلکی استفاده می‌کنیم. در این بخش ما یک نمونه از این گردونه‌ها را خواهیم ساخت؛ ما توصیه می‌کنیم که با دستگاه کپی از آنها کپی تهیه کنید.

ساخت گردونه آسمان: ما از یک نقشه صورت‌های فلکی آسمان که بر روی یک کاغذ سفید ترسیم شده استفاده کرده و آن را در میان یک برگه‌ی دیگر- نگهدارنده- که با توجه به فاصله شما از استوا تنظیم می‌شود، قرار می‌دهیم.

نیم کره‌ی شمالی

برای یک مکان در نیم کره‌ی شمالی با عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۲۰ درجه، شما باید از دو گردونه برای هر افق استفاده کنید. برای ساختن افق شمالی ما دایره‌ی شکل ۹الف را با توجه به عرض جغرافیایی و از روی خطوط نقطه چین برش می‌دهیم. سپس نقشه‌ی ستارگان شکل ۱۰الف را درون آن قرار می‌دهیم. حالا ما یک گردونه‌ی افق شمالی در اختیار داریم. حالا برای گردونه‌ی آسمان افق جنوبی نیز این عمل را تکرار می‌کنیم. مانند قبل شکل ۹ب را برش داده و تا می‌کنیم و نقشه‌ی ستارگان ۱۰الف را در آن قرار می‌دهیم. هم‌زمان که در حال پیمایش افق جنوبی یا شمالی هستیم، ما از هر دو گردونه استفاده می‌کنیم.

برای عرض‌های جغرافیایی۳۰ تا ۷۰ درجه در نیم کرهی شمالی، با توجه به عرض جغرافیایی پنجره در شکل ۹ث را برش می‌دهیم، و برروی خطوط پیوسته تا می‌کنیم ، حالا یک پاکت بدست می‌آید که محل قرار گیری نقشه‌ی ستارگان است که از قبل برش داده و اماده شده است شکل(۱۰الف).

نیم کره‌ی جنوبی

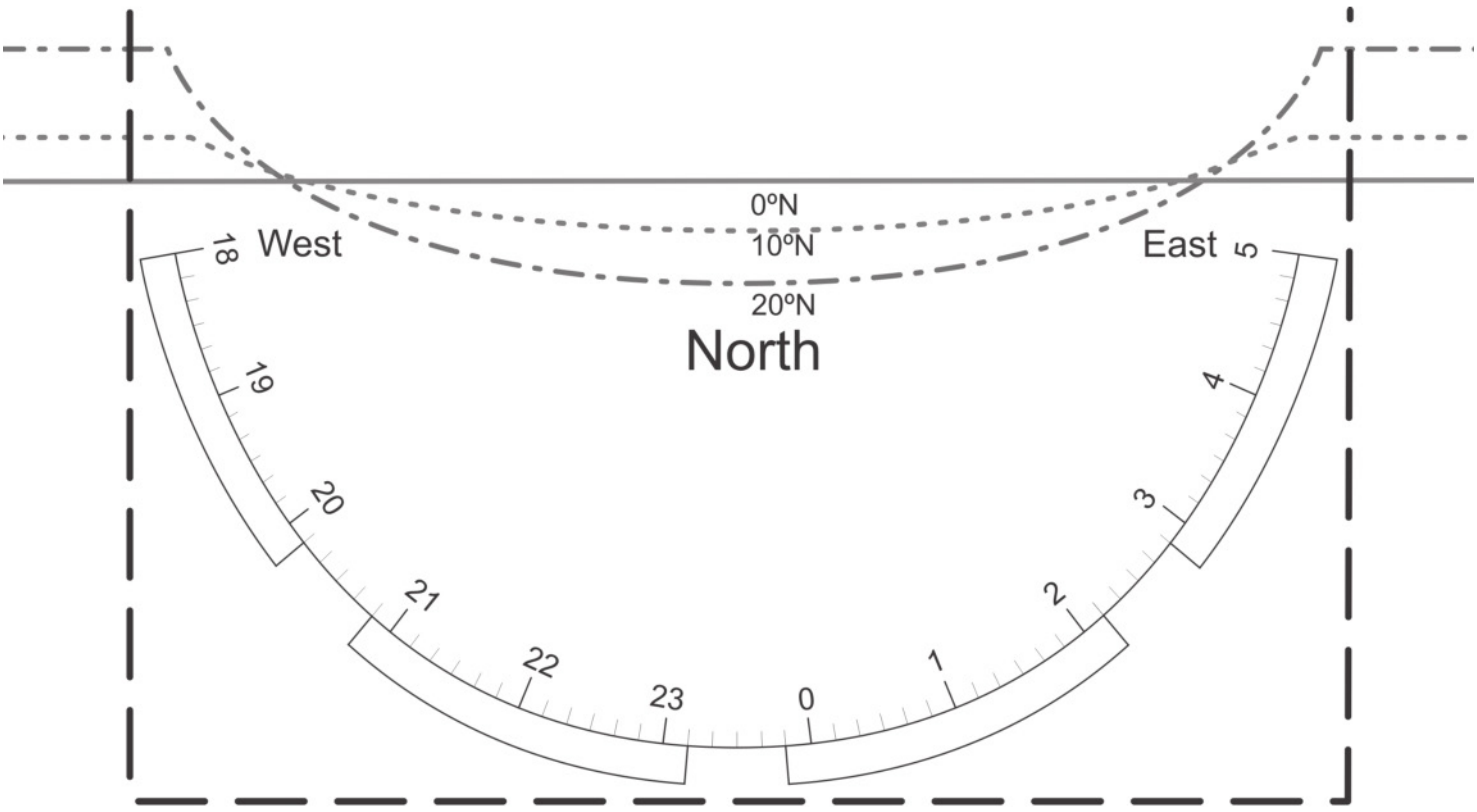
برای یک مکان در نیم کره‌ی جنوبی با عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۲۰ درجه، شما باید از دو گردونه برای هر افق استفاده کنید. برای ساختن افق شمالی ما دایره‌ی شکل ۹پ را با توجه به عرض جغرافیایی و از روی خطوط نقطه چین برش می‌دهیم. سپس نقشه‌ی ستارگان شکل ۱۰ب را درون آن قرار می‌دهیم. حالا ما یک گردونه‌ی آسمان برای افق شمالی در اختیار داریم. حالا برای گردونه‌ی آسمان افق جنوبی نیز این عمل را تکرار می‌کنیم. مانند قبل شکل ۹ت را برش داده و تا می‌کنیم و نقشه‌ی ستارگان ۱۰ب را در آن قرار می‌دهیم. همزمان که در حال پیمایش افق جنوبی یا شمالی هستیم، ما از هر دو گردونه استفاده می‌کنیم.

برای عرض‌های جغرافیایی۳۰ تا ۷۰ درجه در نیم کره‌ی جنوبی، با توجه به عرض جغرافیایی پنجره شکل ۹ج را برش می‌دهیم، و برروی خطوط پیوسته تا می‌کنیم ، حالا یک پاکت بدست می‌آید که محل قرار گیری نقشه‌ی ستارگان است که از قبل برش داده و آماده شده است(شکل ۱۰ب).

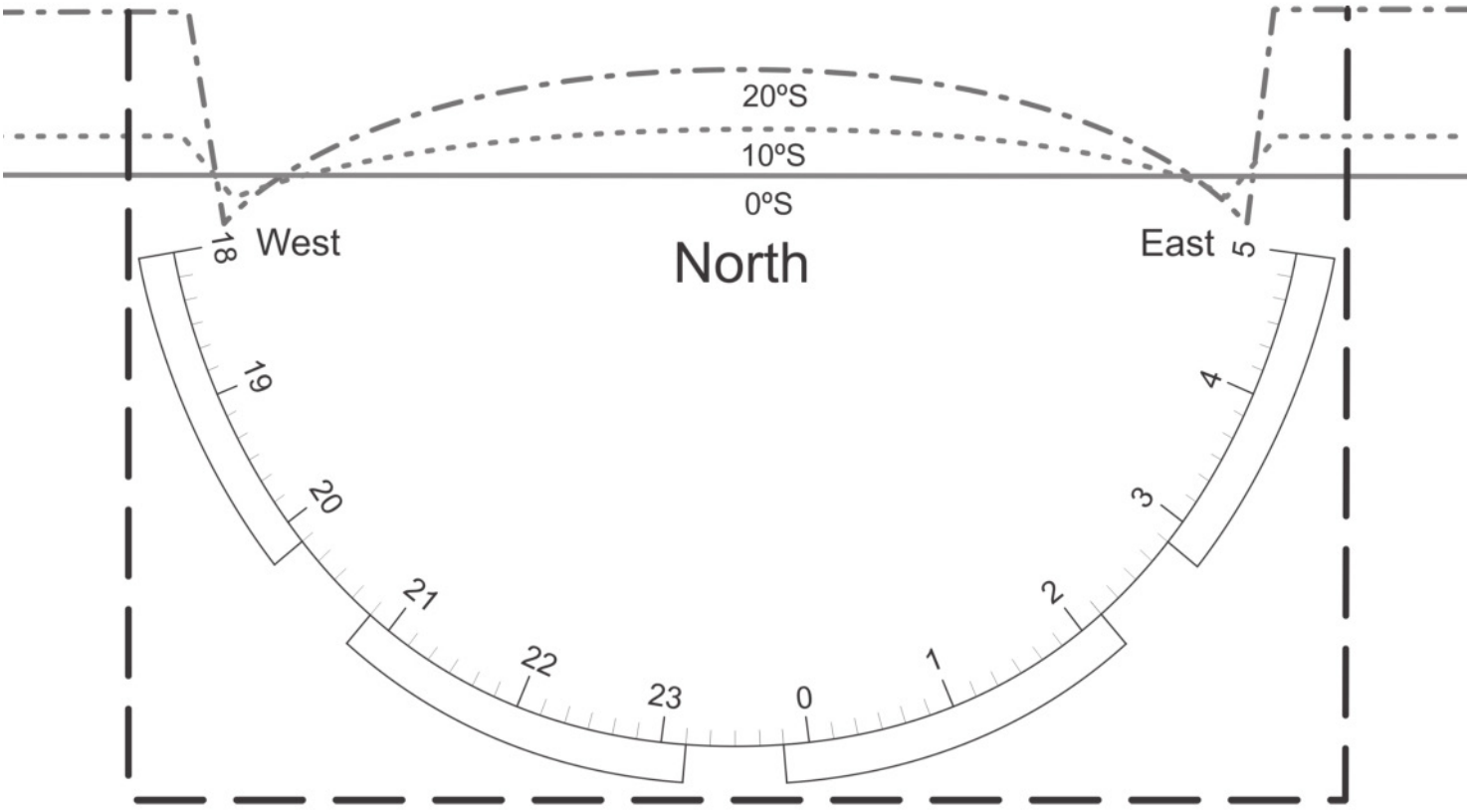
چگونگی کار با ابزار:

• نقشه آسمان را چرخانده تا در تاریخ و ساعت دلخواه تنظیم شود. بخشی از نقشه که مشاهده می‌شود، قسمت قابل مشاهده‌ی آسمان در ان لحظه است.

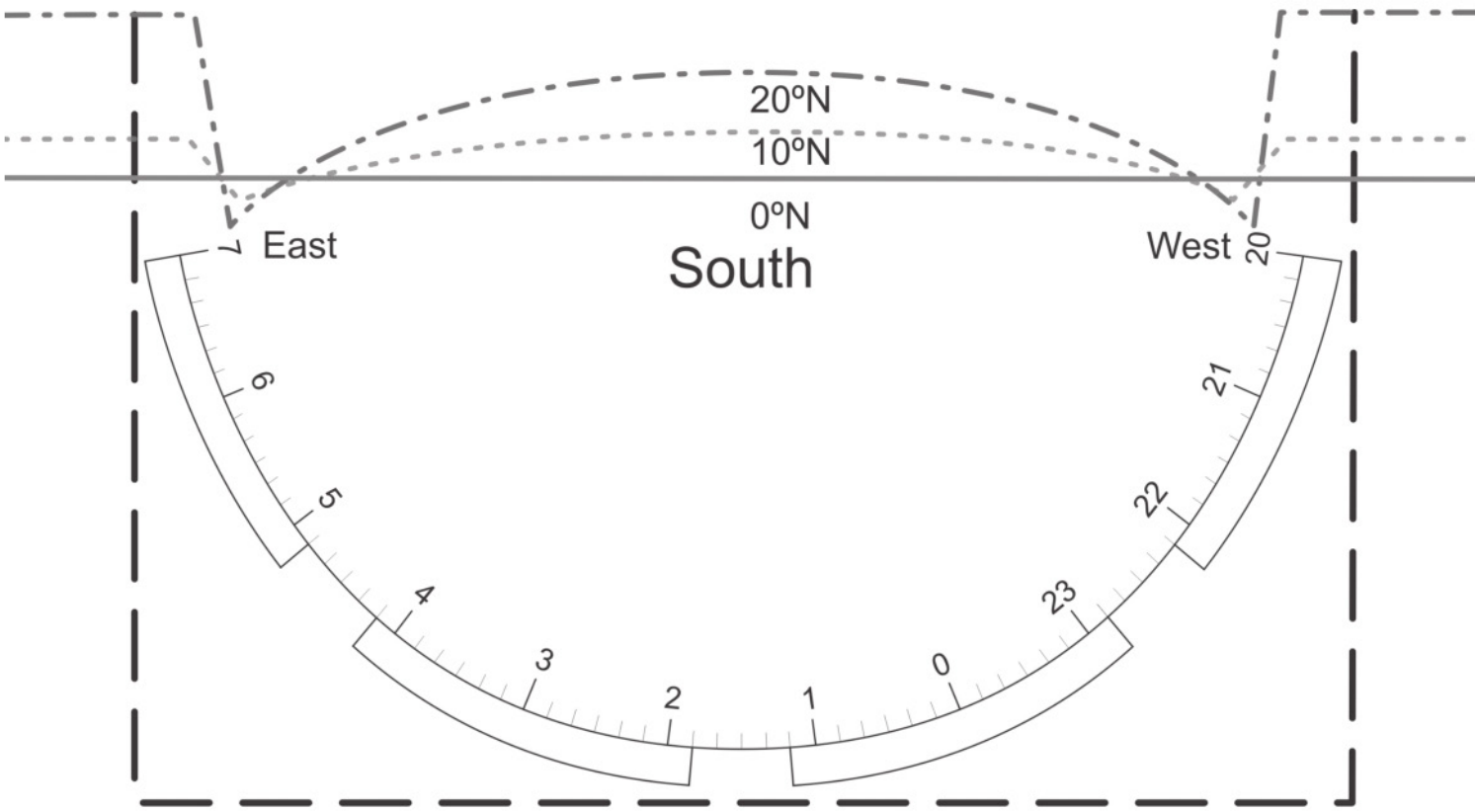
نکته : از گردونه به مانند چتر استفاده کنید. گردونه، در واقع نقشه آسمان بالای سر شما و صورت‌های فلکی آن است.



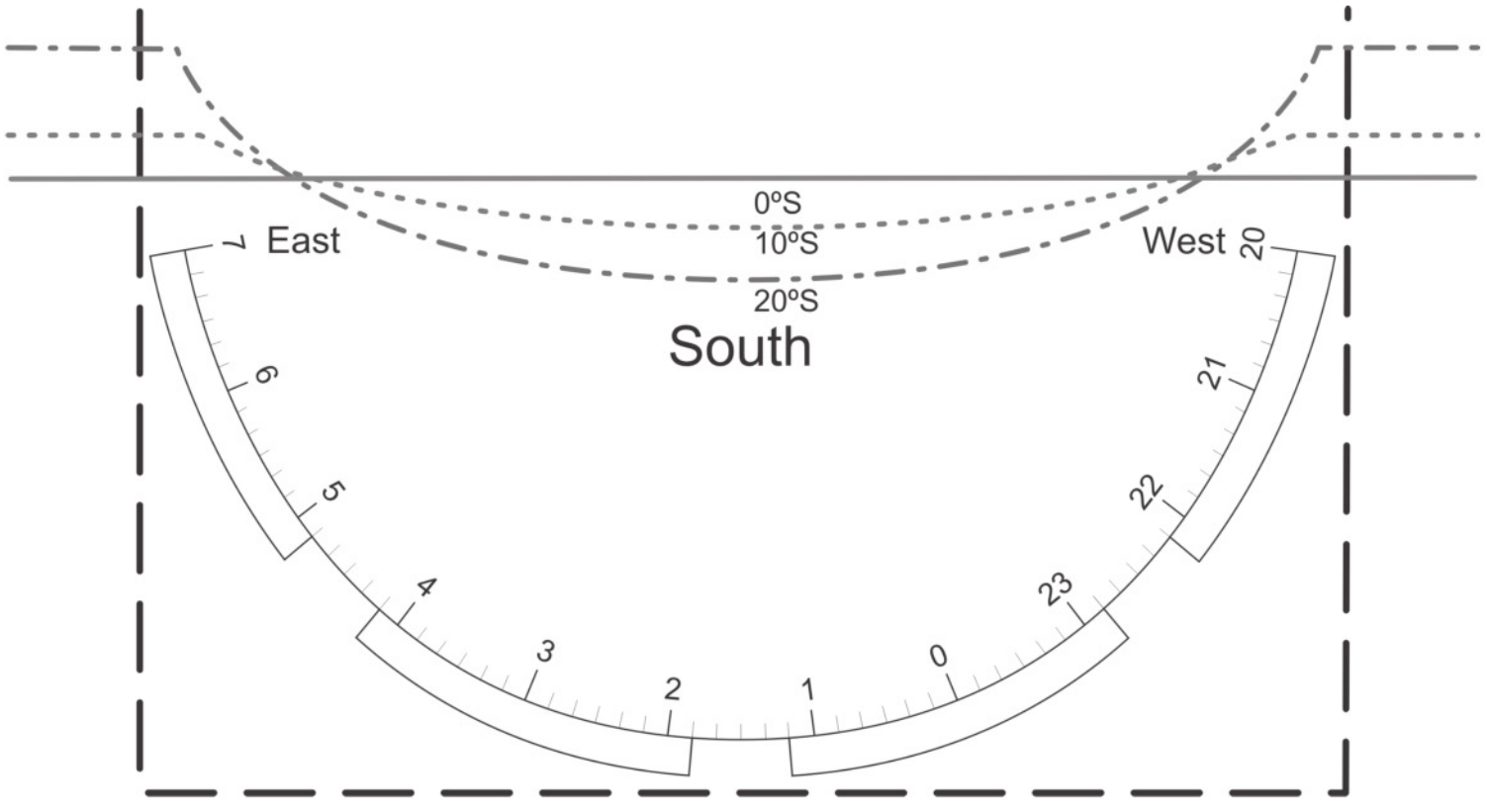
شکل ۹ الف: نگه دارنده برای افق شمالی در نیم کره‌ی شمالی (عرض۰،۱۰،۲۰شمالی)



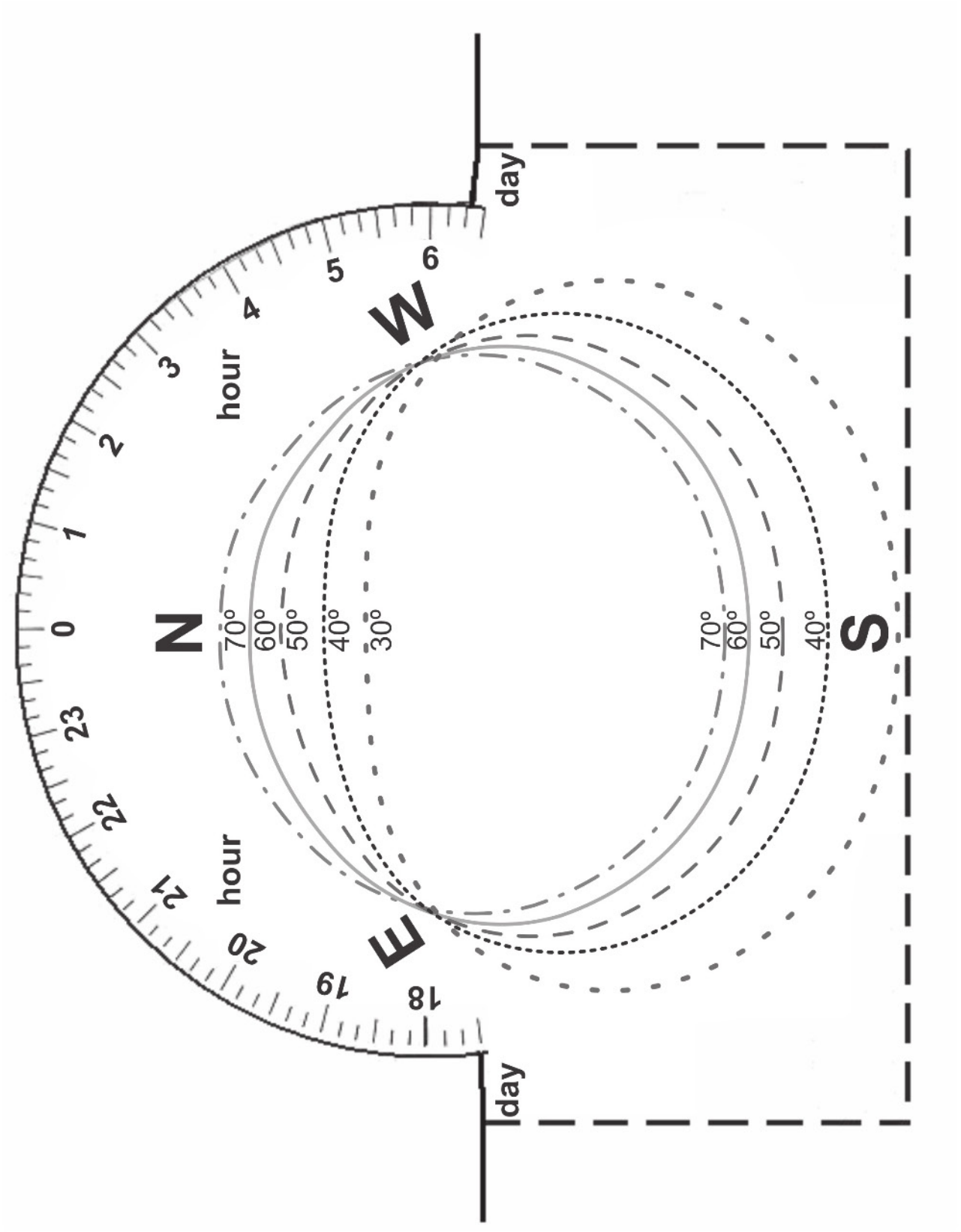
شکل ۹ب: نگهدارنده برای افق جنوبی در نیم کره‌ی شمالی(عرض۰،۱۰،۲۰ شمالی)



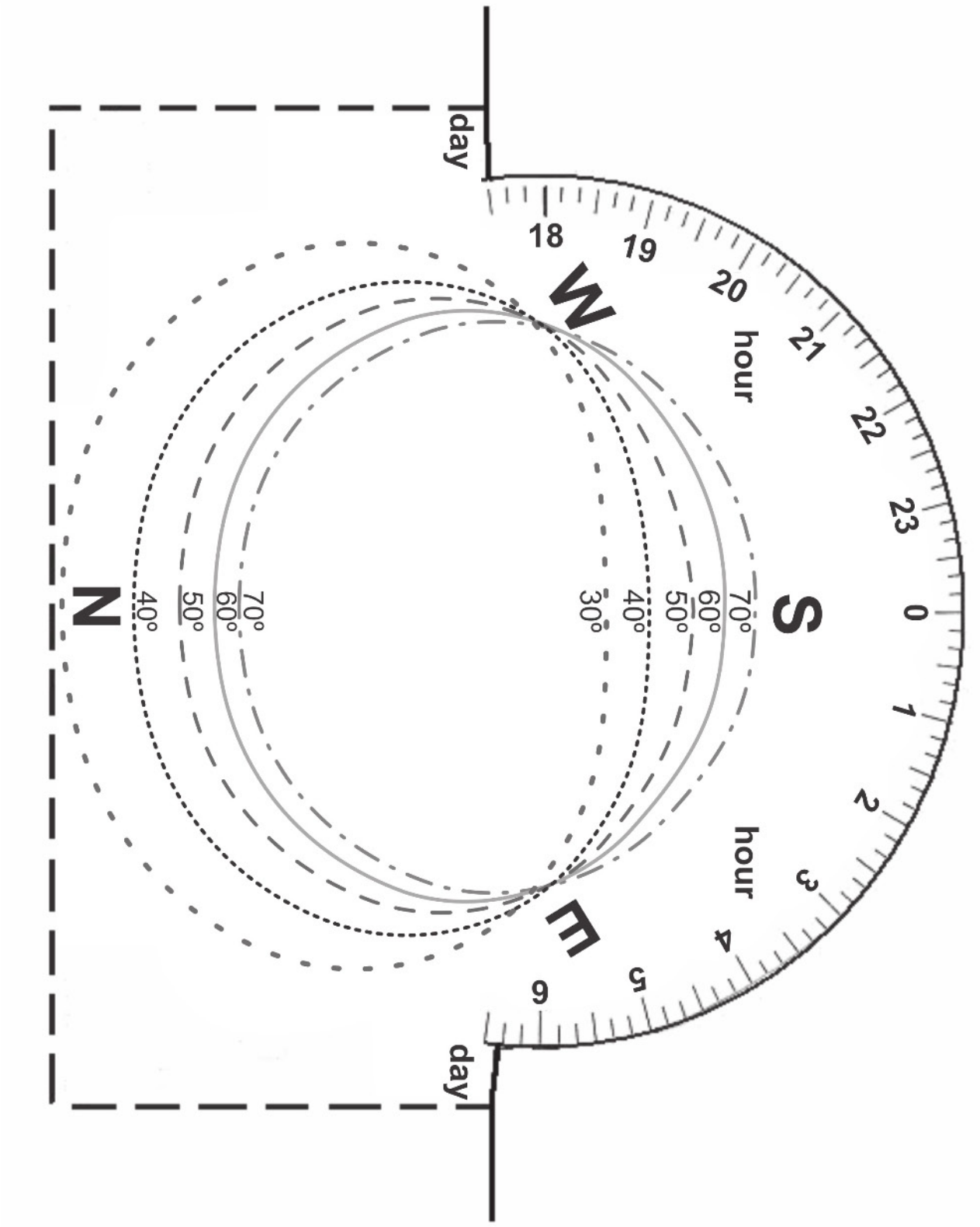
شکل ۹پ: نگهدارنده برای افق شمالی در نیم کره‌ی جنوبی (عرض‌های ۰، ۱۰، ۲۰ جنوبی)



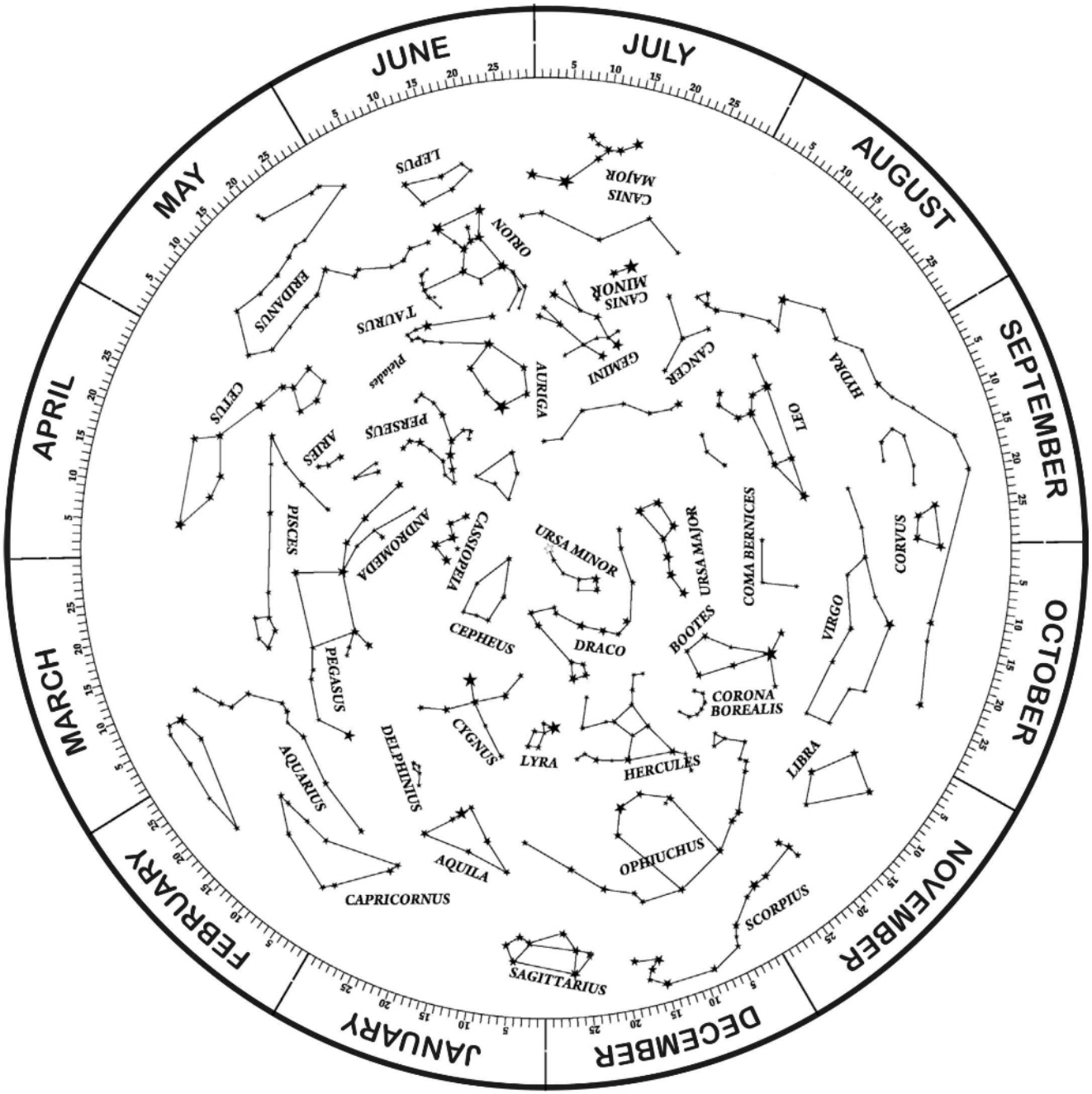
شکل ۹ت: نگهدارنده برای افق جنوبی در نیم کره‌ی جنوبی (عرض‌های ۰، ۱۰، ۲۰ جنوبی)



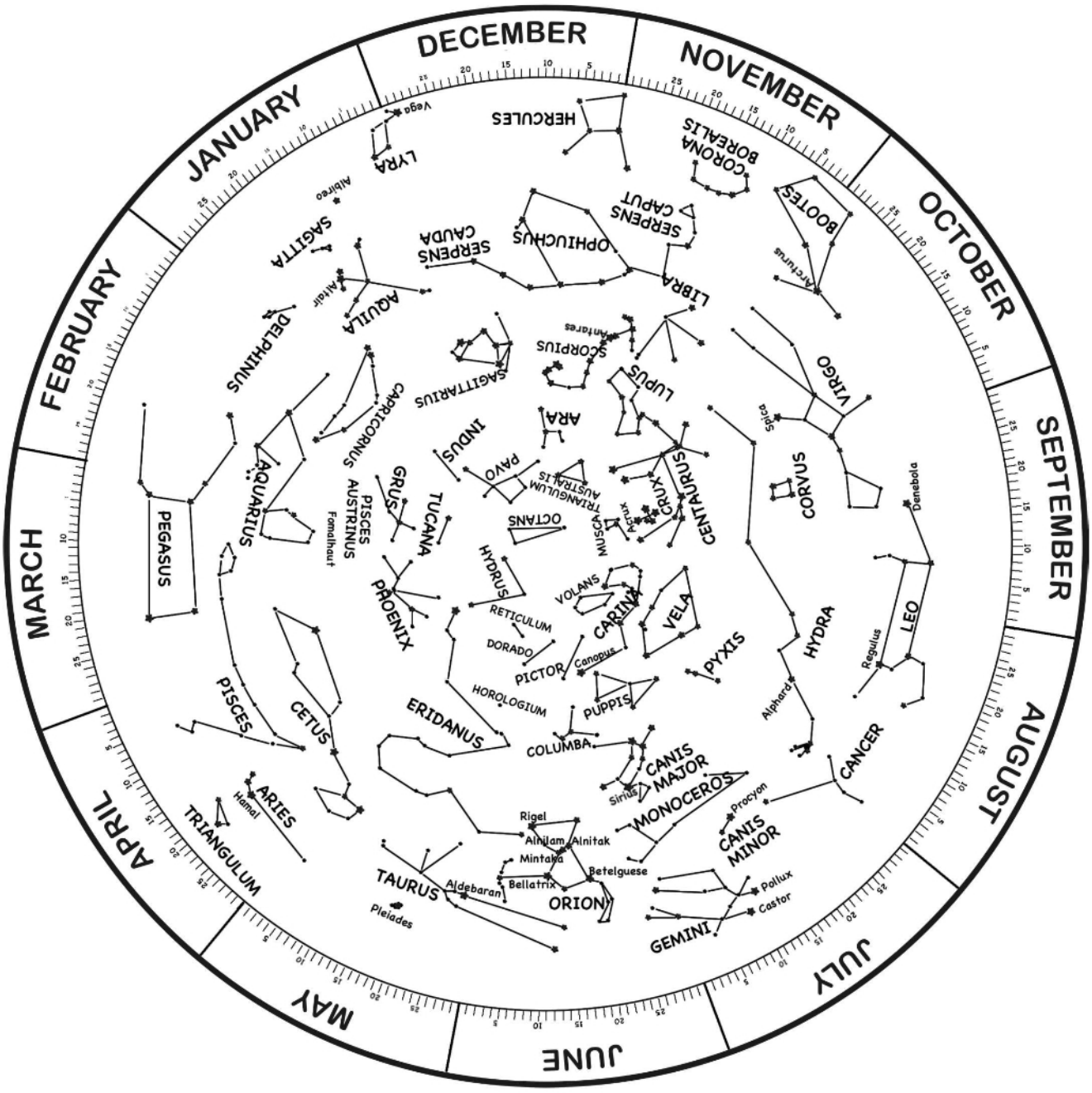
شکل ۹ ث: نگهدارنده برای نیم کره ی شمالی. عرض‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ شمالی



شکل ۹ ث: نگهدارنده برای نیم کره ی شمالی. عرض‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ شمالی



شکل ۱۰ الف: نقشه‌ی ستارگان که در میان گردونه قرار می‌گیرد. نیم کره‌ی شمالی.



شکل ۱۰ ب: نقشه ستارگان که در میان گردونه قرار می‌گیرد. نیم کره‌ی جنوبی

تمرین پیشنهادی:

آسمان امشب چه شکلی است؟

از گردونه‌ی آسمانی که با توجه به عرض جغرافیایی مدرسه خود ساخته‌اید استفاده کرده و نقشه‌ی ستارگان را با توجه به تاریخ و ساعت رصد خود تنظیم کنید.

در نظر داشته باشید که گردونه‌ی آسمان یک نقشه‌ی ستارگان است و شما باید آن را مانند چتر، بالای سر خود قرار دهید(گردونه، نقشه‌ی شهر شما نیست!)

طیف سنج

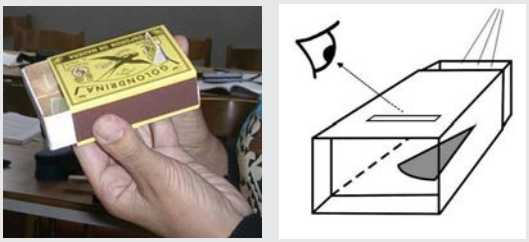
با عبور نور خورشید از این ابزار حساس، دانش‌آموز خواهد توانست طیف حاصل از تجزیه‌ی نور را مشاهده کند. این یک راه ساده است تا دانش‌آموز بتواند طیف ستاره‌ای را به کمک یک ابزار دست ساخته‌ی خود مشاهده کند.

چگونه طیف سنج بسازیم:

داخل یک جعبه‌ی کبریت بزرگ (اندازه‌ای که درآشپرخانه استفاده می‌شود) را رنگ کنید. یک برش طولی (شکل ۱۱ب) به عنوان محل مشاهده ایجاد کنید. یک سی دی خراب (غیر قابل استفاده) را به ۸ قسمت برابر تقسیم کنید و یکی از آن‌ها را در پایین جعبه قرار دهید؛ به گونه‌ای که سطح ذخیره‌ی اطلاعات آن رو به بالا باشد. جعبه را بسته و تنها کمی از آن را که در جهت خلاف محل دیدن شما است را باز بگذارید.

چگونگی کار با ابزار:

- جعبه‌ی کبریت را به شکلی تنظیم کنید که نور خورشید از قسمت باز آن وارد و شما از باریکه‌ی ایجاد شده مشاهده کنید.(شکل ۱۱ الف)
- در داخل جعبه، شما نور خورشید تجزیه شده به رنگ‌های مختلف طیف را مشاهده خواهید کرد.



شکل ۱۱ الف و ب: چگونه از طیف سنج استفاده کنیم.

تمرین پیشنهادی

طیف خورشید را با طیف حاصل از نور فلئورسنت و یا سایر لامپ‌های موجود در مدرسه مقایسه کنید. توجه به نوع لامپ استفاده شده، تغییرات ایجاد شده در طیف را می‌توانید مشاهده کنید.

نقشه‌ی ماه

بسیارمناسب است که در کیف خود یک نقشه ماه که شامل اسامی دریاها و دهانه‌های قابل مشاهده با دوربین‌های دوچشمی و یا تلسکوپ‌های کوچک است را به همراه داشته باشید.

ساختن نقشه‌ی ماه

شما به یک مقوای مربعی شکل به ابعاد (۲۰*۲۰) نیاز دارید. (شکل ۱۲ یا ۱۳)

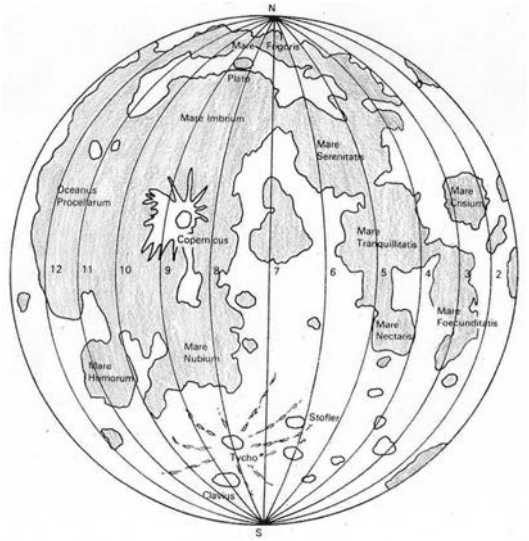
چگونگی کار با ابزار:

توجه داشته باشید که جهت‌ها با توجه به این‌که از چشم غیر مسلح، تلسکوپ یا دوربین دوچشمی استفاده می‌کنید (تصویر معکوس) و همچنین مکان رصدی شما که در نیم کره‌ی شمالی یا جنوبی باشد؛ تغییر خواهد کرد. راحت‌ترین راه برای شروع این است که در ابتدا دریاها را به درستی شناسایی کنید و سپس ، سایر ویژگی‌های ماه را جستجو کنید.

تمرین پیشنهادی:

دهانه‌ی تیکو کجاست؟

وقتی هلال ماه از نیمه بیش‌تر است ماه را نگاه کنید و در قاچ مرکزی آن به دنبال دهانه‌ای باشید که از آن رگه‌هایی بیرون زده است. (رگه‌ها، خطوطی هستند که از دهانه خارج و در جهت‌های مختلف بر سطح قمر مشاهده می‌شوند)



شکل ۱۲: نقشه‌ی قیاسی ماه

شکل ۱۳: نقشه‌ی خلاصه شده‌ی ماه

مرتب کردن کیف

در قسمت درب جعبه، نوارهای کاغذی برای نگهداری گردونه‌ی آسمان، نقشه‌ی ماه و ساعت آفتابی قرار دهید. (شکل ۱۴)

در قسمت دیگر جعبه که عمیق‌تر است، سایر ابزارها را به نحوی قرار دهید که حرکت نکنند، مثلا از گیره، سوزن و یا کمربند کوچک استفاده نمایید. وزنه‌ی ارتفاع سنج در مرکز قرار داده شود، زیرا کیف شامل ابزارهای ظریف دیگری است و می‌تواند تعادل لازم در هنگام حمل را برقرار نماید.

همچنین گروهی از دانش‌آموزان پیشنهاد چسباندن فهرست محتویات کیف بر روی درب آن را ارائه دادند. بنابراین بعد از هر فعالیت می‌توان ابزارها را با توجه به آن فهرست بررسی نمود. و البته نام خود ارا بر روی ابزارها بنویسید و کیف خود را به هر صورتی که دوست دارید تزئین نمایید.

شکل۱۴: کیف

نتیجه گیری

مشاهده‌ی چگونگی حرکت آسمان در طول شب، روز در سال برهر منجم تازه کار ضروری است. این پروژه‌ها در دانش‌آموزان می‌توانند باعث:

- افزایش اعتمادبه نفس در اندازه گیری
- مسئولیت پذیری در برابر ابزارهایشان
- توسعه خلاقیت و مهارت‌های شخصی
- درک اهمیت دسته بندی نظام مند داده‌ها
- درک راحت‌تر ابزارهای پیشرفته‌تر
- درک اهمیت مشاهده با چشم غیر مسلح در گذشته و حال

کتابشناسی

• Palici di Suni, C., First Aid Kit. What is necessary for a good astronomer to do an Observation in any moment?, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 99, 116, Barcelona, 2005.

• Palici di Suni, C., Ros, R.M., Viñuales, E., Dahringer, F., Equipo de Astronomía para jóvenes astrónomos, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Vol. 2, 54, 68, Barcelona, 2006.

• Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., El planisferio y 40 actividades más, Antares, Barcelona, 2005.

طیف خورشید و لکه‌های خورشیدی

الکساندر کوستا، بئاتریس گارسیا، ریکاردو مورنو، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی (پرتقال)، دانشگاه ملی مهندسی (مندوزا)، آرژانتین مدرسه ری تامر (مادرید، اسپانیا)

چکیده

این کارگاه شامل چند فعالیت تئوری و عملی با موضوع طیف نور خورشید است، که می‌تواند در دبیرستان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این فعالیت‌ها برای اجرا در مقاطع متوسطه اول و ابتدایی نیز مناسب است.

خورشید منشأ اصلی بخش زیادی از پرتوهایی است که به سمت ما می‌آیند. با این حال اتمسفر کره زمین مانند یک پوشش محافظتی بخش زیادی از طول موج های غیرقابل دیدن (مانند پرتوهای UV) را به خودش جذب می‌کند. بنابراین در این کارگاه ما فقط بخش مرئی این طیف را بررسی خواهیم کرد، بخشی از طیف که در زندگی روزمره دانش‌آموزان حضور دارد. برای آزمایش‌هایی درمورد امواج غیرقابل مشاهده، به کارگاه مربوط به آن مراجعه بفرمایید.

در ابتدا زمینه نظری هر موضوع مطرح و در ادامه آزمایش‌های هر مفهوم ارائه شده است. این فعالیت‌ها آزمایش‌های ساده‌ای هستند که معلمان می‌توانند در کلاس آن‌ها را اجرا و به کمک آن مفاهیمی مانند قطبش (پولاریزه شدن)، برانگیختگی، تابش جسم سیاه، طیف‌های پیوسته، نشری، جذبی (مانند نور خورشید) و خطوط فرانهوفر را آموزش دهند.

همچنین در زمینه تفاوت‌های موجود بین مناطق با تابش‌های منظم خورشید و مناطق دارای لکه‌های خورشیدی صحبت خواهیم کرد. علاوه بر آن شواهدی از حرکت چرخشی خورشید ارائه خواهیم داد و چگونگی استفاده از مفهوم آن برای فعالیت‌های مدرسه‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

اهداف

- درک ماهیت طیف خورشید و چگونگی آن.
- شناخت طیف نور خورشید.
- درک ماهیت لکه‌های خورشیدی.
- درک اهمیت تاریخی لکه‌های خورشیدی و فعالیت‌ها و مشاهدات گالیله درباره چرخش خورشید.
- آشنایی با برخی ویژگی‌های نور مانند قطبش، پراکندگی و ....

تابش خورشید

انرژی خورشید در درون آن و در قسمتی با دمای حدود ۱۵ میلیون درجه و فشار بسیار بالا به نام هسته تولید می‌شود.

شرایط دما و فشار در درون هسته، اجازه واکنش‌های هسته‌ای را فراهم می‌کند. در واکنش اصلی که در هسته خورشید رخ می‌دهد، چهار پروتون (هسته هیدروژن) به ذرات آلفا (هسته هلیوم) تبدیل می‌شوند و طبق معادله زیر، دو پوزیترون، دو نوترینو و دو فوتون گاما تولید می‌کنند:

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2e^{+} + 2\nu + 2\gamma$$

جرم نهایی فراورده واکنش بالا از مجموع جرم واکنش دهنده‌ها یعنی چهار پروتونی که طی فرایند به هم اضافه شدند کمتر است. جرمی که طی واکنش از بین رفته، طبق معادله زیر که توسط انیشتین کشف شده است، به انرژی تبدیل می‌شود:

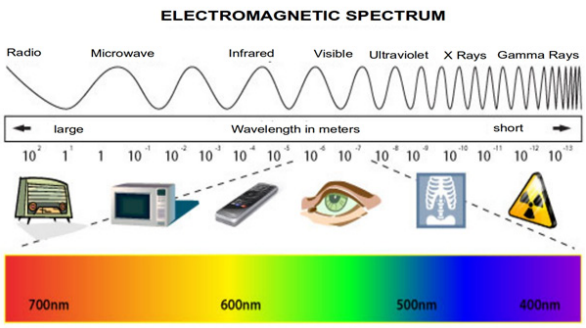
$$E = mc^2$$

در خورشید در هر ثانیه ۶۰۰ میلیون تن هیدروژن به هلیوم تبدیل می‌شود. اما در همین حین حدود ۴ تا ۵ میلیون تن از آن نیز به انرژی تبدیل می‌شود. اگرچه این میزان جرم، به نظر مقدار زیادی است، اما جرم خورشید به اندازه‌ای است که می‌توانند میلیاردها سال دیگر نیز به فعالیت خود ادامه دهد. انرژی تولید شده در هسته برای رسیدن به سطح خورشید سفر طولانی در پیش دارد.

انرژی تولید شده در هسته خورشید مسیر طولانی را طی می‌کند تا به سطح خورشید برسد.

انرژی پس از تابش از خورشید با سرعت ۲۹۹,۷۹۳ کیلومتر بر ثانیه به شکل تابش الکترومغناطیس در فضا منتشر می‌شود.

طیف الکترومغناطیس با طول موج یا فرکانس‌های متنوع خود، مطابق شکل ۱، به بخش‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شود.



شکل ۱: طیف نور خورشید

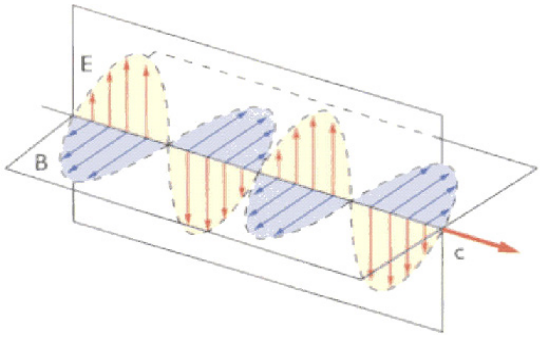
اگر فرکانس ν، طول موج λ باشد، سرعت نور را می‌توان با توجه به رابطه زیر به دست آورد:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

اگرچه خورشید منبع اصلی بسیاری از طول موج‌ها است؛ ولی ما عمدتاً با بخش مرئی طیف خورشید سر و کار داریم. به جز امواج رادیویی و خطوط کوچکی از مادون قرمز و فرابنفش، طول موج مرئی، آن‌هایی هستند که جو زمین در مقابل آن‌ها شفاف است و آن‌ها را از خود عبور می‌دهد (شکل ۱) و ما برای دیدن آن‌ها نیازی به ابزار پیشرفته نداریم؛ بنابراین آن‌ها برای آزمایش در کلاس بسیار مناسب هستند.

قطبش نور

پرتوهای الکترومغناطیس اگر به صورت خطی قطبیده شوند، دارای وضعیتی مشابه با شکل ۲ هستند.



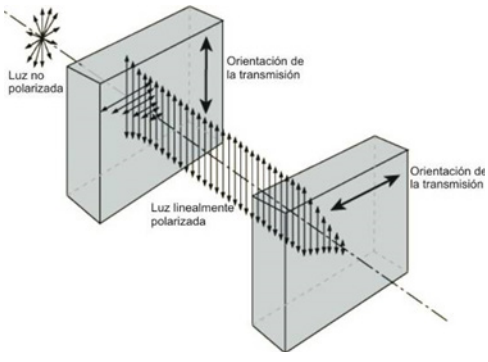
شکل ۲ : نور قطبی شده

نور خورشید جهت گیری خاص ارتعاشی ندارد، اما اگر تحت یک زاویه خاص بازتاب شود و یا از فیلترهای مخصوص پلارایز عبور کند، قطبیده می‌شود.

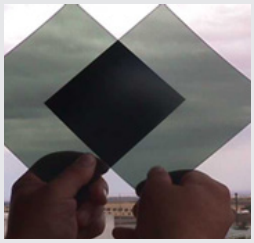
نوری که از یکی از این فیلترها عبور می‌کند (شکل ۳) فقط در یک صفحه ارتعاش پیدا می‌کند. اگر فیلتر دوم را هم اضافه کنید دو اتفاق ممکن است رخ دهد:

وقتی دو فیلتر جهت قطبش موازی داشته باشند، نور از هر دوی آن‌ها عبور می‌کند. (شکل ۴ الف)

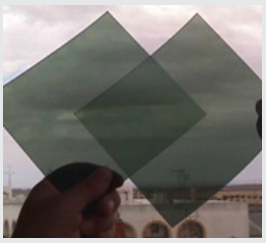
اما اگر جهت قطبش عمود بر یکدیگر داشته باشند، نور از فیلتر اول عبور می‌کند، اما توسط فیلتر دوم مسدود می‌شود(شکل ۳) و فیلترها مات می‌شوند. (شکل ۴ ب)



شکل۳: هنگامی دو فیلتر با جهت قطبش عمود با هم داشته باشیم، نور با عبور از فیلتر اول عبور و توسط فیلتر دوم مسدود می‌شود



شکل ۴ ب: اگر یکی از فیلترها را ۹۰ درجه بچرخانید، نور مسدود می‌شود.



شکل ۴ الف: اگر دو فیلتر دارای جهت گیری مشابه باشند، نور از آن‌ها عبور می‌کند.

بسیاری از عینک‌های آفتابی را پولارایز می‌سازند، تا برای استفاده در مقابل پرتوهای نور خورشید بازتاب شده از سطح برف یا دریا، که معمولاً پس از برخورد با سطح دریا یا برف قطبیده می‌شوند مناسب بوده و پرتوهای قطبیده شده را فیلتر کنند. (شکل ۵ الف وب)

فیلترهای قطبی در عکاسی نیز استفاده می‌شوند و نورهای بازتاب شده را از بین می‌برند و باعث می‌شوند آسمان تاریک‌تر به نظر برسد.

شکل ۵: الف و ب: عکاسی از نور بازتاب شده با فیلتر پلارایز و بدون آن.

اکثر سیستم‌های سینماهای سه بعدی (۳D) فیلم هایشان را با دو دوربین با فاصله‌های متفاوت از چشم انسان ضبط می‌کنند؛ سپس در سینماها به کمک دو پروژکتور با نورهای قطبیده شده عمود بر هم، تصاویرضبط شده را همزمان پخش می‌کنند. بینندگان عینک‌های مخصوصی که فیلترهای پلارایز عمود بر هم دارند را بر روی چشم خود قرار می‌دهند. بنابراین هر چشم، می‌تواند فقط یکی از تصاویر را ببیند، در نتیجه فیلم به صورت سه بعدی دیده می‌شود.

فعالیت ۱: قطبش نور

برای ساخت یک فیلتر قطبی، قسمت پل روی بینی یعنی قسمت بین دو چشم و دسته‌های یک عینک سینمای سه بعدی را برش بزنید. توجه کنید که برای این کار باید از عینک‌های سه بعدی تک رنگ استفاده کنید (همان عینک‌های خاکستری یا مشکی) و نمی‌توان برای ساخت این وسیله از عینک‌های سبز و قرمز (یک چشم قرمز و چشم دیگر

سبز یا آبی) استفاده کرد (زیرا فرایند کارکرد آن‌ها اساساً متفاوت است). هنگامی که دو فیلتر روی چشم‌ها را از عینک جدا کردید، به راحتی می‌توانید فعالیت تصاویر ۴ الف و ۴ ب را انجام دهید.

بسیاری از عینک‌های آفتابی پلارایز هستند تا نور خورشید و نور قطبی ساطع شده توسط نمایشگر LCD کامپیوترها و تلویزیون‌ها (البته به جز نوع پلاسمایی) را فیلتر کنند. برای امتحان کردن این موضوع که آیا عینکی که دارید پولاریزه است یا نه می‌توانید با استفاده از آن به صفحه نمایشگر لپ‌تاپ نگاه کنید و سپس شروع به چرخاندن عینک کنید. اگر با قرار گرفتن عینک در زاویه خاصی تصویر مانیتور از پشت عینک سیاه و غیرقابل دیدن شد، عینک شما یک عینک پلارایز است.

برخی از پلاستیک‌ها و عینک‌ها با توجه به ضخامت و جنس‌شان، می‌توانند نور را قطبی کنند. اگر با یک عینک پلارایز به آن‌ها نگاه کنید، نور را به رنگ‌های متفاوتی خواهید دید.

شکل ۶: نور ساطع شده از صفحه TFT یک کامپیوتر، قطبی است. و نوار زاویه قطبش را می‌چرخاند. رنگ‌ها با استفاده از عینک پولاریزه متفاوت دیده می‌شوند.

چند تکه نوار چسب را بر روی یک شیشه (مثلا شیشه قاب عکس) بچسبانید، به طوری که درقسمتی یک لایه، در قسمتی دو لایه روی هم و در قسمت‌هایی سه لایه از نوار روی هم باشند (شکل۶). سپس بر روی تلویزیون یا رایانه‌ای با صفحه نمایش LCD، عکسی که رنگ اصلی آن سفید است نمایش دهید، یا می‌توانید یک فایل word خالی باز کنید. حال شیشه را مقابل نمایشگر قرار داده و با عینک آفتابی پلارایز به آن نگاه کنید. اگر شیشه را بچرخانید، می‌بینید که چسب‌ها به رنگ‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند. به جای شیشه می‌توانید از جلد نگه دارنده CD استفاده کنید. در برخی محل‌های پلاستیک، نقاطی مشاهده خواهد شد.

در صورت استفاده از پلاستیک حتی با خم کردن پلاستیک می‌توانید از پشت عینک تغییرات رنگ بیشتری مشاهده کنید.

ساختار خورشید در یک نگاه

به صورت کلی ساختار خورشید را می‌توان به پنج قسمت تقسیم کرد:

هسته و منطقه تابشی، مناطقی هستند که فرایند همجوشی حرارتی هسته‌ای در آن‌جا رخ می‌دهند. دما در داخل هسته به حدود ۱۵ میلیون درجه کلوین و با کمی دور شدن از هسته و قرار گرفتن در منطقه تابشی دما اندکی کمترشده و به حدود ۸ میلیون درجه کلوین می‌رسد.

انرژی از طریق تابش از نواحی نزدیک هسته منتقل شده و از هسته دور می‌شود. منطقه هسته و تابشی را به طور کلی می‌توان دو منطقه جدا از هم درنظر گرفت، اما تعیین یک مرز واقعی، که محل پایان یکی و شروع دیگری باشد بسیار دشوار است، چرا که عملکرد آن‌ها ترکیب می‌شود.

۲) منطقه همرفت محلی است که انرژی در آن از طریق فرایند همرفت منتقل می‌شود. در این منطقه دما زیر ۵۰۰ هزار درجه کلوین است. در ناحیه‌ای در حدود ۰٫۳ شعاع خورشید و دقیقاً زیر فوتوسفر قرار دارد.

۳) شید سپهر (فوتوسفر) که می‌توانیم آن را به نوعی سطح خورشید بدانیم که منشأ طیف جذبی و پیوسته خورشید است.

درجه حرارت در این منطقه بین ۴۲۰۰ تا ۶۴۰۰ درجه کلوین است. این بخش از خورشید از سلول‌هایی با اندازه تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتر پوشیده شده است که البته فقط چند ساعت دوام می‌آورند. علاوه بر آن معمولاً نواحی دیگری با دمای کمتر (در حدود فقط ۴۲۰۰ درجه کلوین) نیز وجود دارند که مانند نقاط تاریکی (لکه‌های خورشیدی) بر روی سطح خورشید به نظر می‌رسند.

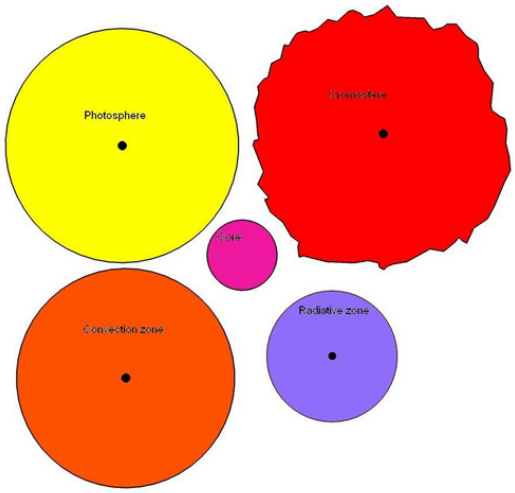
۴) رنگین سپهر(کروموسفر) بخش خارجی شید سپهر بوده و دمایی بین ۴۲۰۰ تا ۱ میلیون درجه کلوین دارد. این لایه که مانند رشته‌های شعله‌ور عمودی به نظر می‌رسد بسیار شبیه یک دهکده یا دشت سوزان در آتش با برجستگی‌ها و شعله‌های آتش فراوان به نظر می‌رسد.

۵) تاج خورشید که منشأ بادهای خورشیدی نیز هست، دمایی بین ۱ تا ۲ میلیون درجه کلوین دارد.

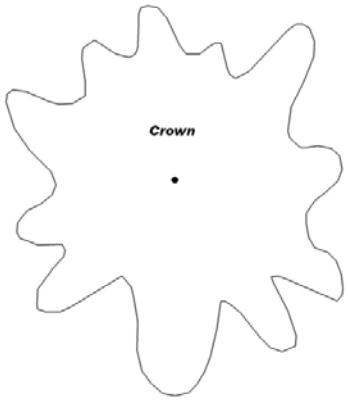
فعالیت۲: مدل ساده از لایه‌های خورشید

این فعالیت را می‌توان با بچه‌ها انجام داد. هدف این است که به کمک شکل‌های متفاوت زیر بخش‌های مختلف

خورشید را شبیه سازی کنید؛
(شکل های ۷ و ۸)
یا با رنگ‌های زیر روی مقوا رنگ آمیزی کرد:
تاج به رنگ سفید، کروموسفر به رنگ قرمز، فوتوسفر به رنگ زرد، منطقه همرفت به رنگ نارنجی، منطقه تابشی به رنگ آبی و هسته به رنگ قرمز خیلی تیره.



شکل ۷: بخش‌های مختلف خورشید آماده برای برش دادن

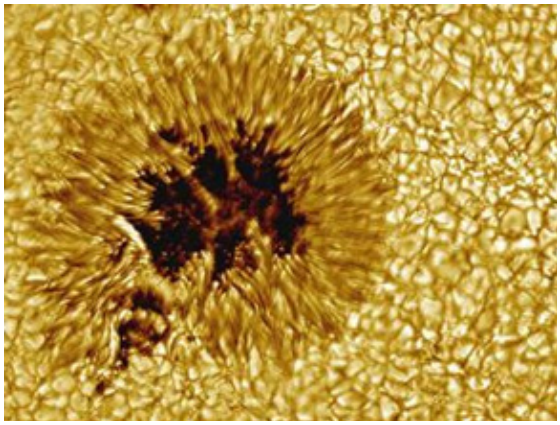


شکل ۸: جو خورشید برای برش

و در آخر می‌توانید آن‌ها را به ترتیب روی هم بچسبانید. (ترتیب قطعات از روی اندازه آن‌ها نیز قابل تشخیص است).

لکه‌های خورشیدی

معمولاً نقاط تاریکی که بر روی سطح خورشید (فوتوسفر) مشاهده می‌شوند لکه‌های خورشیدی نامیده می‌شوند.
یک لکه خورشیدی معمولاً از یک قسمت مرکزی به نام سایه و اطراف آن توسط رشته‌های تاریک و روشنی به نام نیم سایه (که بخش مرکزی را احاطه کرده‌اند) تشکیل شده است.
رشته‌های لکه‌های خورشیدی، عموماً توسط دانه‌های رنگین سپهر(فتوسفر) احاطه شده‌اند(شکل۹).


شکل ۹: تصویر نزدیک از سطح خورشید(عکس از: Vacuum (Tower Telescope, NSO, NOAO

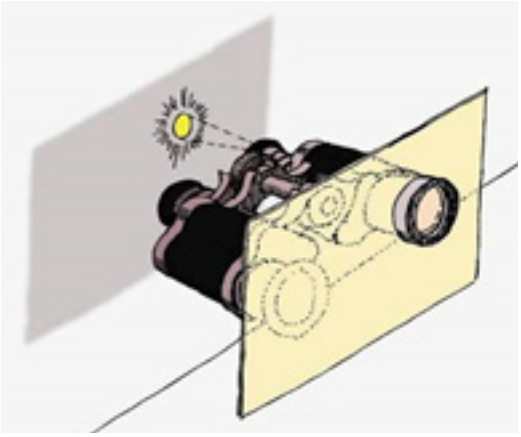
لکه‌های خورشیدی با تلسکوپ کاملاً سیاه به نظر می‌رسند، اما این سیاه دیده شدن لکه‌ها فقط به خاطر نوعی اثر رنگ‌های متضاد و تفاوت شدت تابش لکه‌های خورشیدی در مقایسه با مناطق دیگر سطح خورشید است. اگر بتوان یک لکه خورشیدی را به تنهایی و بدون دیدن سایر سطح خورشید مشاهده کرد می‌توان دید که در واقع از ماه کامل نیز روشن تر است. این تفاوت شدت روشنایی لکه‌ها به این دلیل است که دمای آن‌ها بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد از سایر مناطق اطرافشان کمتر است.
لکه های خورشیدی نتیجه برهمکنش میدان های مغناطیسی عمودی بسیار قوی خورشید با رنگین سپهر(فوتوسفر) هستند.
لکه‌های خورشیدی از اهمیت تاریخی بالایی نیز برخوردار هستند؛ زیرا گالیله به وسیله آن‌ها توانست دوره چرخش خورشید را محاسبه کرده و دریابد که حرکت چرخشی در عرض‌های جغرافیایی مختلف خورشید متفاوت است؛ یعنی خورشید در استوا (دوره چرخش ۲۵،۰۵ روز) نسبت به قطب‌ها (با دوره چرخش ۳۴،۳ روز) سریع‌تر می‌چرخد.

فعالیت ۳: تعیین دوره حرکت چرخشی خورشید

اندازه گیری دوره چرخش خورشید با استفاده از لکه‌های خورشیدی یک آزمایش ساده است که می‌توان آن را در کلاس درس انجام داد. در این آزمایش برای اندازه گیری دوره حرکت چرخشی خورشید باید طی روزهای متوالی حرکت لکه‌های آن را ردیابی و دنبال کنید. توجه داشته باشید که رصد کردن خورشید فقط باید به روش غیرمستقیم تصویر کردن خورشید با استفاده از تلسکوپ و دوربین دو چشمی (مانند شکل۱۰ الف و۱۰ب) انجام شود. هرگز نباید به صورت مستقیم یا حتی بدتر از آن با دوربین دوچشمی و یا تلسکوپ به خورشید نگاه کرد،

زیرا موجب آسیب جدی به چشم‌ها خواهد شد.

شکل ۱۰ الف: تصویر کردن خورشید به کمک تلسکوپ (هرگز به صورت مستقیم به خورشید نگاه نکنید).



شکل ۱۰ب: تصویر کردن خورشید به کمک دوربین دوچشمی (هرگز به صورت مستقیم به خورشید نگاه نکنید).

به یاد داشته باشید که هرگز نباید به طور مستقیم با دوربین دوچشمی، تلسکوپ یا حتی چشمانتان به خورشید نگاه کنید زیرا این کار می‌تواند صدمات جبران ناپذیری به چشم‌ها وارد کند.

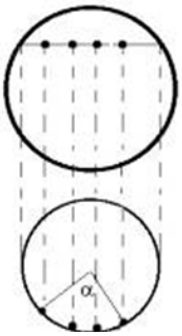
اگر چندین روز لکه‌های خورشید را رصد کنید، حرکت لکه مانند مثالِ شکل ۱۱ خواهد بود.

شکل ۱۱: تغییر مکان لکه خورشیدی در روزهای متوالی

مشاهداتتان را طبق شکل ۱۲ انجام داده و زاویه را به دست آورید. دوره چرخش را به کمک رابطه زیر به راحتی می‌توان محاسبه کرد:

$$\frac{T}{t} = \frac{360^{o}}{\alpha}$$

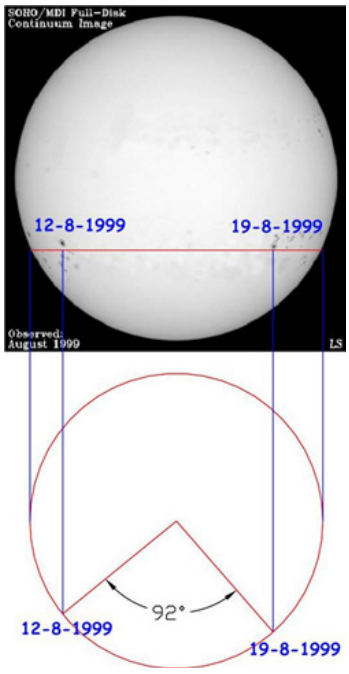
در این‌جا t فاصله زمانی بین دو رصد یک لکه مشخص است، α زاویه مرکزی بین دو جا به جایی لکه درنظر گرفته شده است (شکل۱۲) و P دوره حرکت چرخشی خورشید است که می‌خواهیم آن را محاسبه کنیم. این محاسبه به دقت بالایی نیاز دارد.



شکل ۱۲: محاسبه زاویه چرخش لکه‌های خورشیدی

بیایید با یک مثال واقعی کار کنیم: شکل ۱۳ ترکیبی از دو عکس است که در تاریخ ۱۲ آگوست ۱۹۹۹ و نوزدهم همان ماه از خورشید گرفته شده است. دایره‌ای به عنوان خورشید ترسیم می‌کنیم، سپس لکه‌های خورشیدی عکس را با خط‌هایی تا روی دایره ادامه می‌دهیم. حال از مرکز دایره خطی به هر لکه کشیده تا زاویه آلفا به وجود بیاید. با اندازه گیری زاویه به عدد ۹۲ درجه می‌رسیم که طبق فرمول دوره چرخش خورشید در عرض جغرافیایی که لکه در آن قرار داشت بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{360^{o} \cdot 7\ days}{92^{o}} = 27{,}3\ days$$



شکل۱۱: محاسبه دوره حرکت چرخشی خورشید

تابشی که از خورشید می‌آید

ستاره خورشید مانند یک راکتور هسته‌ای بسیار بزرگ است که در آن مقدار عظیمی از انرژی به طور مداوم تولید و به صورت فوتون‌ها به سطح آن منتقل می‌شود. فوتون‌ها ذرات حامل پرتوهای الکترومغناطیس هستند. انرژی فوتون‌ها را می‌توان به کمک فرمول زیر به دست آورد:

$$E = h \cdot \nu$$

در این معادله E انرژی فوتون‌ها، h ثابت پلانک ($h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$) و ν فرکانس پرتو الکترومغناطیس مربوط به فوتون است. فوتون‌های تولید شده در خورشید، طیف الکترومغناطیس آن را تشکیل می‌دهند.

شدت درخشندگی خورشید (به زبان راحت تر، توان خورشید) بسیار زیاد است:

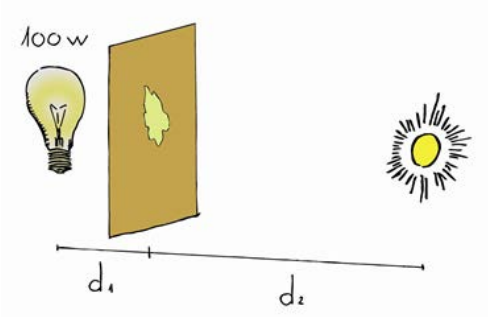
به صورتی که در هر ثانیه انرژی بیش از از تریلیون‌ها بمب اتمی تولید می‌کند. ما می‌توانیم انتقال این انرژی را به صورت حبابی بزرگ تصور کنیم که (مرکز آن خورشید است) و همینطور بزرگ و بزرگ تر می‌شود. مساحت این حباب $4r^2$ است. اگر توان خورشید P باشد، انرژی خورشید در فاصله R برحسب مترمربع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{P}{4\pi R^2}$$

به عبارت دیگر، انرژی به شکل مربع معکوس از راه دور منتقل می‌شود. بنابراین با دانستن فاصله یک جرم، می‌توان، توانِ کلی آن را محاسبه نمود.

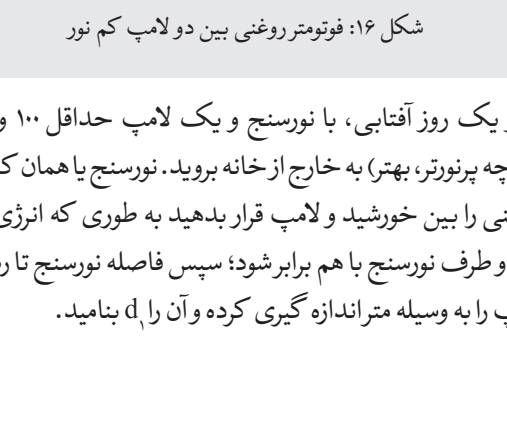
فعالیت ۴: تعیین درخشندگی خورشید

درخشندگی یا توان خورشید، میزان انرژی ساطع شده از آن در یک ثانیه است. خورشید منبع عظیمی از نور است. بیایید تا توان آن را در مقایسه با یک لامپ ۱۰۰ وات محاسبه کنیم.

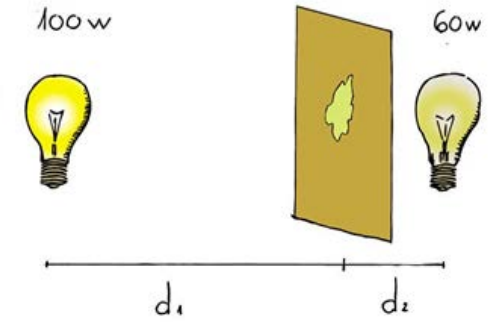


شکل۱۴: مقایسه شدت روشنایی بین لامپ ۱۰۰ و خورشید

در یک روز آفتابی، با نورسنج و یک لامپ حداقل ۱۰۰ وات (هرچه پرنورتر، بهتر) به خارج از خانه بروید. نورسنج یا همان کاغذ روغنی را بین خورشید و لامپ قرار بدهید به طوری که انرژی در هر دو طرف نورسنج با هم برابر شود؛ سپس فاصله نورسنج تا رشته لامپ را به وسیله متر اندازه گیری کرده و آن را d_1 بنامید.



شکل ۱۶: فوتومتر روغنی بین دو لامپ کم نور



شکل ۱۵: اگر شدت روشنایی در دوطرف کاغذ برابر شود، لکه روغن دیگر دیده نمی‌شود.

ما می‌توانیم یک نورسنج بسازیم و به کمک آن روشنایی دو منبع نور را با هم مقایسه کنیم. برای این کار چند قطره روغن را وسط یک کاغذ مخصوص بسته بندی بریزید. (البته با کاغذ سفید معمولی نیز جواب می‌دهد). لکه‌ای که چند قطره روغن روی کاغذ ایجاد می‌کنند کاغذ را کمی شفاف می‌کند. حالا این کاغذ نورسنج ما خواهد بود. با قرار دادن کاغذ بین دو منبع نور (مانند شکل ۱۴ و ۱۵) و حرکت دادن آن، می‌توان فاصله را به دست آورد که در آن لکه روغن محو می‌شود و کاغذ در آن کاملاً مات و معمولی دیده می‌شود. در این حالت نور و انرژی دریافتی در دو سوی کاغذ با هم برابر خواهد بود؛ که می‌توان برای این مورد آن را این‌طور نشان داد:

$$\frac{100}{4\cdot\pi\cdot d_1^{\,2}} = \frac{60}{4\cdot\pi\cdot d_2^{\,2}}$$

می‌دانیم که فاصله حدودی خورشید از زمین تقریبا برابر ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. این فاصله را d_2 بنامید.

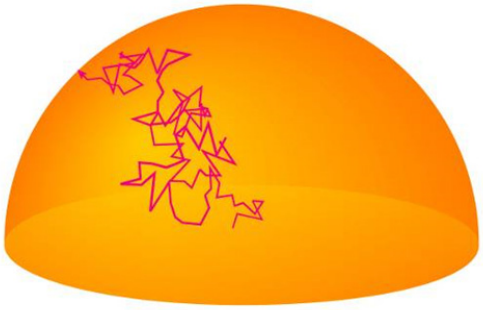
حال می‌توان قدرت خورشید را طبق قانون مربع معکوس محاسبه کرد. (4π در هردوطرف معادله بود و در ساده کردن معادله خط خورد.)

$$\frac{100\,W}{d_1^{\,2}} = \frac{Psun}{d_2^{\,2}}$$

نتیجه باید به درخشندگی واقعی خورشید یعنی $3{,}83\times10^{26}W$ نزدیک باشد.

کدری (در فارسی در این موقعیت هسته خورشید را مات می‌گویند)

انرژی حاصل از یک فوتون پر انرژی که در هسته خورشید تولید می‌شود ۱ میلیون سال طول می‌کشد تا به رنگین سپهر برسد. زیرا این انرژی در قسمت‌های مرکزی خورشید تولید شده و برای رسیدن به سطح باید مسیر طولانی را که تراکم بسیار زیادی از مواد و فوتون‌ها در آن وجود دارد را طی کند و به همین دلیل حرکت در این مسیر بسیار مشکل شده است و دائما با آن‌ها برخورد می‌کند. این برهمکنش میان مواد و فوتون‌ها در هسته بسیار زیاد است و با فاصله گرفتن از هسته و نزدیک شدن به رنگین سپهر رفته رفته کاهش می‌یابد. فوتون‌ها برای رسیدن به سطح خورشید مسیری زیگ زاگی را طی می‌کنند و این فرایند به هزاران سال نیز می‌رسد (شکل۱۷).



شکل ۱۷: میلیون‌ها سال طول می‌کشد تا فوتون‌ها به فوتوسفر برسند

هنگامی که انرژی به رنگین سپهر و در واقع جو خورشید می‌رسد، تقریباً بدون هیچ برهمکنشی و با بیشترین طول موج‌ها به بیرون ساطع می‌شود و طیف پیوسته خورشید را ایجاد می‌کند. به این دلیل است که هسته و مناطق داخلی خورشید برای همه طول موج‌های تابش اصطلاحاً مات هستند و جو خورشید شفاف است. در ستاره‌شناسی مفهوم مات و شفاف با آنچه ما در زندگی روزمره استفاده می‌کنیم، تا حدودی متفاوت است.

یک گاز بسته به نحوه جذب یا پراکندگی فوتون‌های عبوری از آن، می‌تواند شفاف یا مات باشد. برای مثال، جو ما نسبت به طول موج‌های مرئی طیف شفاف است ولی در یک روز مه آلود ما نمی‌توانیم چیزهای زیادی ببینیم، پس در این حالت نسبت به نور مرئی نیز مات است.

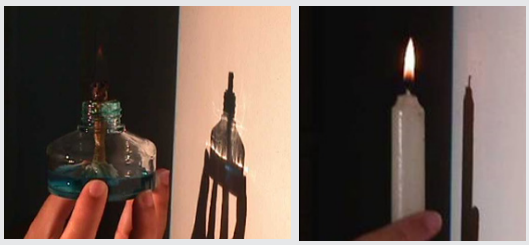
لازم به ذکر است که شفاف بودن به معنای نامرئی بودن نیست. شعله مشعل یا شمع در برابر طول موج‌های یک پروژکتور شفاف است(شکل ۱۸).

فعالیت ۵: شفافیت و کدری

شما می‌توانید با استفاده از مشعل یا شعله شمع این مفاهیم را بهتر نشان دهید.(مشعل بهتر از شمع است زیرا شمع گاهی به‌دلیل احتراق ناقص باعث ایجاد دود سیاه ماتی می‌شود).

این آزمایش بسیار ساده است. اشیا مختلف را در مقابل نور پروژکتور قرار دهید. در مورد اکثر اجسام معمولاً می‌توان درست پیش بینی کرد که جسم شفاف است یا نه.

شعله شمع، چراغ بونزن یا فندک نیز شفاف است. برای دانش‌آموزان دیدن این شعله‌ها که در پشت پروژکتور سایه‌ای ایجاد نمی‌کنند بسیار هیجان انگیزاست (شکل ۱۱). شما می‌توانید با این آزمایش توضیح دهید که چگونه شید سپهر خورشید تقریباً در برابر هر تابشی شفاف است.

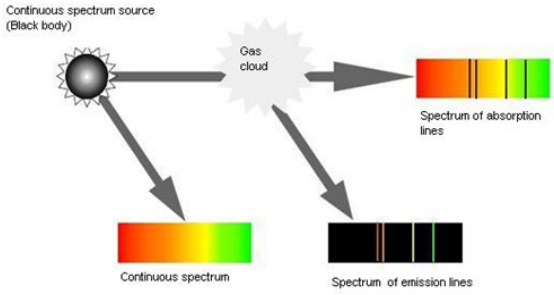


شکل۱۸: چراغ الکلی یا شعله شمع سایه‌ای روی دیوار ایجاد نمی‌کنند. توجه کنید که شیشه نیز کاملاً شفاف نیست.

طیف

در سال ۱۷۰۱ نیوتون برای اولین بار برای تجزیه نور خورشید به رنگ‌های تشکیل دهنده آن، از منشور استفاده کرد. هر نوری را می‌توان به وسیله یک منشور یا توری پراش تجزیه کرد و در نتیجه یک طیف به دست آورد.

طیف ها را می‌توان با سه قانونی که گوستاو کیرشهف و رابرت بونزن در قرن نوزدهم کشف کرد، توضیح داد. این قوانین را می‌توانید در شکل ۱۹ مشاهده کنید.



شکل۱۹: قوانین کیرشهف و بونزن.

۱- یک ماده جامد (رشته ای)، نور را در یک طیف پیوسته منتشر می‌کند.

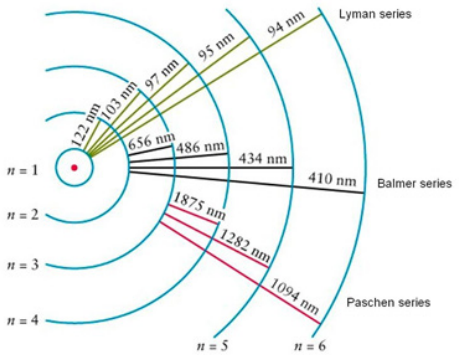
۲- یک گاز متراکم داغ، نوری با خطوط طیفی گسسته (بسته به ترکیب شیمیایی گاز) نشر می‌کند (طیف نشری).

۳- یک ماده جامد که توسط یک گاز کم فشار احاطه شده است، طیف پیوسته‌ای را نشر می‌دهد که در آن خطوط سیاهی وجود دارد. این خطوط تیره نشان گر ترکیبات گازی است که اطراف ماده جامد وجود دارد. (طیف جذبی)

خطوط نشری یک گاز داغ، حاصل فرایند انتقال الکترون از یک سطح انرژی به سطح انرژی دیگر است که در هنگام برهمکنش ماده با فوتون ایجاد می‌شود.

همان طور که بعدها توسط نیلزبور کشف شد، سطوح انرژی در اتم‌ها کاملاً کوانتیده بوده و فرکانس‌های ساطع شده ناشی از انتقال الکترون بین دو تراز مشخص، همیشه یکسان است (شکل۲۰).

یک گاز سرد، می‌تواند همان خطوط انرژی که در زمان گرم شدن از خود نشر می‌کند را جذب کند. اگر گاز سردی را بین یک لامپ و طیف‌سنج قرار دهیم، گاز سرد همان خطوطی را از طیف پیوسته منبع نور جذب می‌کند که در هنگام گرم بودن از خود نشر می‌کند.



شکل۲۰: سری طیفی اتم هیدروژن. انتقالات ممکن بین سطوح مختلف همیشه میزان انرژی مشابه‌ای دارند.

این اتفاقی است که در جو خورشید رخ می‌دهد. عناصر شیمیایی موجود در گاز جو خورشید، طول موج‌هایی از طیف که مربوط به خودشان است را جذب می‌کنند. این واقعیت در سال ۱۸۱۴ توسط جوزف فرانهوفر کشف و تأیید شد و به همین دلیل خطوط طیفی خورشید به افتخار کاشف آنها، خطوط فرانهوفر نام گرفتند.

در جدول زیرحروف مربوط به خطوط طیف خورشید طبق تقسیم بندی فرانهوفر در سال ۱۸۱۷ امده است.

Letter	Wavelength (nm)	Chemical Origin	Color range
A	۷۵۹۳,۷	atmospheric O۲	dark red
B	٦٨٦٧,٢	O۲ atmospherico	red
C	٦٥٦٢,٨	Hidrogen alpha	red
D1	٥٨٩٥,٩	Neutral Sodiumo	oranged-red
D2	٥٨٩٠,٠	Neutral Sodium	yellow
E	٥٢٦٩,٦	Neutra Iron	green
F	٤٨٦١,٣	H beta	cyian
G	٤٣١٤,٢	CH molecular	blue
H	٣٩٦٨,٥	Ionized Calcium	dark violet
K	٣٩٣٣,٧	Ionized Calcium	dark violet

جدول یک: خطوط فرانهوفر برای خورشید.

دلیل اهمیت بسیار بالای طیف سنجی در این است که به کمک نوری دریافتی از خورشید یا هر ستاره دیگری بدون سفر به آن، می‌توان به ترکیبات سازنده آن پی برد. امروزه طیف‌ها با ابزار بسیار دقیق‌تری تجزیه و تحلیل می‌شوند تا با دقت بیشتری بتوان خطوط موجود در آنها را بررسی کرد.

پرتوی جسم سیاه

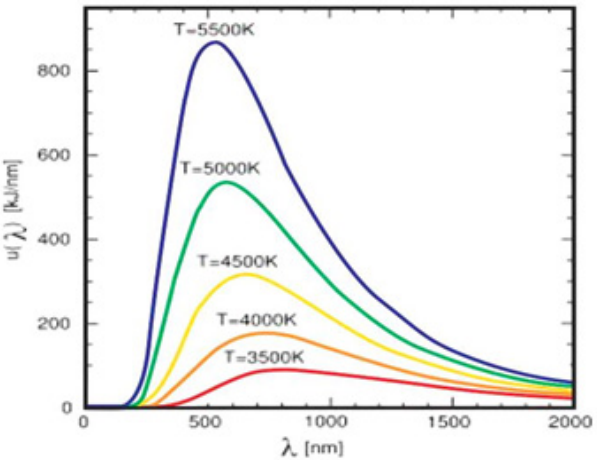
هنگامی که یک فلز را به اندازه کافی گرم کنیم، مشاهده می‌کنیم که به رنگ قرمز درمی‌آید؛ به طوری که در دمای ۴۰۰ درجه حتی در یک مکان تاریک این فلز قابل دیدن می‌شود. با افزایش دما رنگ فلز ابتدا به رنگ نارنجی و سپس زرد تغییر رنگ می‌دهد و حتی بعد از گذراندن مرحله انتشار نور سفید در ۱۰ هزار درجه سانتیگراد، به رنگ آبی تغییر رنگ می‌دهد. یک جسم کدر فلزی یا غیر فلزی، با این ویژگی‌ها تابش خواهد کرد.

هنگامی که یک جسم سیاه (یک جسم ایده‌آل که همه نورها با هر بسامدی که به سمتش می‌آید جذب می‌کند و هیچ

بازتابی ندارد) گرم بشود، شروع به نشر طیف الکترومغناطیس در بسیاری از طول موج‌ها می‌کند. اگر شدت تابش را در هر طول موج اندازه‌گیری کنیم، می‌توان نتیجه آن را توسط یک منحنی به نام منحنی پلانک نمایش داد. در شکل ۲۱ منحنی‌ها برای چند درجه حرارت مختلف جسم سیاه، نشان داده شده است. نمودار دارای قله در یک طول موج خاص است که رنگ غالب جسم را به ما نشان می‌دهد.

λ بیشینه، نشانگر دمای جسم براساس قانون وین است:

$$\lambda_{máx} = \frac{2{,}898 \cdot 10^{-3}}{T} \ (m)$$



شکل ۲۱: منحنی پلانک برای جسم سیاه در دماهای مختلف

در این معادله T دمای جسم است.

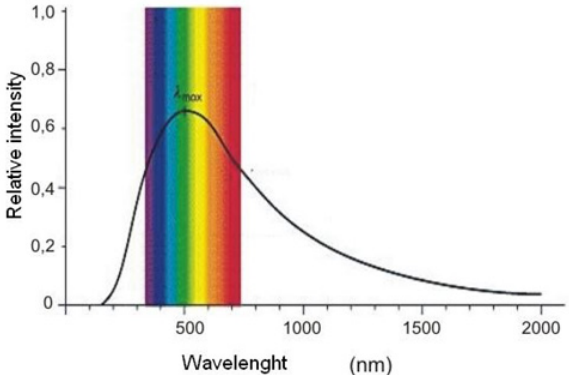
طبق این قانون با بررسی پرتونوری که از یک جسم دوردست به ما می‌رسد می‌توانیم دمای آن را بدون رفتن به آن‌جا محاسبه کنیم.

ستارگان (به جز اتمسفر و جو آن ها)، سیارات، سیارک‌ها یا پرتوناشی از تابش زمینه کیهانی از جمله اجرام نجومی هستند که به عنوان جسم سیاه کدر شناخته می‌شوند.

قانون وین یک قانون کلی برای تابش حرارتی اجسام مات است. به عنوان مثال طبق قانون وین بدن انسان در ناحیه فروسرخ، دارای حداکثر تابشی در طول موج ۹٫٤ μ m است (معادل دمای ۳۷ C (= ۳۱۰ K).).

بنابراین ارتش برای رصد در شب از دستگاه‌هایی برای رصد این طول موج‌ها استفاده می‌کند.

به خورشید برمی‌گردیم. جایی که اتمسفر شفاف است، تابش جسم سیاه با توجه به دمای رنگین سپهر تعیین می‌شود، جایی که خورشید شفاف می‌شود (دمای ۵۸۰۰ k)، بنابراین طول موج تابش جسم سیاه همانطور که در شکل ۲۲ نشان داده شده است، حدود ۵۰۰ nm است.



شکل۲۲: نمودار تابشی طیف پیوسته خورشید.

جو ما تابش مادون قرمز و فرابنفش را جذب می‌کند. جالب است که چشم انسان نیز طوری تکامل یافته است که فقط بخش مرئی نور خورشید را می‌بیند.

پراکندگی نور خورشید

هنگامی که یک پرتوی نور سفید از یک گازی حاوی ذرات بزرگتر از طول موج نور عبور می‌کند، نور تجزیه نمی‌شود و همه طول موج‌ها پراکنده می‌شوند.

این اتفاق هنگامی رخ می‌دهد که نور خورشید از میان ابری از ذرات کوچک آب عبور کند: آن‌ها سفید به نظر می‌رسند. همین اتفاق، زمانی که نور از شکر و نمک نیز عبور می‌کند، رخ می‌دهد.

اما اگر اگر نور به وسیله ی ذراتی که اندازه ای مشابه با طول موج فوتون (رنگ) دارند، پراکنده شوند، این فوتون ها پراکنده می‌شوند، اما سایر آن ها نه. به این پدیده پراکندگی رایلی می‌گویند.

در جو ما نور آبی بیشتر از نور قرمز پراکنده می‌شود و فوتون‌های آن از همه جهت به ما می‌رسند. همین موضوع باعث می‌شود که ما آسمان را به جای اینکه به رنگ سیاهی که در فضا دیده می‌شود ببینیم، آسمان را به رنگ آبی ببینیم. در هنگام غروب نور بیشتری از جو زمین می‌گذرد و دارای نور آبی کمتری است؛ بنابراین؛ آسمان در آن زمان زرد به نظر می‌رسد؛ همچنین در هنگام غروب خورشید این اتفاق برای فوتون‌های قرمز می‌افتد.

به همین دلیل است که وقتی که نور از گازی با ضخامت زیاد عبور می‌کند (مثل سحابی ها)، قرمز به نظر می‌رسد زیرا رنگ آبی کاملاً در همه جهات پراکنده می‌شود و نور قرمز بیشتر به سمت ما می‌آید و این موجب می‌شود که بیشتر سحابی‌ها را قرمز ببینیم. این همان اثر رایلی است.

شکل ۲۳: رنگ آسمان کاملاً به پراکندگی رایلی بستگی دارد.

فعالیت ۶: انقراض و پراکندگی

این آزمایش با یک ویدیو پروژکتور (یا هر منبع قوی دیگری از نور)، یک محلول رقیق شیر، یک تکه مقوای سیاه و یک لیوان بلند انجام می‌شود.

یک محلول رقیق شیر به صورت یک قطره شیر در ۵۰ میلی لیتر آب فراهم کنید. (غلظت در این آزمایش بسیار مهم است و حتماً آن را پیش از کلاس بررسی کنید).

از مقوای سیاه یک دایره به اندازه کف لیوان برش دهید. شیشه خالی را روی پروژکتور قرار داده و پروژکتور را روشن کنید (شکل ۲۴ الف).

می‌بینید نوری که به دیوار می‌رسد سفید است.

وقتی که لیوان پر می‌شود نور به رنگ قرمز در می‌آید

با کمی اضافه کردن محلول نور زرد می‌شود

در آغاز نوری که به دیوار می‌رسد سفید است

شکل ۲۴

حالا لیوان را کم کم از محلول پر کنید. خواهید دید که رنگ نور روی دیوار با اضافه شدن محلول به تدریج قرمزتر می‌شود و پیرامون شیشه نور سفید متمایل به آبی را نشان می‌دهد.

کتابشناسی

• Broman, L, Estalella, R, Ros, R.M. Experimentos en Astronomía.Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.

• Costa, A, Sunlight Spectra, 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Briey, 1999.

• Costa, A, Simple Experiments with the Sun, 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings, Ed. Rosa Ros, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 1999.

• Dale,A.O., Carrol,B.W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.

• Ferreira,M., Almeida,G, Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas, Plátano Ed. Téc., Lisboa, 1996.

• Johnson,P.E., Canterna,R, Laboratory Experiments For Astronomy, Saunders College Publishing, Nova Iorque, 1987.

• Lang,K.R, Sun, Earth & Sky, Springer-Verlag, Heidelberga, 1995.

• Levy,D, Skywatching-The Ultimate Guide to the Universe, Harper Collins Publishers, London, 1995.

• Moreno, R. Experimentos para todas las edades, Editorial Rialp, Madrid, 2008

• Rybicki,G.B., Lightman, A.P, Radiative Processes in Astrophysics,John Wiley & Sons, E.U.A, 1979.

• Sousa, A.S, Propriedades Físicas do Sol, Ed. ASTRO, Porto, 2000.

• Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.V.P, Introductory Astronomy and Astrophysics, 3rd Ed., Saunders College Publishing, Orlando, E.U.A, 1992.

Internet sources

• NASA Polar Wind and Geotail Projects, http://www-istp.gsfc.nasa.gov.

• Space & astronomy experiments, http://www.csiro.au/csiro/channel/pchdr.html

• The Sun, http://www.astromia.com/solar/sol.htm

• Nine planets, http://www.astrored.net/nueve-planetas/solarsystem/sol.html

زندگی ستاره‌ای

الکساندر کوستا، بئاتریس گارسیا، ریکاردو مورنو، رزا ماریا رز
اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دبیرستان لول
دانشگاه ملی مهندسی مندوزا(آرژانتین)
کالج ری تامر (مادرید، اسپانیا)
دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)

چکیده

برای درک و شناخت چرخه زندگی ستارگان ابتدا باید بدانیم آن‌ها چه هستند، چگونه می‌توان فهمید که آن‌ها چقدر از ما دور هستند، چطور تکامل میابند و تفاوت های میان آن‌ها چیست. به‌وسیله انجام چند آزمایش ساده و مدل سازی می‌توان فعالیت‌هایی که دانش‌مندان برای مطالعه ترکیب و تکامل ستارگان انجام داده‌اند را برای دانشجویان و دانش‌آموزان توضیح داد.

اهداف

این کارگاه مکمل کارگاه تکامل ستاره‌ای NASE است که فعالیت‌ها و آزمایش‌های بیشتری با محوریت درک و شناخت تکامل ستاره‌ها در اختیار شما قرار می‌دهد. اهداف اصلی این فعالیت عبارت‌اند از:

- درک تفاوت میان قدر ظاهری و قدر مطلق
- درک نمودار هرتسپرونگ راسل بوسیله ساخت یک نمودار رنگی
- شناخت مفاهیم ابرنواختر، ستاره نوترونی، ستاره پالسار یا تپنده و سیاه چاله

فعالیت ۱: مفهوم اختلاف‌منظر

اختلاف منظر مفهومی است که برای محاسبه فواصل در ستاره شناسی استفاده می‌شود.

ما یک فعالیت ساده را انجام می‌دهیم که به ما کمک خواهد کرد که مفهوم دقیق اختلاف‌منظر را بهتر درک کنیم.

برای انجام این آزمایش یک دیوار مشخص را انتخاب کنید که وسیله‌ای مانند تابلوی عکس یا میز یا در و... کنار آن یا بر روی آن قرار داشته باشد. سپس با فاصله ثابت و مشخصی از دیوار بایستید.

ابتدا چشم راست خود را ببندید سپس انگشتتان را مقابل خودتان گرفته و دقیقا در وسط جسم تنظیم کنید. بدون حرکت دادن انگشت چشم راست خود را ببندید و چشم چپتان را باز کنید. خواهید دید که انگشت در زمینه‌ی دیوار و تابلو حرکت کرده است و دیگر دقیقاً در وسط تابلو نیست و به لبه‌های آن یا خارج از آن رسیده است.

شکل ۱ الف و ب: چگونه از طیف سنج استفاده کنیم.

شکل۱: ابتدا چشم چپ خود را ببندید و به محل انگشت شصت در زمینه قاب عکس نگاه کنید سپس چشم راست را بسته و همین کار را برای چشم چپ انجام دهید.

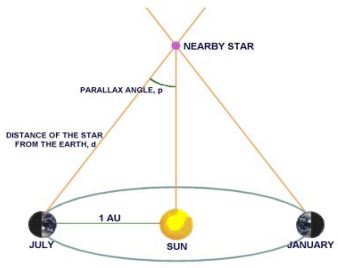
به همین دلیل است که وقتی از دو شهر با فاصله زیاد بر روی زمین در زمان یکسان به ماه که یک جرم نزدیک است نگاه می‌کنیم آن را در زمینه ستارگان که بسیار از ما دور هستند با کمی تفاوت مکان میبینیم.

هرچه فاصله بین دو مکان مشاهده بیشتر باشد این اختلاف بیشتر است. این فاصله را خط مبنا می‌نامیم.

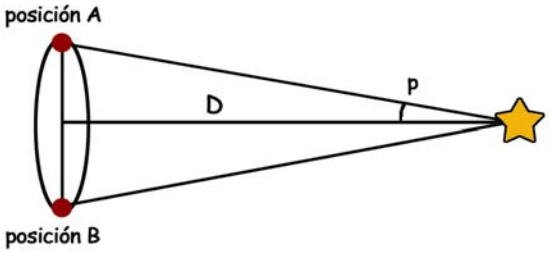
محاسبه فاصله ستارگان با اختلاف‌منظر

اختلاف‌منظر تغییر ظاهری یک شی است، هنگامی که از مکان‌های متفاوتی مشاهده می‌شود. به طوری که به نظر می‌رسد وقتی که از دو مکان به یک منطقه از آسمان نگاه می‌کنیم ستاره‌ی نزدیک‌تر در زمینه‌ی ستاره‌های دورتر جابه‌جایی ظاهری بیشتری داشته است. بنابراین می‌توان فاصله تا ستارگان مجاور را تعیین و محاسبه کرد.

اگر که فاصله دو مکان ناظر بیشینه‌ترین حالت باشد که در این حالت اختلاف به بیش‌ترین حد خود می‌رسد، یعنی یک قطر مدار زمین به دور خورشید. (شکل ۲)



شکل ۲: زاویه اختلاف منظر p یک تغییر زاویه‌ای است که هنگام مشاهده یک ستاره از دو مکان که به اندازه فاصله زمین تا خورشید از یکدیگر فاصله دارند، می‌بینند.



شکل ۳: با اندازه گیری زاویه اختلاف‌منظر (p) می‌توان فاصله (D) از جسم را محاسبه کرد.

به عنوان مثال اگر یک ستاره نزدیک را با توجه به محل آن در ستاره‌های پس زمینه که دورتر هستند، از موقعیت‌های A و B از مدار زمین که شش ماه از هم فاصله دارند مشاهده کنیم می‌توان فاصله ستاره یعنی (D) را با این روش محاسبه کنیم:

$$\tan p = \frac{AB/2}{D}$$

از آنجایی که (P) یک زاویه کوچک است می‌توان به صورت رادیان محاسبه کرد.

$$D = \frac{AB/2}{p}$$

قاعده مثلث ۲ / AB به اندازه فاصله زمین تا خورشید یعنی ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. اگر زاویه اختلاف‌منظر یعنی p را داشته باشیم، فاصله با ستاره، (در واحد کیلومتر) P / ۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰ = D خواهد بود (با زاویه P برحسب رادیان) .

به عنوان مثال اگر زاویه P یک ثانیه قوسی باشد، فاصله از ستاره برابر است با:

$$D = \frac{150000000}{2\pi/(360\ 60\ 60)} = 30939720937064\ km = 3{,}26\ a.l.$$

این واحد مسافتی است که در نجوم حرفه‌ای استفاده می‌شود. اگر ستاره‌ای را با اختلاف‌منظر یک ثانیه قوسی (در طی ۶ ماه) ببینیم، آن ستاره با فاصله ۱ پارسک (پار - ثانیه) معادل ۳،۲۶ = ۱pc سال نوری از ما قرار دارد. اختلاف‌منظر کم‌تر نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی بیش‌تر ستاره است. رابطه بین فاصله بر حسب پارسک و و اختلاف‌منظر بر حسب ثانیه قوسی را می‌توان با رابطه زیر نشان داد:

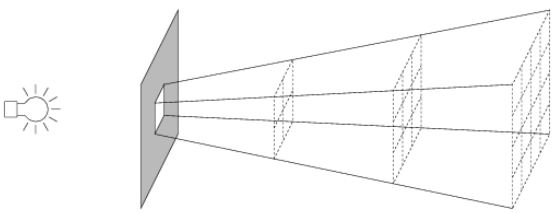
$$d = \frac{1}{p}$$

دلیل استفاده از این معادله سادگی آن است. به عنوان مثال نزدیک ترین ستاره به ما ستاره‌ی پروکسیما قنطورس است که اختلاف‌منظر ۰/۷۶ ثانیه قوسی دارد یعنی این ستاره ۱/۳۱ پارسک از ما فاصله دارد، چیزی حدود ۴/۲۸ سال نوری. اولین رصد اختلاف‌منظر یک ستاره (61 Cygni) توسط بسل در سال ۱۸۳۸ انجام شده است. اگرچه در آن زمان بر روی این مورد که به‌دلیل فاصله بسیار زیاد ستارگان نمی‌توان فاصله آن‌ها را با دقت محاسبه کرد شک و تردید بسیاری بود.

در حال حاضر ما برای اندازه گیری فاصله ستاره‌هایی که تا ۳۰۰ سال نوری ما قرار دارند، از اختلاف‌منظر استفاده می‌کنیم. برای فاصله‌های بیشتر اختلاف‌منظر بسیار ناچیز می‌شود بنابراین برای محاسبه فاصله باید از روش‌های دیگری استفاده کنیم. با این حال روش‌های دیگر هم بر اساس مقایسه با ستارگان دیگر است، که فاصله آن‌ها به‌وسیله اختلاف‌منظر محاسبه شده است. به‌طور کلی اختلاف‌منظر زمینه محاسبه فواصل کیهانی است.

فعالیت ۲: قانون مربع معکوس

با یک آزمایش ساده می‌توان رابطه میان درخشندگی (luminosity)، روشنایی و فاصله را بررسی کرد. این فعالیت نشان خواهد داد که قدر ظاهری تابعی از فاصله است. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است در این ازمایش از یک لامپ و یک کارت (یا یک جعبه) یا یک سوراخ مربعی کوچک در آن استفاده می‌کنیم. کارت سوراخ را در یک طرف لامپ قرار می‌دهیم. لامپ به همه جهات تابش می‌کند. مقدار مشخصی از نور از درون سوراخ عبور می‌کند و یک صفحه که به موازات با کارت سوراخ قرار دارد را روشن می‌کند. صفحه روشن شده دارای نقاط نورانی به اندازه سوراخ مربع روی کارت است. مقدار کل نور عبور کرده از سوراخ به فاصله ی ما از صفحه نمایش ندارد ولی با دور کردن کارت از صفحه ای که روی آن نمایش می‌دهیم، میبینیم که با همان مقدار نور ورودی از سوراخ، منطقه بیشتری روی صفحه نمایش روشن شده که روشنایی آن به تبع کاهش یافته است. برای شبیه سازی منبع نور نقطه ای و کاهش سایه‌ها می‌توانید از یک کارت دیگر با سوراخ کوچکتر نزدیک لامپ استفاده کرد ولی توجه کنید که کارت را به لامپ خیلی نزدیک نکنید چون ممکن است اتش بگیرد.



شکل ۴: ازمایش بالا

در نتیجه طبق آزمایش بالا، مشاهده می‌کنیم وقتی فاصله بین صفحه نمایش و لامپ کم می‌شود، ناحیه‌ای که نور روشن می‌کند چهار برابر بیشتر می‌شود. این یعنی شدت نور (نوری که به واحد سطح می‌رسد) یک چهارم مقدار اصلی می‌شود.

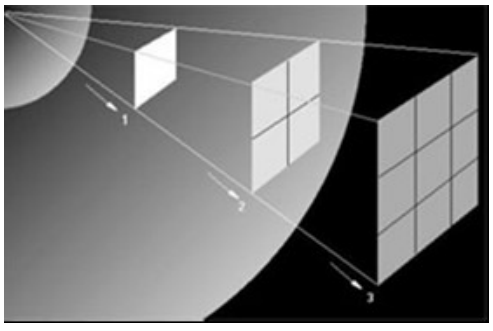
اگر فاصله سه برابر شود، ناحیه روی صفحه نمایش که نور در آن پخش می‌شود ۹ برابر بزرگتر می‌شود، بنابراین شدت نور یک نهم از مقدار شدت اصلی روی دیوار خواهد بود. بنابراین، می‌توان گفت که معکوس شدت متناسب است با مربع مسافت تا منبع نور. به عبارت دیگر، معکوس شدت متناسب است با مساحتی که تابش نور بر روی دیوار روشن می‌کند. مساحت محیطی که از ستاره در آن روشنایی منتشر شده $4\pi D^2$ است.

سیستم قدر

تصور کنید یک ستاره مانند لامپ است. میزان روشنایی به قدرت ستاره یا همان لامپ و فاصله ای که از آن داریم بستگی دارد. با قرار دادن یک برگه کاغذ در مقابل یک لامپ می‌توان این موضوع را مشاهده و تایید کرد که میزان نوری که به صفحه کاغذ میرسد به میزان قدرت روشنایی لامپ و فاصله بین ورق، لامپ و دیوار بستگی دارد. نور منتشر شده از لامپ به صورت مساوری روی سطح یک کره به مرکزیت لامپ در فضا منتشر می‌شود که مساحت آن $4\pi D^2$ است. بنابراین اگر فاصله بین لامپ و کاغذ یعنی R را دو برابر کنیم، شدت نوری که به کاغذ میرسد نصف نیست، بلکه یک چهارم است (منطقه ای که نور در آن پخش می‌شود چهار برابر است) و اگر سه برابر شود شدت نور یک نهم است، یعنی مساحت کره ای که نور در آن توضیع می‌شود نه برابر بیشتر است. روشنایی ستاره را می‌توان به عنوان شدت یا مقدار انرژی از آن که به واحد یک متر مربع در زمین میرسد تعریف کرد. (شکل ۵)

اگر درخشندگی یا قدرت ستاره را L در نظر بگیریم پس:

$$B = F = \frac{L}{4\pi D^2}$$



شکل۵: شدت نور، با افزایش فاصله کاهش می‌یابد.

از آن‌جایی که میزان درخشندگی به شدت و فاصله ستاره بستگی دارد، می‌توان مشاهده کرد که یک ستاره که ذاتا کم نور است ولی در فاصله نزدیک از ما قرار دارد به اندازه یک ستاره بسیار درخشان‌تر ولی دورتر می‌درخشد.

هیپارکوس در قرن دوم پیش از میلاد اولین کاتالوگ ستاره ای جهان را ساخت. او درخشان ترین ستاره‌ها را به عنوان ستاره‌هایی با قدر ۱ و کم نورترین آن‌ها را ستاره‌هایی با قدر ۶ طبقه بندی کرد. او سیستمی برای طبقه‌بندی روشنایی ستاره‌ها ابداع کرد که امروزه نیز از آن استفاده می‌شود. اگرچه با مرور زمان در این تقسیم بندی نسبت به آن زمان که با چشم غیر مسلح انجام شده بود، تکامل و پیشرفت‌هایی اعمال شده است.

یک ستاره با قدر ۲ از یک ستاره با قدر ۳ درخشان‌تر است. ستاره‌هایی با قدر ۰ وجود دارند و حتی برخی ستارگان قدرهای منفی نیز دارند مانند ستاره شباهنگ که قدری حدود ۱٫۵- دارد. با تعمیم دادن این تقسیم بندی به اجرام پرنورتر تیر قدر ۴-، ماه کامل قدر ۱۳- و خورشید قدری در حدود ۲۶/۸- دارد.

این مقادیر قدر ظاهری یعنی درخشش ستاره‌ها که روی زمین قابل مشاهده است، را با m نشان می‌دهیم. در این مقیاس قاعده تقسیم بندی این است که ستاره ای با قدر ۱، ۲٫۵۱ برابر درخشان تر از ستاره ای با قدر ۲ است و این ستاره ۲٫۵۱ برابر درخشان تر از ستاره ای با قدر ۳ است. این معادله نشان می‌دهد که اگر بین دو ستاره ۵ قدر اختلاف وجود داشته اشد درخشش آن‌ها ۲٫۵۱ به توان پنج یعنی ستاره ای با قدر کمتر در حدود ۱۰۰ برابر درخشش بیشتری نسبت به ستاره با قدر بیشتر است:

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log\left(\frac{B_1}{B_2}\right)$$

یا

$$\frac{B_1}{B_2} = \left(\sqrt[5]{100}\right)^{m_2 - m_1}$$

در معادله زیر روش محاسبه قدر ستاره m به‌وسیله شار وارد شده از آن به تلسکوپ است. در واقع m از شار f و یک ثابت c وابسته به ویژگی‌های رصد محاسبه می‌شود.

$$m = -2.5 \log F + C$$

این معادله به ما می‌گوید که هرچه شار بیشتر باشد قدر ستاره نیز منفی تر خواهد بود.

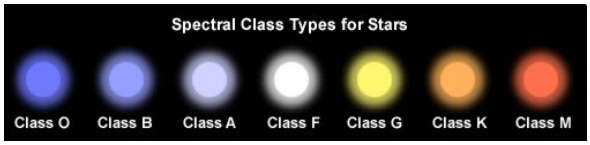
قدر مطلق M همان قدر ظاهری است وقتی که پارامتر فاصله از آن حذف شده باشد یعنی همه ستاره‌ها در فاصله ثابت ۱۰ پارسک از ما قرار گرفته باشند.

برای تبدیل قدر ظاهری به قدر مطلق باید فاصله دقیق از ستاره را بدانیم. گاهی کار مشکلی است به‌دلیل اینکه تعیین دقیق فاصله در ستاره شناسی معمولا کار دشواری می‌باشد. اما اگر فاصله بر حسب پارسک مشخص شده‌باشد، می‌توان قدر مطلق ستاره را با استفاده از معادله زیر بدست آورد.

$$M = m - 5\log d + 5$$

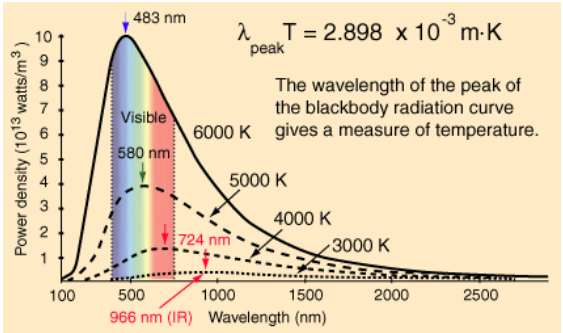
رنگ ستاره‌ها

می‌دانیم که ستاره‌ها رنگ‌های متفاوتی دارند. حتی در نگاه اول و با چشم غیر مسلح نیز می‌توان تفاوت‌هایی بین رنگ ستارگان قائل شد. اما این اختلاف رنگ زمانی که با دوربین‌های دوچشمی یا بزار رصدی دیده می‌شوند آشکارتر است. ستاره‌ها با توجه به رنگشان طبقه‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی رده طیفی ستاره نامیده شده و به این ترتیب طبقه‌بندی می‌شوند: M, K, G, F, A, B, O (شکل ۶).



شکل۶: رده طیفی ستاره‌ها با استفاده از رنگ آن‌ها (شکل ۶)

طبق قانون وین (شکل ۷)، یک ستاره با حداکثر شدت خود و دمای بالا دارای رنگ آبی می‌باشد، درحالی که اگر نور ستاره به رنگ قرمز باشد نشان دهنده این است که ستاره ی خنک تری است. به بیان دیگر رنگ ستاره نشان دهنده دمای سطح ستاره است.



شکل ۷: نمودار درخشش، رنگ و رمای ستاره

فعالیت ۳: رنگ ستاره‌ها

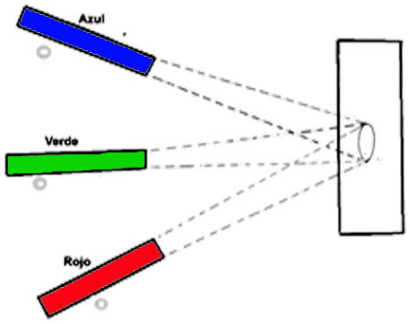
ابتدا از یک لامپ رشته ای با مقاومت متغییر برای نشان دادن تابش سیاه استفاده می‌کنیم. دانش آموزان با قرار دادن فیلترهای رنگی بین لامپ و طیف سنج می‌توانند طول موج نور منتقل شده از فیلترها را بررسی کنند. با مقایسه نتیجه‌ی آن با طیف کامل لامپ، دانش آموزان می‌توانند مشاهده و درک کنند که فیلترها طول موج‌های خاصی را جذب می‌کنند. دانش‌آموزان می‌توانند از دستگاهی شبیه به شکل ۳ که دارای چراغ‌هایی با رنگ قرمز، ابی، سبز و مجهز به پتانسیومتر است برای درک رنگ ستارگان است استفاده کنند.

این وسیله با استفاده از لامپ‌های ساده نیز قابل ساخت است. قسمت بیشتر لامپ را با کاغذ تیره یا کاغذ ساختمانی بپوشانید به طوری که نوری از آن عبور نکند. بخشی از لامپ که کاغذ مات نچسباندید و نور از آن عبور می‌کند را با سلفون‌های شفاف رنگی بپوشانید. با استفاده از این دستگاه می‌توانید شکل ۲ را انالیز و شبیه سازی کنید و تلاش کنید که اثر افزایش دمای ستاره را در تغییر رنگ آن بازسازی کنید.

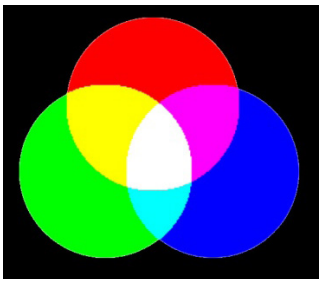
در دمای پایین ستاره فقط مقدار قابل توجهی نور قرمز تابش می‌کند.

اگر دما افزایش یابد، طول موج‌هایی به وجود خواهند آمد که از فیلتر سبز نیز عبور کنند. با افزایش این روند رنگ ستاره را از نارنجی به زرد تغییر رنگ می‌دهد. با افزایش دما میزان طول موج‌هایی که از فیلتر آبی عبور می‌کنند بیش‌تر شده و اهمیت بیشتری در تعیین رنگ ستاره پیدا می‌کنند. نور این رنگ ستاره ابتدا رو به آبی و نهایتا به رنگ سفید میل می‌کند.

اگر شدت طول موج‌های آبی به رشد خود ادامه بدهند و از شدت طول موج‌های عبوری از قرمز و سبز به میزان قابل توجهی بیش‌تر شود ستاره آبی می‌شود. برای نشان دادن مرحله اخر اگر از حداکثر توان لامپ‌ها برای تولید رنگ سفید استفاده می‌کنید باید شدت لامپ قرمز و سبز را کاهش دهید.



شکل ۸ الف: دستگاهی برای تولید رنگ‌ها به‌وسیله نورها برای درک بهتر رنگ ستارگان



شکل ۸ ب: پرتو افکنی برای درک بهتر رنگ ستاره‌ها و تولید شدن نور سفید.

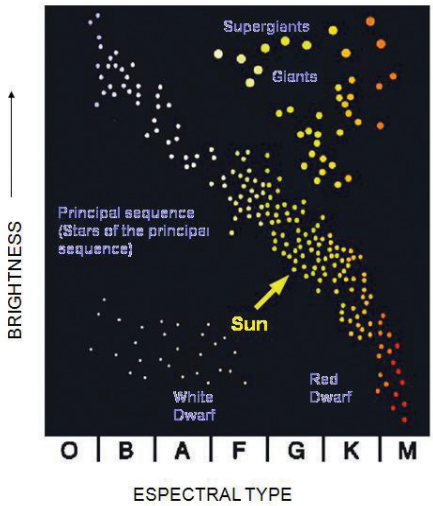
چطور درمیابیم که ستارگان تکامل دارند؟

ستارگان را می‌توان در نموداری به نام هرتسپرونگ راسل (شکل ۹-الف) طبقه‌بندی کرد که نموداری است بر حسب شدت ستاره (درخشندگی یا قدر مطلق)، درجه حرارت و رنگ ستاره.

ستارگان خنک درخشندگی کمتری دارند (پایین سمت راست نقشه) و ستاره‌های داغ روشن‌تر هستند و از درخشندگی بیشتری برخوردارند (بالا سمت چپ تقشه).

این روند از ستاره‌ها که از درخشندگی کم و دمای خنک تا درخشندگی زیاد و دمای زیاد را در برمی‌گیرد رشته اصلی نام دارد. برخی از ستارگان که به تکامل بیش‌تری رسیده‌اند از رشته اصلی خارج می‌شوند. ستارگانی که بسیار داغ هستند اما درخشندگی کمی دارند کوتوله‌های سفید هستند. ستاره‌هایی که درجه حرارت پایینی دارند اما بسیار درخشان هستند اصطلاحا ابرغول هستند.

با گذشت زمان یک ستاره می‌تواند در نمودار HR تکامل یافته و حرکت کند. به عنوان مثال خورشید در پایان عمر خود متورم شده و به یک غول سرخ تبدیل می‌شود، سپس با دور کردن لایه‌های بیرونی خود سرانجام مانند شکل ۹-ب تبدیل به یک کوتوله سفید می‌شود.



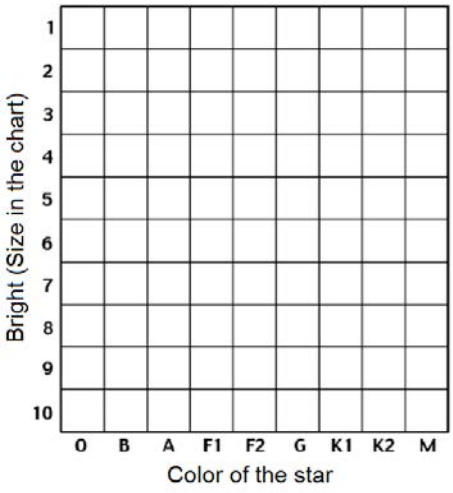
شکل۹-الف :نمودار HR

شکل ۹-ب: نشان می‌دهد که خورشید جو بیرونی خود را از دست داده و تبدیل به یک کوتوله سفید می‌شود مانند آن‌چه در مرکز این سحابی سیاره نما وجود دارد.

فعالیت ۴: سن خوشه‌های باز

تصویر زیر (شکل ۱۰) از خوشه جعبه جواهرات در صورت فلکی صلیب جنوبی را در نمودار زیر آنالیز کنید.

شکل ۱۰: خوشه جعبه جواهر



شکل۱۱: کاربرگ

بدیهی است که رنگ همه ستارگان یکسان نیستند. بسیار مشکل است که بگوییم یک خوشه ستاره‌ای کجا به پایان میرسد. در شکل ۱۰ جایی که فکر می‌کنید لبه خوشه است را مشخص کنید.

در همان شکل ۱۰ جایی که فکر می‌کنید مرکز خوشه است را علامت بزنید. سپس با استفاده از خط کش مربعی به ضلع ۴ سانتی متر با مرکزیت X رسم کنید. میزان روشنایی ستاره ای که نزدیک گوشه بالا سمت چپ مربع شما قرار دارد را اندازه گیری کنید(براساس اندازه آن در مقایسه با اندازه‌های مقایسه ای که در راهنمای حاشیه شکل ۴ امده). سپس رنگ ستاره را تخمین بزنید (راهنمای رنگ ستاره در سمت چپ شکل ۱۰ امده است). با یک نقطه رنگ و قدر(اندازه) ستاره اول خود را روش برگه ۱۱ علامت بزنید.

توجه داشته باشید که محور X مربوط به رنگ و محور Y مربوط به درخشش (اندازه یا قدر) ستاره است. . بعد از رسم اولین ستاره، فرایند تعیین رنگ و قدر(اندازه) همه‌ی ستارگانی که در داخل مربع ۴ سانتی متری قرار می‌گیرند را ادامه دهید.

به نظر می‌رسد، ستاره‌های خوشه‌ی جعبه جواهرات را که کاربرگ ۱۱ آنالیز کردیم، از الگوی خاصی پیروی می‌کنند. در شکل ۱۰، علاوه بر ستارگان اصلی خوشه، تعدادی ستاره قبل و بعد از خوشه قرار دارند که جزو خوشه نیستند، ستاره شناسان آن‌ها را ستاره های زمینه‌ای (Field star) می‌نامند. اگر وقت دارید سعی کنید چند ستاره از زمینه آن نیز برای خود تخمین بزنید. برای این‌کار مانند فعالیت قبل عمل کنید و این بار به جای نقطه از x استفاده کنید. می‌بینید که به‌نظر نمی‌رسد که ستاره‌های زمینه از الگوی خاصی پیروی کنند.

بیش‌تر ستارگان در بخش خاص رشته مانندی از نمودار قرار دارند که از بالا سمت چپ نمودار به پایین سمت راست نمودار کشیده شده است. ستاره‌هایی با جرم کمتر ستاره‌هایی هستند که دمای کمتری داشته و قرمز به نظر می‌رسند. بزرگترین ستاره‌ها گرم‌ترین و درخشان ترین آن‌ها هستند که به رنگ آبی دیده می‌شوند. این رشته در نمودار HR رشته اصلی نامیده می‌شود. این ستارگان در رشته اصلی در دسته O (پر جرم ترین، روشن ترین و داغ ترین در حدود ۴۰۰۰۰ درجه کلوین) تا دسته M (کم جرم ترین، کم نورترین و دمای سطحی کمتر درحدود ۳۵۰۰ درجه کلوین) قرار می‌گیرند.

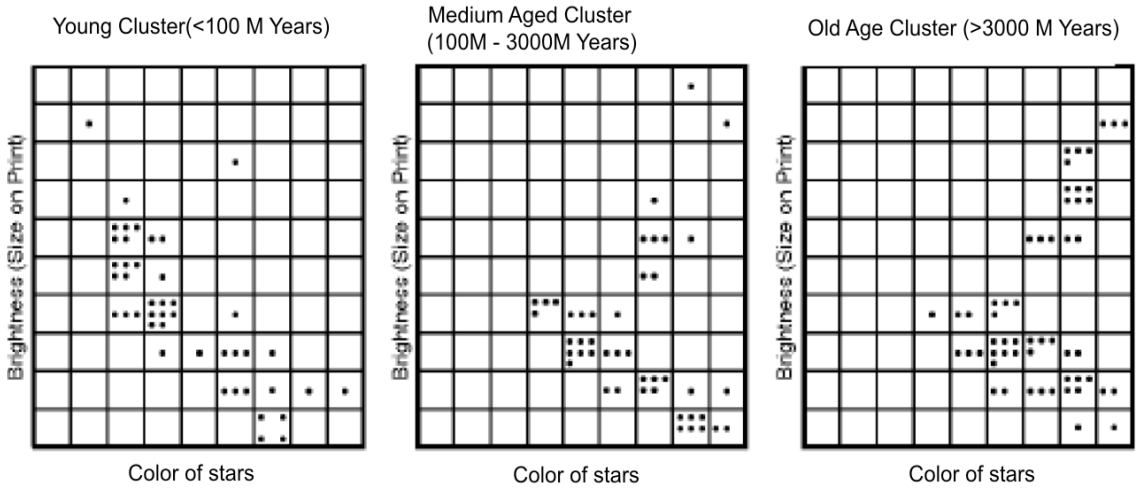
در بیش‌تر طول عمر یک ستاره نیروی درونی مشابه ای که انرژی ستاره را فراهم می‌کند، موجب پایداری آن در برابر فروپاشی می‌شود، ولی هنگامی که ستاره از فرایند سوختن متوازن خود خارج می‌شود، این تعادل برهم خورده و گرانش شدید ستاره موجب فروپاشی و در نهایت مرگ آن می‌شود.

انتقال ستاره از مرحله اخر رشته اصلی به فروپاشی بخشی از زندگی ستاره است که مرحله غول سرخ نامیده می‌شود. ستاره‌های غول سرخ ستاره‌های بسیار روشنی هستند زیرا قطرهای آن‌ها می‌تواند بین ۱۰ تا ۳۰۰ برابر بزرگ تر از خورشید باشد. غول‌های قرمز نیز به رنگ سرخ هستند زیرا دمای کمی دارند. در نمودار آن‌ها در دسته K یا M قرار می‌گیرند ولی بسیار روشن هستند.

سنگین ترین و عظیم ترین ستارگان سوخت خود را زودتر از ستارگان دیگر تمام می‌کنند و اولین کسانی هستند که رشته اصلی را ترک می‌کنند و به غول‌های سرخ تبدیل می‌شوند. به‌دلیل اندازه بزرگ آن‌ها که می‌تواند حتی ۱۰۰۰ برابر قطر خورشید باشند، غول‌های سرخی با جرم بین ۱۰ تا ۵۰ برابر جرم خورشید ابرغول سرخ نامیده می‌شوند. غول‌های سرخ گسترش یافته و خنک شده ، به مرور زمان قرمز و روشن تر می‌شوند به همن دلیل در بالا سمت راست نمودار قرار می‌گیرند. با بالا رفتن سن خوشه تعداد ستاره‌هایی که رشته اصلی را ترک کرده و به سمت غول سرخ شدن می‌روند رفته رفته بیش‌تر می‌شود. بنابراین سن یک خوشه ستاره‌ای را می‌توان با رنگ بزرگ‌ترین و درخشان‌ترین ستاره که هنوز در رشته اصلی باقی مانده است مشخص کرد.

بسیاری از ستارگان در خوشه‌های قدیمی تر از مرحله غول‌های گازی فراتر رفته و وارد مرحله دیگری از تکامل می‌شوند: آن‌ها تبدیل به کوتوله سفید می‌شوند. کوتوله‌های سفید ستارگان بسیار کوچکی هستند که اندازه‌ای در حدود زمین دارند. درخشش آن‌ها بسیار ضعیف است به همین دلیل در تصویر خوشه جعبه جواهرات قابل

مشاهده نیستند. آیا می‌توانید با مقایسه نمودارهای خوشه‌های ستاره ای در سنین مختلف که در شکل‌های۱۲-الف، ۱۲-ب و۱۲-پ نشان داده شده است، سن خوشه جعبه جواهرات را از نمودار خود در شکل۱۱ تخمین بزنید؟



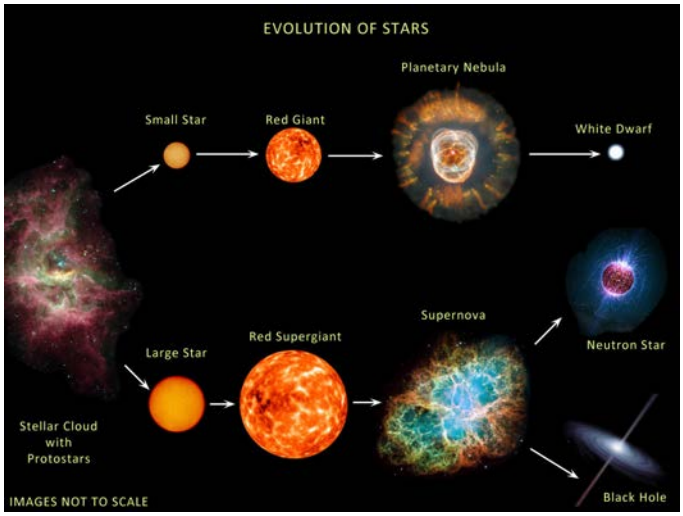
۱۲-الف، ۱۲-ب و۱۲-پ

اگر نمودار HR و رابطه بین رنگ(دمای سطح)، روشنایی و سن ستاره‌هارا درک کنید، می‌توانید نحوه تکامل ستاره‌ها و خوشه‌های ستاره ای را نیز به طور کامل درک کنید. می‌توانید زندگی ستاره‌های دسته O و B را با زندگی ستاره‌های دسته K، G، F، A و M مقایسه کنید. می‌توانید ببینید که ستارگان با همان جرم حتی در خوشه‌های ستاره‌ای دیگر نیز به همین صورت تکامل میابند. با همین روش می‌توانید اختلاف سن بین خوشه‌های مختلف ستاره‌ای را با استفاده از نمودار HR با یکدیگر مقایسه کنید.

به کمک این روش می‌توانید بگویید شکل ۱۲-الف یک خوشه جوان را نشان می‌دهد(دارای ستاره‌های O و B در رشته اصلی است و می‌دانیم که این ستاره‌ها به سرعت به ابر غول‌های سرخ تکامل پیدا می‌کنند.) و شکل ۱۲-ت یک خوشه قدیمی را نشان می‌دهد (تقریبا فقط ستاره‌هایی از دسته M و K در رشته اصلی دارد و بسیاری از آن‌ها در مرحله غول قرمز هستند).

اکنون می‌توانیم از خودمان بپرسیم پس موقعیت خورشید در نمودار هرتسپرونگ راسل چه خواهد بود؟

خورشید ستاره ای است با دمای سطحی ۵۸۷۰ درجه کلوین و به همین دلیل زرد به نظر می‌رسد. این ویژگی با کلاس G۲ در محور x های نمودار مطابقت دارد. خورشید در مرحله ایست که در هسته‌ی آن هیدروژن به هلیم تبدیل می‌شود . مانند بسیاری از ستاره‌های دیگر همچنان در رشته اصلی و در کلاس ۵ لومینوسیتی یا درخشش قرار دارد.



شکل ۱۳: تکامل ستاره‌ها وابسته به جرم آن‌ها است

مرگ ستاره ای

با توجه به شکل ۱۳پایان عمر یک ستاره کاملا به جرم آن بستگی دارد.

در یک نقطه خاص در روند تکامل زندگی ستارگان، ستارگان بسیار پر جرم تر از نمودار HR ناپدید می‌شوند. در حالی که ستارگان کم جرم به کوتوله سفید تبدیل می‌شوند، این ستارگان عظیم زندگی خود را به عنوان یکی از خشن ترین و مهیب ترین پدیده‌های جهان به پایان می‌رسانند: ابرنواخترها.

بقایای این نوع پدیده‌ها اجرامی خواهند بود که هیچگونه حرارتی از خود نشر نمی‌کنند (ستاره‌های پالسار یا سیاه چاله‌ها) بنابراین در نمودار HR قابل دیدن نیستند.

ابرنواختر چیست؟

مرگ یک ستاره بسیار عظیم است که در رشته اصلی هیدروژن را تبدیل به هلیم کرده و سپس به سمت تولید کربن و به ترتیب عناصر سنگین در را در پیش گرفته و نهایتا به آهن رسیده. ادامه فرایند از اهن به بعد ممکن نیست زیرا در تمام فرایند موادهای قبلی انرژی آزاد می‌شد ولی برای سوختن آهن باید انرژی به جای آزاد شدن، مصرف بشود.

همجوشی عناصر مختلف تا زمان پایان یافتن منبع آن عنصر ادامه میابد. این همجوشی به بیرون از هسته پیش می‌رود و به مرور زمان ستاره مانند یک پیاز با عناصر مختلف لایه بندی می‌شود.(به شک۱۴-ب). هرچه به هسته نزدیک بشویم عناصر سنگین و سنگین تر می‌شوند.

یک ستاره با ۲۰ برابر جرم خورشید مراحل زیر را در زندگی خود دارد:

۱۰ ملیون سال هیدروژن در هسته خود می‌سوزاند.

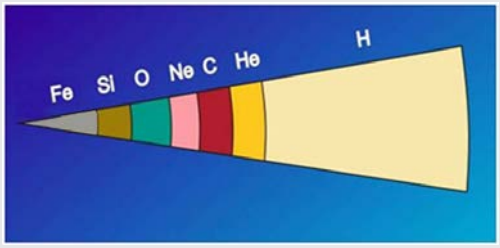
۳۰۰ سال کربن می‌سوزاند.

۲ روز هم زمان برای مصرف سیلیکون دارد که در این زمان احتمال انفجار ابرنواختر بسیار زیاد است

وقتی ستاره سرانجام به هسته‌ی آهنی می‌رسد، فعالیت‌های هسته‌ای متوقف می‌شود و ادامه واکنش‌های هسته‌ای امکان‌پذیر نیست. بدون وجود فشار انرژی رو به بیرون ناشی از فرایندهای هسته‌ای، فروپاشی ستاره اجتناب ناپذیر است، بدون اینکه احتمال فعالیت هسته‌ای دیگری باشد.

هسته‌های اتم‌ها و الکترون‌ها در این فرایند بسیار به هم فشار آورده و نوترون‌ها را تشکیل می‌دهند و قسمت مرکزی هسته به یک ستاره نوترونی تبدیل می‌شود.

شکل ۱۴ـ الف: باقی‌مانده ابرنواختر



شکل ۱۴-ب: لایه‌های یک ستاره قبل از وقوع ابرنواختر

ستارگان نوترونی به قدری متراکم هستند که یک قاشق چای‌خوری از آن به اندازه تمام ساختمان‌های یک شهر بزرگ وزن دارد.

زمانی که نوترون‌ها به هم فشرده می‌شوند دیگر هیچ جایی برای انقباض بیش‌تر وجود ندارد. ذراتی از لایه‌های بیرونی ستاره که با سرعت حدود یک چهارم سرعت نور به سمت هسته می‌آیند ناگهان با همان سرعت به ستاره نوترونی تشکیل شده در مرکز برخورد می‌کنند و ناگهان همان جا متوقف می‌شوند. این امر باعث می‌شود که آن‌ها مانند یک موج شوک مانند به عقب برگردند و درنتیجه یکی از پرانرژی ترین فرایندهای شناخته شده در جهان یعنی انفجار یک ستاره (شکل ۱۴-الف) را تشکیل بدهند.

در طی این بازگشت انرژی‌ها به حدی زیاد هستند که عناصر سنگین تر از آهن در آن زمان ایجاد می‌شود (مانند طلا و سرب و اورانیوم و ...)

این عناصر که با شدت در انفجار بوجود امده اند به همراه تمام مواد دیگر به بیرون از ستاره می‌آیند. در مرکز این مواد رها شده یک ستاره نوترونی با سرعت زیاد در حال چرخش است.

و یا اگر ستاره اصلی به اندازه کافی بزرگ باشد اکنون یک سیاه‌چاله تشکیل شده است.

فعالیت ۵: شبیه سازی یک انفجار ابرنواختر

هنگامی که یک ستاره درحالت ابرنواختر منفجر می‌شود، اتم‌های نوری در لایه‌های بیرونی ستاره به سمت عناصر

سنگین تر در قسمت مرکزی ستاره فرومی‌روند و در نهایت پس از رسیدن به هسته‌ی مرکزی جامد ستاره، با جهشی بسیار بزرگ از ستاره دور می‌شوند.

شکل ۱۵:توپ تنیس و بسکتبال را همزمان رها کنید.

یک مدل بسیار ساده از این فرایند را می‌توان با استفاده از یک توپ بسکتبال و یک توپ تنیس مشاهده کرد. با انداختن آن‌ها روی یک کف سخت مانند کف اتاق می‌توان این فرایند را شبیه سازی کرد (مانند شکل ۱۵ توپ تنیس را روی توپ بسکتبال بگیرید و همزمان رها کنید)

در این آزمایش کف زمین هسته‌ی ستاره، توپ بسکتبال اتمی که از هسته به عقب رانده می‌شود و توپ تنیس یک اتم نور است.

برای ارائه این ازمایش دو توپ را روی هم قرار بدهید و در بالاترین ارتفاع ممکن در دستتان بگیرید و هم زمان رها کنید. ممکن از فکر کنید که توپ‌ها با همان ارتفاع پرتاب به بالا برمی‌گردند یا به دلیل اصطکاک سطح از انرژی آن‌ها کم می‌شود ولی میبینید که نتیجه این ازمایش بسیار تعجب اور است.

وقتی دو توپ را رها می‌کنید، تقریباً همزمان به زمین می‌رسند. توپ بزرگ تقریباً با همان سرعتی که هنگام رسیدن به کف داشت، به عقب برمی‌گردد. درآن لحظه با توپ تنیس کوچکی که با همان سرعت توپ بسکتبال در حال سقوط است برخورد می‌کند. توپ بسکتبال آن را با سرعت بالایی پرتاب می‌کند و بسیار بالاتر از ارتفاعی که توپ‌ها از آن رها شده اند، می‌رسد. اگر این آزمایش را با استفاده از تعداد زیادی توپ حتی سبک ترتکرار کنید، سرعت بازگشت آن‌ها فوق العاده خواهد بود.

در هنگام آزمایش توپ تنیس به دو برابر ارتفاعی که توپ‌ها از آن رها شده اند میرسد، مراقب باشید اگر در خانه این آزمایش را انجام می‌دهید چیزی را نشکنید.

این آزمایش را می‌توان در کلاس یا محیط های دیگر نیز انجام داد اما ترجیحاً باید در بیرون از منزل انجام بشود. می‌توان توپ‌ها را از یک پنجره نیز رها کرد ولی در این صورت مطمئن نخواهیم بود که توپ‌ها دقیقا عمودی خواهند افتاد و توپ‌ها می‌توانند با سرعت بسیار زیاد در جهت غیر قابل پیش بینی بجهند.

در بعضی اسباب‌بازی فروشی‌ها یا موزه‌های علمی نوعی وسیله وجود دارد که بر مبنای همین قائده کار می‌کند. این وسیله از چهار توپ پلاستیکی کوچه با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است که توسط یک محور به هم متصل‌اند. توپ‌های کوچک‌تر پرت می‌شوند و پس از برخورد با زمین دوباره به حالت اول خود برمی‌گردند.

ستاره نوترونی چیست؟

یک ستاره نوترونی بقایای ستاره‌ای بسیار عظیم است که در هم فروریخته و لایه های بیرونی آن را در اثر انفجار ابرنواختر دور شده است. ستارگان نوترونی معمولاً از چند ده کیلومتر بزرگتر نیستند. همانطور که از نام آن‌ها پیداست، از نوترون‌هایی تشکیل شده اند که با یک چگالی باورنکردنی در کنار هم جمع شده اند به طوری که یک انگشت کوچک از این ماده میلیون‌ها تن وزن دارد.

اگر بقایای ابرنواختری بین ۱٫۴۴ تا ۸ برابر خورشید باشد یک ستاره نوترونی شکل می‌گیرد.

ستاره تپنده یا پالسار چیست؟

ستاره پالسار یک ستاره نوترونیست که با سرعت بسیار زیاد درحال چرخش است (شکل ۱۶).

هنگامی که یک ستاره عظیم متلاشی می‌شود، لایه‌های بیرونی به سمت هسته سقوط می‌کنند و به دلیل حفظ حرکت زاویه‌ای، شروع به چرخش با سرعت بیشتر می‌کند. این حرکت شبیه حرکت یک اسکیت باز است هنگامی که بازوهای خود را به سمت خود جمع کرده و با سرعت بسیار زیاد به دور خودش می چرخد.

میدان مغناطیسی ستاره در راستای محور خود، تابش سینکروترون الکترومغناطیسی قوی ایجاد می‌کند. اما از آن جایی که محور میدان مغناطیسی معمولا با محور چرخش مطابقت ندارد (مانند زمین)، ستاره نوترونی در حال چرخش مانند یک فانوس دریایی غول پیکر عمل می‌کند. اگر زمین در جایی از مسیر انتشار ستاره پالسار قرار بگیرد ما پالس آن را با یک تناوب منظم می‌بینیم.

در سال ۱۹۶۷، بِل و هویش، اولین ستاره پالسار را کشف

کردند. سیگنال پالس از نقطه‌ای از فضا به وجود آمد و دریافت شد که در نور مرئی هیچ چیزی در آن مشاهده نشده است. تکرار سریع پالس بسیار چشمگیر بود، چندین بار در ثانیه با دقت شگفت انگیز.

شکل ۱۶: یک ستاره نوترونی در حال چرخش

در ابتدا تصور می‌شد که این پالس‌ها سیگنال‌هایی هستند که از طرف فرازمینی‌ها برای ما ارسال شده‌اند. سپس منابع رادیویی بسیار تکان‌دهنده دیگری مانند مرکز سحابی خرچنگ کشف شد. دانشمندان می‌دانستند که این سحابی توسط یک ابرنواختر بوجود آمده است، سرانجام توانستند منبع همه این پالس‌ها را توجیه کنند.

پالسار PSR B۱۹۳۷ +۲۱ یکی از سریع‌ترین پالسارهای شناخته‌شده است که حدوداً بیش از ۶۰۰ بار در ثانیه به دور خودش می‌چرخد. قطری حدود ۵ کیلومتر دارد و اگر ۱۰ درصد سریع‌تر بچرخد، توسط نیروی گریز از مرکز درهم شکسته می‌شود.

هویش در سال ۱۹۷۴ به این خاطر برنده ی جایزه نوبل شد.

یک ستاره پالسار خیلی جالب دیگر یک سیستم باینری به نام PSR ۱۹۱۳ + ۱۶ در صورت فلکی عقاب است. حرکت مداری ستارگان در میدان گرانشی بسیار شدید و تغییرات کوچک در انرژی دریافتی باعث دست‌یابی به این کشف شد. راسل‌هالس و جوزف تیلور این سیستم را مورد مطالعه قرار داده و پیش‌بینی‌های بسیاری از نظریه نسبیت از جمله انتشار امواج گرانشی را تأیید کرداند. این دو آمریکایی در سال ۱۹۹۳ به دلیل تحقیقات خود موفق به دریافت جایزه نوبل شدند.

فعالیت ۶: شبیه سازی ستاره پالسار

ستاره پالسار یک ستاره نوترونی بسیار سنگین است که با سرعت زیاد به دور خودش می‌چرخد. میدان مغناطیسی ستاره در راستای محور خود، تابش الکترومغناطیسی قوی ایجاد می‌کند. اما از آن‌جایی که محور میدان مغناطیسی معمولا با محور چرخش مطابقت ندارد(مانند زمین)، ستاره نوترونی در حال چرخش مانند یک فانوس دریایی غول پیکر عمل می‌کند. اگر زمین در جایی از مسیر انتشار ستاره پالسار قرار بگیرد ما پالس آن را با یک تناوب منظم در ثانیه می‌بینیم.

می‌توانیم ستاره پالسار را با یک چراغ قوه شبیه سازی کنیم (شکل۱۷ - الف). برای این کار چراغ قوه را روشن کرده و از یک بند آویزان می‌کنیم. سپس مانند شکل ۱۷ شروع به چرخاندن آن می‌کنیم.هر زمان که نور چراغ به ما برسد ما آن را مانند یک پالس مشاهده می‌کنیم.

اگر چراغ قوه را کمی خم کنید به طوری که در راستای شما نباشد دیگر نمی‌توانید هیچ نوری از آن دریافت کنید. پس برای دریافت پالس‌های یک ستاره پالسار باید دقیقاً در مسیر آن قرار داشته باشیم.

شکل ۱۷الف: به هم بستن قطعات،
شکل ۱۷ب: چرخیدن نور،
شکل ۱۷ پ: مشاهده پرتونور به صورت متناوب در هنگام چرخش

سیاه چاله چیست؟

اگر یک سنگ را به بالا پرتاب کنیم، جاذبه کم کم سرعت آن را کم می‌کند تا اینکه دوباره آن را به زمین برگرداند. اگر سنگ را با سرعت اولیه بیش‌تری پرتاب کنیم سنگ مدت زمان بیش‌تری را رو به بالا طی می‌کند و اگر سنگ را با سرعت ۱۱ کیلومتر بر ثانیه یعنی سرعت گریز از زمین به بالا پرتاب کنیم سنگ دیگر به زمین باز نخواهدگشت(با فرض نبود اصطکاک هوا).

اگر زمین با حفظ تمام جرمش در خود فروبریزد و چگال و چگال تر شود، سرعت قرار از آن افزایش پیدا می‌کند زیرا ما به مرکز زمین نزدیک تر شده ایم. اگر زمین به اندازه شعاع ۰/۸سانتی متر در خود فروریخته و فشرده بشود سرعت گریز آن از سرعت نور نیز بیش‌تر می‌شود. از آن‌جا که سرعت هیچ چیز

نمی‌تواند از سرعت نور بیشتر بشود، هیچ چیز قادر به فرار از زمین نخواهد بود و زمین به یک ساهچاله‌ای به اندازه ی یک تیله تبدیل می‌شود..

از لحاظ تئوری، سیاه‌چاله‌ها می‌توانند جرم بسیار کمی داشته باشند. در واقع، تنها یک مکانیزم شناخته شده وجود دارد که می‌تواند جرم را با تراکم بالا در یک نقطه متمرکز کند که آن را فروپاشی گرانشی می‌نامیم.

برای اینکه سقوط گرانشی اتفاق بیفتد، جرم بسیار زیادی مورد نیاز است. می‌دانیم که ستاره‌های نوترونی بقایای ستاره‌هایی با جرم ۱/۴۴ تا حدود ۸ برابر جرم خورشیدی هستند.

با این حال، اگر ستاره عظیم‌تر و سنگین‌تر باشد، جاذبه آن آن‌قدر قوی است که فضای داخلی آن ممکن است تا زمانی که به یک سیاه‌چاله تبدیل شود، به ریزش ادامه دهد.

بنابراین، این نوع سیاه‌چاله دارای جرم چندین برابر بزرگ‌تر از خورشید ما خواهد بود. یک تیله کوچک ساخته شده از این ماده متراکم به اندازه کل کره زمین وزن خواهد داشت.

اگرچه ما نمی‌توانیم مستقیماً آن‌ها را مشاهده کنیم، اما ما چندین مورد محتمل برای سیاه‌چاله بودن را از طریق انتشار مواد با سرعت بالا در اطراف سیاه‌چاله کشف کرده‌ایم. به عنوان مثال، درست در مرکز کهکشان ما چیزی مشاهده نمی‌شود، اما می‌توانیم حلقه‌ای از گاز که با سرعتی باورنکردنی در حال چرخش به دور کهکشان است، مشاهده کنیم.

تنها توضیح احتمالی این است که در مرکز این حلقه جرم نامرئی بزرگی وجود دارد که وزن آن به اندازه سه یا چهار میلیون برابر خورشید است.

این جرم تنها می‌تواند یک سیاه‌چاله باشد، با شعاع شوارتزیلد کمی بزرگ‌تر از خورشید. این نوع سیاه‌چاله‌ها که در مرکز بسیاری از کهکشان‌ها واقع شده‌اند، سیاه‌چاله‌های فوق سنگین نامیده می‌شوند.

فعالیت ۷: شبیه سازی انحنای فضا و سیاه‌چاله

شبیه سازی انحنای دو بعدی فضا ایجاد شده توسط یک سیاه‌چاله با استفاده از یک تکه ورق الیاف الاستیک به نام lycra یا یک پارچه یا تور بسیار آسان است. (شکل۱۸)

شکل ۱۸: مسیر توپ تنیس یک خط مستقیم بود اما منحنی شده است.

ابتدا پارچه را مانند تصویر به کمک هم بگیرید. سپس در قسمتی نزدیک به لبه پارچه یک توپ یا یک سنگ کوچک را روی پارچه سر بدهید. توپ یا سنگ یا تیله مانند یک فوتون نور است. مسیر حرکت آن را در این حالت ببینید و حالا یک توپ سنگین تر را روی مرکز پارچه بگذارید، سپس دوباره توپ کوچک را به همان حالت قبل رها کنید. اکنون به مسیر حرکت منحنی آن دقت کنید. این شبیه سازی مسیر پرتوی نوری در یک فضای خمیده ناشی از وجود یک توده گرانشی است.

میزان منحنی پرتوی نور بستگی به این دارد که پرتوی نور چقدر به منبع گرانش نزدیک می‌شود و این منبع چقدر سنگین است.

زاویه انحراف رابطه مستقیم با جرم و رابطه معکوس با فاصله دارد. اگر کشیدگی اطراف پارچه را کمی آزاد و شل‌تر کنیم، یک حفره گرانشی عمیق تر شبیه‌سازی می‌شود، و این باعث می‌شود تا توپ کوچک‌تر از آن سخت تر خارج شود این یک مدل سیاه‌چاله است.

کتابشناسی:

• Broman, L., Estalella, R. Ros. R.M, Experimentos en Astronomía. Editorial Alhambra Longman, Madrid, 1993.

• Dale, A.O., Carroll, B.W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.

• Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid, 2008.

• Pasachoff, J.M, Astronomy: From the Earth to the Universe, 6th Edition, Cengage, USA, 2002.

• Rybicki, G.B., Lightman, A.P, Radiative Processes in Astrophysics, John Wiley & Sons, EUA, 1979.

• Zeilik, M, Astronomy-The Evolving Universe,8th Ed.,John Wiley & Sons, USA, 1997.

ستاره شناسی فراتر از دید مرئی

بئاتریس گارسیا، ریکاردو مونرو، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه ملی مهندسی مندوزا، آرژانتین)، کالج ری تامر (مادرید، اسپانیا)

خلاصه

اجرام آسمانی تابش‌هایی در بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیس دارند اما چشم انسان تنها قادر به مشاهده بخش کوچکی از آن، یعنی بخش مرئی است.

روش‌هایی برای اثبات وجود سایر بخش‌های طیف الکترومغناطیس وجود دارد که البته با آزمایش‌های ساده نمی‌توان آن‌ها را آشکار ساخت. در این بخش شما با مشاهداتی فراتر از آنچه که می‌توان با یک تلسکوپ دید آشنا می‌شوید و می‌توانید از آن‌ها در مدارس ابتدایی و دبیرستان استفاده نمایید.

اهداف

هدف این فعالیت مشاهده‌ی پدیده‌هایی فراتر از آنچه که می‌توان با یک تلسکوپ آماتوری رصد کرد می‌باشد. مانند :

- اجرام آسمانی که تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند و چشم ما قادر به شناسایی آن‌ها نیست. ستاره شناسان به سایر بخش‌های طیف علاقمند هستند زیرا امواج مرئی به تنهایی نمی‌توانند تصویر کاملی از جهان هستی خلق کنند.
- تابش مرئی در ناحیه امواج رادیویی، فرابنفش، ریزموج و اشعه‌ی x

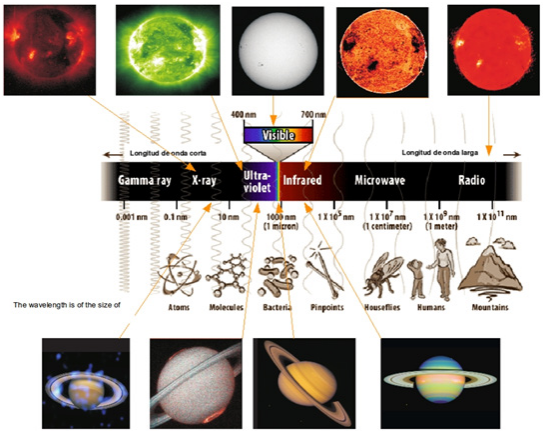
طیف الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیس شامل مجموعه‌ای گسترده از طول موج‌ها یا فرکانس‌ها است که می‌توان منبع تولیدشان را دسته‌بندی نمود، البته این دسته‌بندی مرز دقیقی ندارد. مجموعه‌ی این طول موج‌ها با نام طیف الکترومغناطیس شناخته می‌شود.

شکل ۱ بخش‌های مختلف طیف را نشان می‌دهد. این شکل اندازه‌ی بین قله‌های موج (طول موج) و برخی از اجرام هم اندازه‌ی آن‌ها مانند: اتم، مگس، کوه و... را نشان می‌دهد تا درک درستی از اندازه‌ی طول موج‌ها بدست آید.

در همین شکل تصویرهایی از خورشید و سیاره‌ی زحل در سایر طیف‌ها که چشم ما قادر به شناسایی آن‌ها نیست، آورده شده‌است. این تصاویر با استفاده از آشکارسازهای حساس به این طول‌موج‌ها ثبت شده‌اند.

در کیهان موادی مانند ابرهای بین ستاره‌ای با دمایی بسیار کم‌تر از دمای ستارگان وجود دارد. این ابرها امواج مرئی تابش نمی‌کنند و آن‌ها را با استفاده از طول موج‌های بلند فروسرخ، ریزموج ها و امواج رادیویی می‌توان شناسایی نمود. مشاهده‌ی جهان هستی در تمام بخش‌های طیف الکترومغناطیس که ستاره شناسان آن را رصد در طول موج‌های ترکیبی می‌نامند تصویر بهتری از ساختار، دما، انرژی و مدل حقیقی تکامل جهان هستی به ما ارائه می‌کند.



شکل۱: طیف الکترومغناطیس به همراه اجسامی به اندازه‌ی طول موج‌های آن. خورشید (بالا) و زحل (پایین) در طول موج‌های مختلف (رنگ ها شبیه سازی شده‌است)

تصویر۲: تصویر مرکز کهکشان راه شیری ما در طول موج‌های مختلف

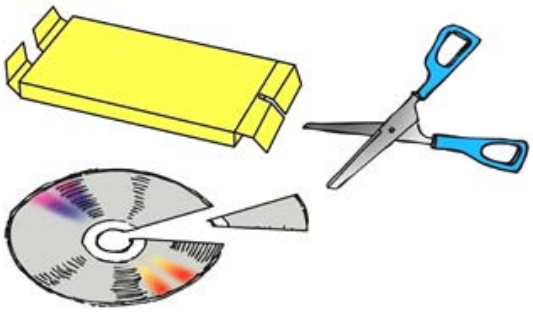
فعالیت ۲: ساخت طیف سنج

نور یک لامپ سفید رشته‌ای از همه‌ی رنگ‌ها تشکیل شده‌است در حالی که نور لامپ‌های گازی (لامپ‌های فلورسنت، کم مصرف و چراغ‌های خیابانی) تنها از برخی رنگ‌ها تشکیل شده‌است. اگر رنگ‌های نور را تجزیه کنیم یک طیف بدست می‌آید که برای هر گاز شامل مجموعه‌ای از خطوط رنگی خواهد بود. هر گاز یک طیف نشری مخصوص

به خود را دارد که بارکد (نشانگر) مواد تشکیل دهنده‌ی آن گاز است. اگر با یک طیف سنج به نور یک کهکشان دوردست بنگریم شاهد جا به جایی خطوط نشانگر هیدورژن و سایر گازها به سمت قرمز (که با نام سرخ‌گرایی شناخته می‌شود) خواهیم بود. هرچه میزان این جابه جایی بیشترباشد کهکشان در فاصله‌ی دورتری خواهد بود.

به کمک یک قیچی تیز قسمتی از یک CD یا DVD (شکل ۱-۳) بدون برچسب را جدا کنید. اگر از DVD استفاده می‌کنید لایه‌ی بالایی را از قسمت زیرین (ممکن است به قیچی یا چاقو نیاز داشته باشید) جدا کنید تا صفحه انکسار شما آماده شود. اگر از CD استفاده می‌کنید تنها یک لایه ی پلاستیکی وجود دارد که به دقت باید آن را از لایه ی فلزی جدا کنید. برای این کار می‌توانید از تیغ موکت‌بُر یا نوار چسب استفاده کنید.

یک پرینت از نمونه‌ی شکل شماره ۴ تهیه نمایید. اگر در ابعاد A۳ تهیه شود، دقت کار شما افزایش می‌یابد. نمونه را برش دهید، قسمت‌های سفید را نیز ببرید. سپس قسمت‌های مختلف را رو به داخل تا بزنید و یک شکاف نازک با توجه به مقیاس ایجاد نمایید. نیاز به بریدن قسمت درجه‌بندی شده نیست. حالا جعبه را به نحوی چسب بزنید که قسمت مشکی در داخل قرار بگیرد. در سوارخی که خم شده تکه‌ی CD یا DVD را بچسبانید.



شکل ۱-۳: وسایل مورد نیاز: DVD، قیچی، کاغذ جعبه

تصویر۲-۳: به کمک یک چسب، لایه فلزی روی CD را بردارید.

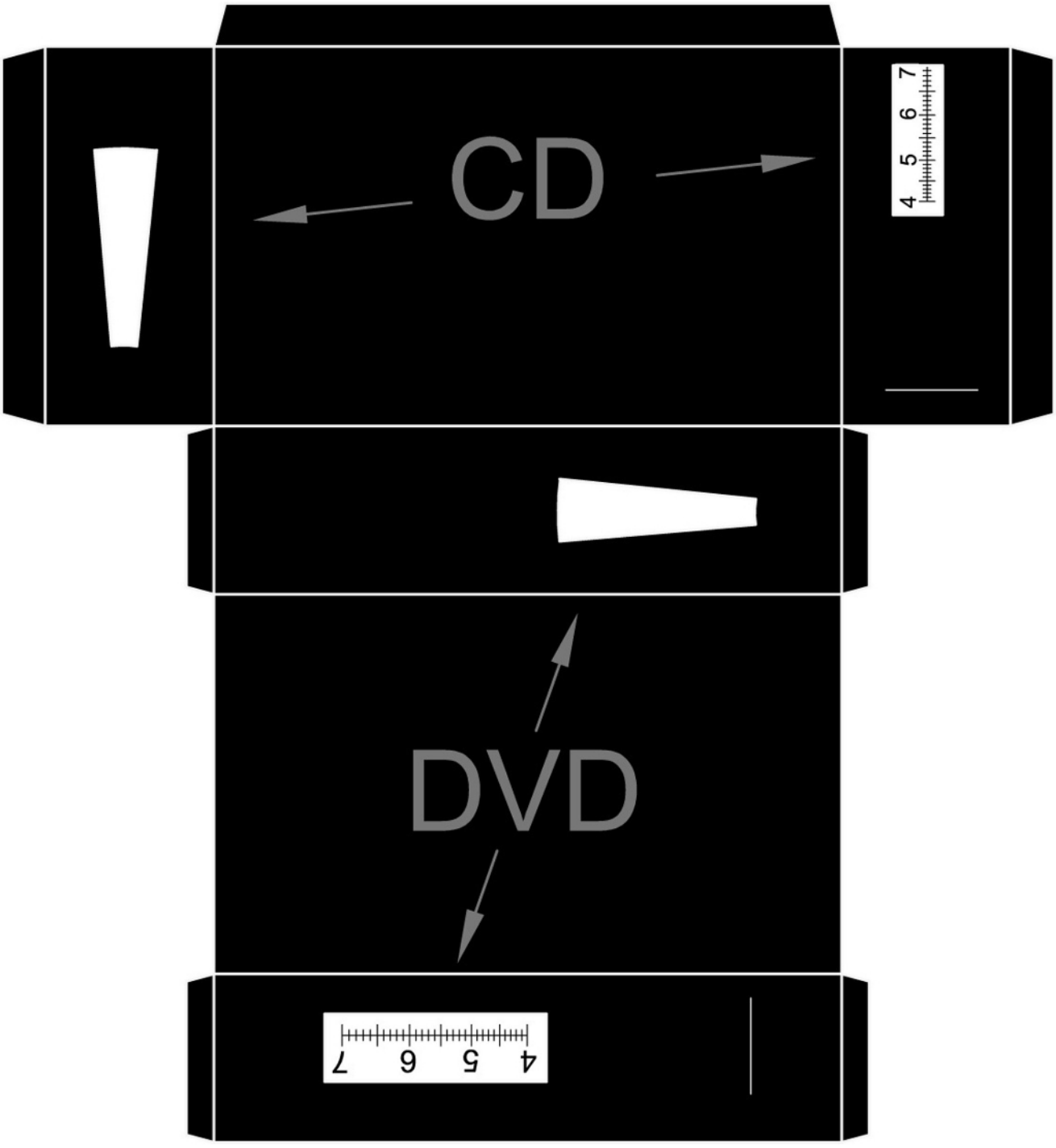
از محل DVD نگاه کنید و شکاف جعبه را به سمت یک لامپ کم‌مصرف و یا لامپ فلورسنت قرار دهید (شکل ۱۱). حال شما باید خطوط نشری-خطی گاز درون لامپ را بر روی خطکش ببینید. اگر موفق به دیدن آن نشدید شکاف را حرکت دهید تا خطوط پیدا شوند. مقیاس خطکش بر اساس ۱۰۰ نانومتر است؛ بنابراین عدد ۵ برابر با ۵۰۰ نانومتر است. هرچه شکاف باریک‌تر باشد طول موجی که شما اندازه گیری می‌کنید از دقت بیشتری برخوردار است.

تصویر۴: نگاه به لامپ فلورسنت

شما همچنین برای این کار می‌توانید از مقوا استفاده کنید. اگر این کار را انجام دادید، قسمت خطکش را برش داده و در محل مورد نظر بچسبانید.

می‌توانید ازاین ابزار برای تماشای لامپ‌های خیابانی مانند لامپ‌های نارنجی (سدیم) و سفید (جیوه) نیز استفاده کنید. لامپ‌های رشته‌ای قدیمی طیفی پیوسته دارند.

دانش‌آموزان جوان‌تر می‌توانند پشت به خورشید بایستند و با استفاده از پخش کننده‌ی آب نور را تجزیه کنند و یک رنگین کمان بسازند (شکل ۶).



شکل ۵: طرح طیف سنج

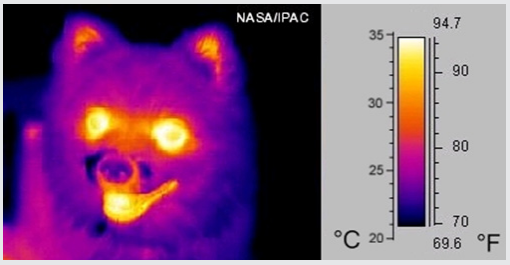
تصویر۶: دانش‌آموزان می‌توانند با تجزیه نور رنگین کمان بسازند.

فروسرخ

بخش فروسرخ طیف الکترومغناطیس توسط ویلیام هرشل (کاشف سیاره ی اورانوس) در سال ۱۸۰۰ با استفاده از منشور و دماسنج کشف شد. او طیف را با استفاده از عبور نور خورشید از یک منشور ایجاد کرد و چند دماسنج را در جاهای مختلف آن قرار داد؛ یک دماسنج در ناحیه آبی، یک دماسنج دیگر در ناحیه قرمز (هر دو رنگ با چشم قابل شناسایی بود) و سومین دماسنج درست پس از ناحیه‌ی قرمز. با استفاده از دماسنج چهارم دمای محیط را اندازه گیری نمود و دریافت دماسنجی که پایین‌تر از محدوده‌ی رنگ قرمز (امروزه با نام فرو سرخ می‌شناسیم) قرار دارد دمای بیشتری نسبت به محیط ثبت کرده‌است.

هرشل آزمایش‌های گوناگون دیگری با "پرتوهای گرمایی" (آنگونه که خود می‌نامید) که در ناحیه بعد از بخش قرمز طیف بودند انجام داد و دریافت که این پرتوها مانند نور مرئی بازتاب، دچار شکست، جذب و منتقل می‌شوند. این "پرتوهای گرمایی" بعدها امواج فروسرخ یا تابش فروسرخ نامیده شدند. این اکتشافات توسط دانشمندان دیگر ادامه یافت و در چندین تکنولوژی مورد استفاده قرار گرفت.

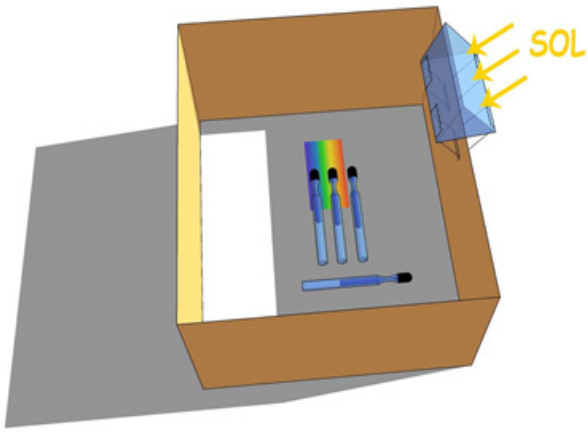
اجسام با دمای کم تابشی در ناحیه‌ی طیف مرئی از خود گسیل نمی‌کنند و تنها در بخش‌هایی از طیف با طول موج بلندتر تابش دارند و انرژی که آزاد می‌کنند کم‌تر است. برای مثال گرمای منتشرشده از بدن ما و حیوانات در ناحیه فروسرخ است که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیست. هر جسمی در دمایی معین امواج فروسرخ از خود تابش می‌کند (شکل۶ و ۷). عینک‌های دید در شب به فرد اجازه‌ی دیدن این امواج را می‌دهد.



تصویر۷: تصویر فرو سرخ. ما نواحی گرم تر تا سردتر را تشخیص می‌دهیم

فعالیت ۳: آزمایش هرشل در محدوده‌ی فروسرخ

هدف از انجام این فعالیت تکرار آزمایشی است که ستاره شناس مشهور ویلیام هرشل در سال ۱۸۰۰ انجام داد و منجر به کشف بخشی از تابش الکترومغناطیس به جز طیف نور مرئی شد. برای انجام این آزمایش به یک منشور شیشه‌ای، چهار عدد دماسنج، ماژیک سیاه، قیچی، چسب، جعبه کارتنی و یک برگه‌ی سفید نیاز دارید. دور حباب (مخزن) دماسنج را چسب زده و با ماژیک سیاه آن را رنگ کنید تا گرما را بهتر جذب نماید.

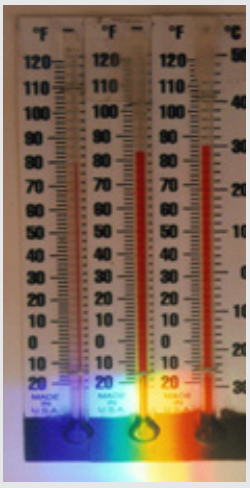


شکل۸؛ ابزارهای هرشل: سه دماسنج که در طیف ایجاد شده قرار دارند دمای بیشتری نسبت به محیط نشان می‌دهند.

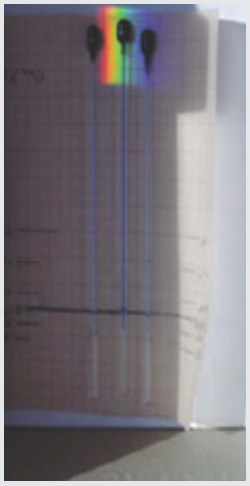
آزمایش می‌بایست در بیرون از منزل و در هوای آفتابی صورت بگیرد. در صورت وزش باد، می‌توان آزمایش را از پشت پنجره‌ای که نور خورشید مستقیم به آن می‌تابد انجام داد. منشور را با دقت در لبه‌ی بالایی جعبه قرار دهید به طوری که در راستای نور خورشید باشد. یک کاغذ سفید در کف جعبه قرار دهید. دقت کنید که وسایل درون جعبه باید در سایه قرار بگیرند (شکل ۸ و ۹). منشور را به دقت چرخانده تا عریض‌ترین طیف ممکن در کف جعبه ایجاد شود.

پس از محکم کردن منشور در محل مورد نظر با چسب سه دماسنج را در نور طیف قرار دهید به گونه‌ای که حباب هر کدام در یک رنگ باشد؛ یک دماسنج در ناحیه‌ی آبی، یک دماسنج در ناحیه‌ی زرد و سومین دماسنج کمی بعد از ناحیه‌ی قرمز. به نحوی که ناحیه ی مدرج قابل خواندن باشد و نیازی به تکان دادن دماسنج در حین کار نباشد (شکل ۱-۱۵ تا ۳-۱۶)

تصویر ۱-۹: قرار دادن سه دماسنج با حباب‌های مشکی در نواحی مختلف طیف در سایه



تصویر۳-۹: اندازه‌گیری دمای دماسنج‌ها پس از سه دقیقه



تصویر۲-۹: قرار گیری دماسنج‌ها در ناحیه آبی، زرد و کمی بعد از قرمز

پس از پنج دقیقه دماسنج‌ها به دمای نهایی خود می‌رسند. دمای دماسنج‌های هر ناحیه و محیط باید در هر دقیقه در جدول ثبت شوند (جدول ۱). دقت کنید که دماسنج‌ها ثابت مانده و چیزی مانع رسیدن نور به آن‌ها نشود.

دمای دماسنجی که در ناحیه‌ی زرد قرار دارد می‌بایست بیشتر از دمای دماسنج ناحیه‌ی آبی باشد (شکل ۳-۱۶) و دماسنجی که در نزدیکی ناحیه قرمز قرار دارد دمای کمی بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین منطقی است که دماسنج بعد از ناحیه‌ی قرمز نوعی از تابش را از خورشید دریافت می‌کند که برای چشم ما قابل مشاهده نیست.

	دمای دماسنج در سایه	دمای دماسنج در ناحیه پس از قرمز	دمای دماسنج ناحیه زرد	دمای دماسنج ناحیه آبی
بعد از ۱ دقیقه				
بعد از ۲ دقیقه				
بعد از ۳ دقیقه				
بعد از ۴ دقیقه				
بعد از ۵ دقیقه				

جدول۱: جدول داده‌ها

فعالیت ۴: شناسایی تابش فروسرخ با تکنولوژی مدرن

اگر بخواهیم تابش فروسرخ را با ابزارهای مدرن شناسایی کنیم اولین چیزی که به ذهن خطور می‌کند دید در شب است که امکان مشاهده امواج فروسرخ منتشر شده از بدن را فراهم می‌کند. اما این وسیله به راحتی در دسترس همه‌ی افراد نیست. پس می‌بایست به دنبال ابزاری آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر بود. کنترل تلویزیون، ضبط صوت یا مایکروویو از تابش فرکوسرخ می‌کنند (از کنترل‌هایی که چراغ قرمز دارند استفاده نکنید). راه ساده‌ای برای مشاهده‌ی امواج غیرمرئی وجود دارد که آن‌ها را شناسایی کنیم؟

بدین منظور می‌بایست یک آشکارساز حساس به تابش فروسرخ داشته باشیم .CCD یک محصول مهم تکنولوژی است که موجب پیشرفت مطالعات نور در نجوم شده‌است (سرواژه‌ی Charged Coupled Device). این ابزار می‌تواند در یک محدوده‌ی زمانی فوتون‌ها را جمع آوری و ثبت کند و به کمک آن می‌توان اجرامی که نور تولید یا بازتاب می‌کنند را شناسایی کنیم. CCD به ناحیه‌ی قرمز حساس است و در برخی موارد کارآیی آن‌ها در نواحی نزدیک به فروسرخ بیشتر است. دوربین‌های مدرن و دوربین های فیلم‌برداری داری یک CCD برای تصویربرداری هستند. این موضوع امکان گرفتن عکس در شرایطی با نور کم را فراهم می‌کند. ساده‌ترین ابزاری که همه‌ی ما این روزها از آن استفاده می‌کنیم که یک دوربین با آشکارساز CCD است، تلفن همراه می‌باشد.

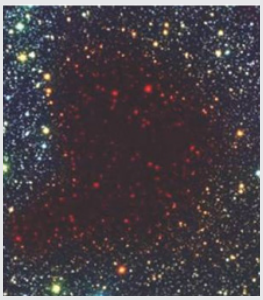
تصویر۲-۱۰: کنترل فعال با دوربین تلفن همراه

تصویر۱-۱۰: کنترل با چشم غیرمسلح

با چشم غیرمسلح به صورت مستقیم به کنترل نگاه کنید. هیچ تفاوتی بین حالت روشن و خاموش آن وجود ندارد (شکل ۱-۱۰). اما اگر با دوربین تلفن همراه خود از کنترل روشن عکس بگیرید شگفت‌زده خواهید شد! برای ارسال سیگنال از کنترل به تلویزیون یا سایر ابزارهای الکترونیکی از تابش فروسرخ استفاده می‌شود که چشم ما قادر به شناسایی آن نیست اما دوربین تلفن همراه می‌تواند آن را ثبت کند؛ البته رنگ نور ثبت شده در تصویر واقعی نیست.

فعالیت ۵: شناسایی نور فروسرخ یک لامپ

اغلب اجرام آسمانی امواج گوناگونی از خود منتشر می‌کنند. گرد وغبار یا گاز موجود میان آن‌ها و ما مانع از رسیدن برخی امواج به ما می‌شود. برای مثال غبار موجود در مرکز کهکشان راه شیری مانع از دیدن نور مرئی میلیون‌ها ستاره‌ی موجود در آن ناحیه می‌شود. با این حال غبار نسبت به نور فروسرخی که به ما می‌رسد شفاف است. این موضوع در مورد سایر ابرهای غباری تاریک کهکشان‌مان نیز صدق می‌کند.



شکل ۲-۱۱: همان تصویر در طول موج فروسرخ

تصویر۱-۱۱: ابر غباری در ناحیه نور مرئی

در لامپ های رشته‌ای پرنور عمده‌ی انرژی در محدوده‌ی نور مرئی و مقداری از آن در بخش فروسرخ منتشر می‌شود. امواج فروسرخ می‌توانند از اجرامی که نسبت به نور مرئی کدر هستند، عبور کنند.

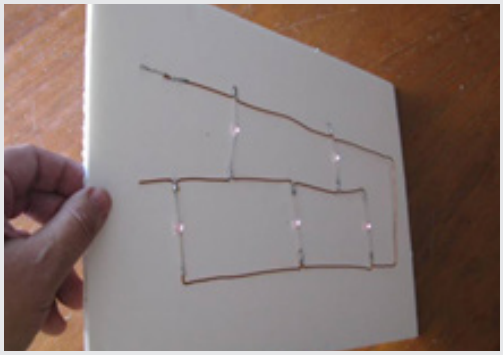
به یک چراغ قوه و پارچه‌ی نمدی (پشمی) نیاز دارید (تصویرهای ۱۲). این پارچه نور مرئی را از خود عبور نمی‌دهد. به یک اتاق تاریک رفته و چراغ قوه را روشن کنید؛ سپس با پارچه‌ی نمدی روی آن را به گونه‌ای بپوشانید که نور قابل مشاهده نباشد. اگر همچنان نور مشخص بود از یک یا دو لایه پارچه دیگر برای پوشاندن نور استفاده کنید البته توجه کنید که تنها در صورت لزوم از لایه‌های اضافی استفاده کنید زیرا ممکن است مانع تابش امواج فروسرخ نیز بشوید. اتاق را تا حد امکان تاریک نمایید. حال اگر با دوربین گوشی همراهی که نسبت به نور فروسرخ حساس است از چراغ قوه عکس بگیرید به خوبی می‌توان نور چراغ را تشخیص داد.

تصویر۱-۱۲ و ۲-۱۲: پارچه‌ی نمدی کاملا نور مرئی را مسدود می‌کند اما نسبت به تابش فروسرخ شفاف است.

فعالیت ۶: ساخت صورت فلکی با تابش فروسرخ

می‌توانید از مغازه‌ی لوازم الکترونیکی یا به صورت آنلاین لامپ‌های ال ای دی فروسرخ را که در کنترل تلویزیون، ضبط صوت و . . . کاربرد دارند تهیه کنید. این لامپ‌ها قیمت مناسبی دارند و با باتری‌های ۳ یا ۹ ولت یا یک منبع تغذیه DC کار می‌کنند. این لامپ‌ها به صورت موازی و با مقاومتی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ اُهم به یکدیگر متصل می‌شوند.

شما می‌توانید مدارهای کوچکی به کمک لامپ های LED برای صورت های فلکی مشهور آسمان مانند ذات الکرسی، خرس بزرگ، شکارچی (با توجه به آسمان نیم کره ای که در آن زندگی می‌کنید) بسازید و سپس به کمک دوربین گوشی همراه آن ها را در محدوده ی فروسرخ مشاهده نمایید.



تصویر۱-۱۳ و۲-۱۳: صورت فلکی ذات‌الکرسی که با لامپ‌های LED و به صورت موازی به هم وصل شده‌اند.

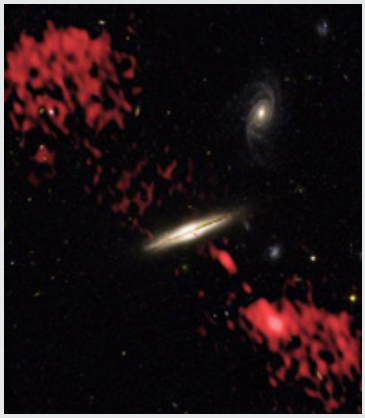
فعالیت ۷: ساخت صورت فلکی با کنترل تلویزیون

یک راه آسان‌تر نسبت به روش قبل برای ساخت صورت فلکی استفاده از کنترل‌های تلویزیون با تابش فروسرخ است. اگر با کمک یک دوربین عکاسی دیجیتال در یک محیط تاریک از کنترل‌ها عکس گرفته شود می‌توانید به سادگی صورت فلکی ساخته شده‌ی خود را ببینید.

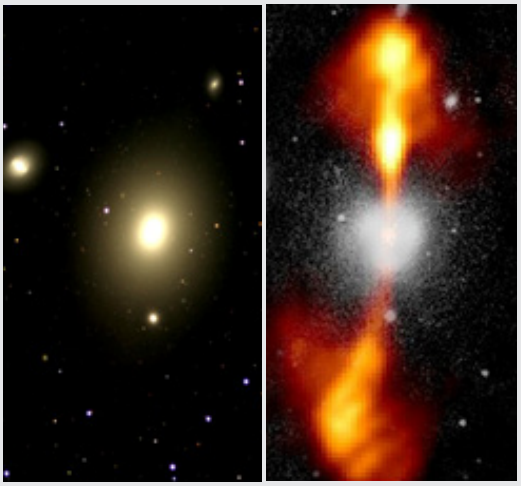
تصویر ۱-۱۴ و۲-۱۴: ساخت صورت فلکی صلیب جنوبی به کمک کنترل تلویزیون

انرژی الکترومغناطیس در محدوده‌ی رادیویی

امواج الکترومغناطیس با طول موج‌های چند متر تا چند کیلومتر با نام امواج رادیویی شناخته می‌شوند. این امواج که از کیهان به زمین می‌رسند در ایستگاه‌های رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کمک امواج رادیویی می‌توان به ریخت‌شناسی کیهان نیز پی برد که سایر طول موج‌ها این امکان را فراهم نمی‌کنند (تصاویر۱۵)



تصویر۱-۱۵: این کهکشان جت‌هایی از خود ساطع می‌کند که تنها در محدوده‌ی امواج رادیویی قابل مشاهده است. (رنگ قرمز غیرواقعی است)



تصویر۳-۱۵: همان کهکشان در محدوده‌ی رادیویی که داری چند جت از مواد است. (رنگ‌ها غیرواقعی است)

تصویر۲-۱۵: کهکشان NGC۴۲۶۱ در نور مرئی

جهان هستی میزبان منابع قوی امواج رادیویی مانند مرکز کهکشان راه شیری، ستاره‌های نوترونی چرخان و حتی برخی سیارات شبیه به سیاره هرمز (مشتری) می‌باشد.

فعالیت ۸: تولید امواج رادیویی

در باز و بسته کردن یک مدار الکتریکی مانند ایستگاه‌های رادیویی، امواج رادیویی وجود دارد. این امواج را می‌توان در رادیو با موج AM ثبت کنید و به امواج صوتی که نوع دیگری از امواج هستند تبدیل کرد. قدرت تابش این امواج رادیویی با

دورشدن از منبع کاهش می‌یابد. امواج رادیویی توانایی عبور از موانع و حتی دیوار نیز دارند.

برای انجام این آزمایش به دو قطعه سیم ۲۰ سانتی‌متری نیاز داریم. روکش پلاستیکی انتهایی دو طرف یکی از سیم‌ها را جدا می‌کنیم. نیمی از روکش پلاستیکی انتهایی سیم دوم را از یک سمت جدا کرده و ۱۰ سانتی‌متر از آن را با روکش باقی می‌گذاریم. باقی روکش سیم را جدا کرده و با سیم‌های بدون روکش یک توپ بسازید. سر دیگر سیم را به پایانه باتری ۹ ولتی وصل کنید. از یک مداد با دو سر انتهایی استفاده کنید؛ از گرافیت مداد به عنوان منبع تولید امواج رادیویی کمک بگیرید. از یک سو سر مداد را به سیمِ متصل به نوار بچسبانید و سر دیگر را به پایانه دوم باتری وصل کنید (تصویر ۱۶).

رادیو را روشن کرده و در موج AM (نه FM) قرار دهید. سپس با انتهای مداد به توپ سیمی ضربه زده و همزمان موج رادیو را عوض کنید تا جایی که صدای ضربه‌های توپ را بشنوید. می‌توان رادیو را دور کرد و یا موانعی مانند مقوا یا چوب در مسیر آن قرار داد. همچنین می‌توانید رادیو را به اتاق دیگری برده و آزمایش را تکرار کنید تا متوجه بشوید که صدایی می‌شنوید یا خیر. توجه داشته باشید که انرژی الکترومغناطیس ابتدا به انرژی الکتریکی و سپس به صدا تبدیل می‌شود.

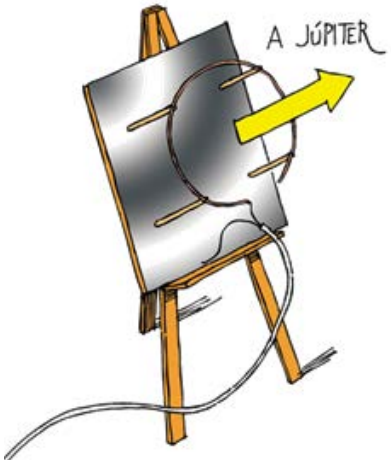
شکل ۱۶: ساخت امواج ارادیویی

فعالیت ۹: شنیدن صدای سیاره هرمز (مشتری)

سیاره‌ی هرمز امواج رادیویی در طول موج‌های مختلف از خود منتشر می‌کند. منبع این امواج هنوز به صورت دقیق مشخص نشده‌است اما احتمالا ناشی از میدان مغناطیسی آن و برهمکنش‌های این سیاره و قمر آیو باشد. این امواج در محدوده‌ی فرکانس ۱۸ تا ۲۲ مگاهرتز و حداکثر ۲۱ مگاهرتز منتشر می‌شوند. این مقدار در محدوده‌ی توانایی گیرنده‌های خانگی قرار دارد. برای دریافت این امواج به رادیویی با طول موج کوتاه با دامنه‌ی مناسب داشته باشید.

تابش امواج رادیویی سیاره هرمز پیوسته نیست. این سیاره دارای سه جت با فاصله تقریبا یکسان است که هر ده ساعت یک‌بار با سیاره هرمز می‌چرخند. گاهی اوقات این جت‌ها فعال و گاهی غیرفعال هستند. بنابراین برای دریافت این امواج کمی باید صبور باشید.

برای شنیدن صدای مشتری رادیویی به رادیویی با طول موج کوتاه نیاز دارید. پیچ تنظیم را میان ۱۸ تا ۲۲ مگاهرتز که نویز زمینه‌ای کمتری دارد تنظیم کنید و صبر کنید. صدای این تابش‌ها شبیه به صدای امواج اقیانوس یا باد است که فرکانسی حدود سه ثانیه دارد. شدت این صداها کم کم افزایش یافته، پس از چند ثانیه یا چند دقیقه به اوج می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. تجربه نشان می‌دهد که اگر بیست دقیقه صبر کنید فرصت یک‌بار شنیدن آن از شش مرتبه را خواهید داشت و البته توجه داشته باشید که هرمز بالای افق باشد. هوای ابری در این مورد اثری ندارد.



شکل ۱۷: آنتن برای شنیدن صدای هرمز

آنتن رادیویی به تنهایی کافی است و می‌تواند امواج را از جهت‌های مختلف دریافت نماید. اما برای تقویت صدا واطمینان از دریافت موج رادیویی مربوط به سیاره هرمز می‌بایست آنتن مخصوصی ساخته و جایگزین آنتن رادیو نمایید. دستور کار ساخت این آنتن به شرح زیر است: سیم مسی به طول ۱۶۵ سانتی‌متر تهیه کنید و با آن یک حلقه‌ی باز بسازید. سپس چهار چوب به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر به عنوان پایه به آن وصل کنید. یک صفحه‌ی چوبی به ابعاد ۶۰*۶ که با یک ورق آلومینیومی پوشیده شده‌است را آماده کرده و حلقه را به کمک پایه‌ها روی آن وصل کنید. سپس یک کابل کواکسیال برداشته و آن را باز کنید. سیم داخلی را به حلقه‌ی

مسی و سیم خارجی را به صفحه‌ی آلومینیومی متصل کنید. سر دیگر کابل را به رادیو وصل نموده و در انتها آنتن را به سمت سیاره هرمز قرار بدهید و به خروجی گوش کنید.

نور فرابنفش

انرژی فوتون‌های نور فرابنفش نسبت به انرژی فوتون‌های نور مرئی بیشتر است. این موضوع موجب می‌شود که امواج فرابنفش در مقیاس بالا پیوندهای شیمیایی مولکول‌ها را از بین می‌برد و موجب نابودی حیات می‌شود. از این امواج برای استریلیزه کردن وسایل جراحی استفاده می‌شود.

خورشید امواج فرابنفش از خود ساطع می‌کند اما خوشبختانه اتمسفر زمین (به ویژه اوزون) میزان زیادی از آن را جذب می‌کند. البته مقداری از این طول موج برای حیات ضروری است. این امواج موجب برنزه شدن پوست ما می‌شود (مقدار زیاد آن موجب سرطان پوست می‌شود)، همچنین توسط گیاهان برای فتوسنتز و سایر موارد جذب می‌شود. کاهش ضخامت لایه‌ی اوزون زمین خطرناک خواهد بود و درنتیجه زمین میزان زیادی امواج فرابنفش دریافت کرده و احتمال ابتلا به انواع سرطان‌ها افزایش می‌یابد.

شکل ۱۸: اگر نور فرابنفش به یک اسکناس ۵۰ یورویی تابیده شود خطوطی کوچکی که با فلش نشان داده شده‌اند، ظاهر خواهند شد.

شکل ۱۹: آشکارساز پول جعلی که از نور فرابنفش استفاده می‌کند.

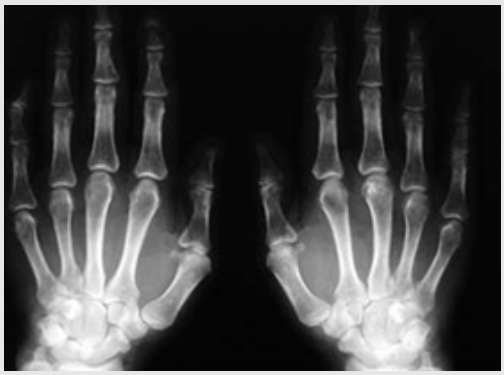
فعالیت ۱۰: نور سیاه (فرابنفش)

لامپ‌هایی با نام نور سیاه وجود دارند که اغلب در محدوده‌ی فرابنفش تولید نور می‌کنند و برای کمک به رشد گیاهان در گلخانه‌ها یا مناطقی با نور کم مورد استفاده قرار می‌گیرند. شیشه‌ی این لامپ‌ها اغلب سیاه است و تنها مقدار کمی نور آبی تیره منتشر می‌کنند. برخی پارچه‌های صنعتی تی‌شرت‌های سفید (که با مایع سفیدکننده شسته می‌شوند) این نور را به رنگ بنفش بازتاب می‌کنند؛ به همین دلیل در برخی از مهمانی‌ها از این نوع پارچه به عنوان دستمال استفاده می‌کنند.

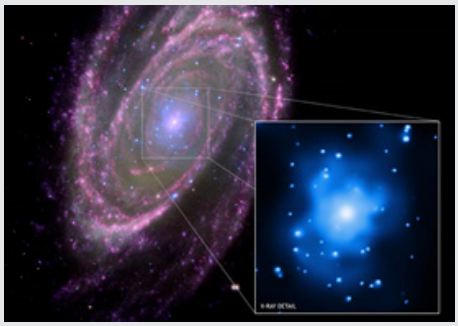
همچنین از این خاصیت در صنعت تولید کاغذ پول استفاده می‌شود؛ یک نوار کوچک فلورستنی که با قرارگیری در نور فرابنفش دیده می‌شود را در پول قرار می‌دهند و بدین وترتیب پول اصلی را از پول تقلبی تمایز می‌دهند (تصویر ۱۸). از نور فرابنفش برای ساخت دستگاه‌های تشخیص جعل استفاده می‌شود (تصویر ۱۹) بسیاری از کارت‌های شناسایی دارای نشانه‌ای هستند که به کمک نور فرابنفش قابل مشاهده است.

اشعه‌ی X-

امواج ایکس از امواج فرابنفش نیز پرانرژی‌تر هستند و از آن‌ها در پزشکی به منظور رادیوگرافی و سایر اشکال شناخته شده‌ی رادیولوژی استفاده می‌شود (تصویر۱-۲۰)



تصویر۱-۲۰: امواج ایکس استفاده شده در پزشکی



تصویر۲-۲۰: کهکشان M۸۱ به همراه مرکز آن در طول موج ایکس؛ که حضور یک سیاهچاله‌ی عظیم در مرکز آن را نشان می‌دهد.

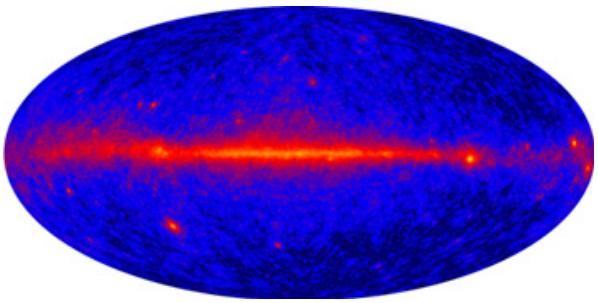
در کیهان امواج - ایکس نشانگر پدیده‌ها و اجرامی با انرژی بالا مانند کهکشان‌ها، کوازارها، ابرنواخترها و . . . است. ماموریت تلسکوپ فضایی چاندرا شناسایی و بررسی این اجرام است.

امواج گاما

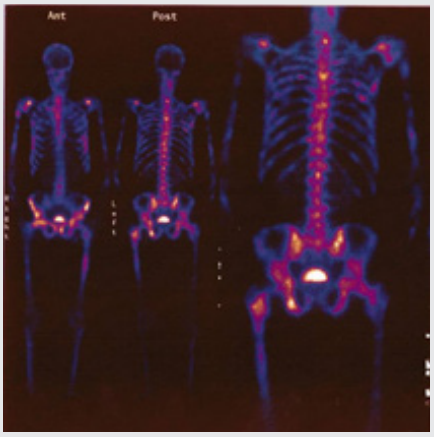
در انتهای طیف، امواج گاما با طول موجی کمتر از طول موج امواج-ایکس حضور دارند. این امواج پرانرژی ترین بخش طیف هستند و از برخورد ماده (الکترون) و پادماده (پوزیترون) به وجود می‌آیند. کیهان میزبان منابع مختلفی از امواج گاما است (شکل ۱-۲۱) و شناسایی یک انفجار عظیم از پرتوهای گاما به مدت چند دقیقه تا چند ساعت در کیهان پدیده چندان عجیبی نیست.

با توجه به طول موج بسیارکوتاه امواج گاما شناسایی دقیق منبع تولید آن‌ها بسیار دشوار است. اجرامی مانند هسته‌ی کهکشان‌های فعال، پالسارها، ابرنواخترها از جمله منابع شناخته شده‌ی امواج گاما می‌باشند.

بر روی زمین اغلب این امواج توسط عناصر رادیواکتیو تولید می‌شوند. مانند اشعه-ایکس این امواج نیز در تصویربرداری پزشکی و درمان بیماری‌هایی مانند سرطان کاربرد دارند.



شکل ۱-۲۱: نقشه جهان که به کمک تلسکوپ فضایی اشعه-ایکس فرمی ثبت شده‌است؛ خط مرکز تصویر نشان‌دهنده کهکشان راه شیری است.



شکل ۲-۲۱: اسکن استخوان‌های بدن انسان به کمک امواج گاما

کتابشناسی

• Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014

• Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid 2008.

منابع اینترنتی

Spitzer Telescope, Educacion, California Institute of Technology.

http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml

• http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM_Astronomy

• https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light

• Chandra X-ray Observatory http://chandra.harvard.edu/about/

• The Fermi Gamma-ray Space Telescope http://fermi.gsfc.nasa.gov/

انبساط جهان

ریکاردو مونرو، سوسانا دیوستوا، رزا ماریا رز، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، کالج ری تامر (مادرید، اسپانیا)
موسسه علمی تلسکوپ فضایی (بالتیمور، امریکا)
دانشگاه مخندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)

خلاصه

این بخش شامل تعدادی فعالیت، برای درک مفهوم انبساط جهان است. در نخستین فعالیت یک طیف سنج برای مشاهده‌ی طیف گازها خواهیم ساخت. در فعالیت های دوم، سوم و چهارم، به صورت کیفی و با کمک کش، بادکنک، صفحه ای نقطه ای، انبساط جهان را بررسی می‌کنیم.

در فعالیت پنجم، به صورت کمی انبساط سطحی و ثابت هابل را برای آن محاسبه خواهیم کرد.

درفعالیت ششم، تابش زمینه ی کیهان راشناسایی خواهیم کرد.

اهداف

- درک انبساط جهان
- درک اینکه جهان هستی مرکزی ندارد
- درک قانون هابل
- درک مفهوم ماده تاریک و شبیه سازی عدسی گرانشی

مبدا جهان هستی

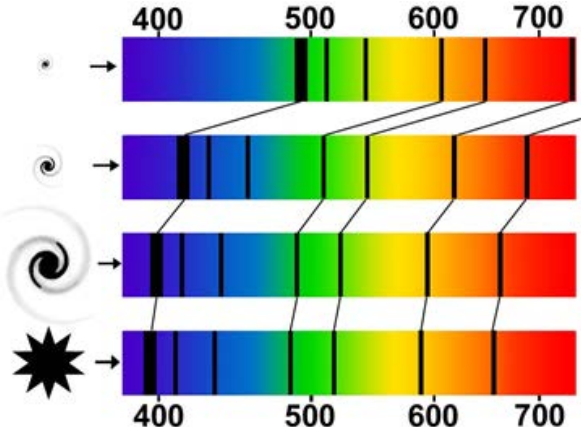
در حال حاضر نظریه انفجار بزرگ - بیگ بنگ - مقبول ترین نظریه در مورد پیدایش جهان هستی است. طبق این نظریه، عالم براثریک انفجاربزرگ آغاز و شروع به انبساط نمود. کهکشان‌ها در فضا حرکت نمی کنند، بلکه فضای بین آن‌ها انبساط یافته و کهکشان‌ها را با خود می‌کشد. به همین علت، همانطور که هیچ کشوری را نمی توان مرکز سطح زمین در نظر گرفت، ما نیزنمی‌توانیم راجع به مرکزعالم صحبت بکنیم.

سرعت دور شدن یک کهکشان، متناسب با فاصله‌ی آن از ما است. ثابت مربوطه، ثابت هابل نامیده می‌شود. قانون هابل بیانگر رابطه ی خطی بین فاصله ی کهکشان و سرعت دور شدن آن است.

مشاهده‌ی سرخ‌گرایی در طیف کهکشان‌ها، اولین مهر تایید بر اثبات انفجار بزرگ بود و شناسایی تابش زمینه‌ی کیهان زمینه‌ی اثبات نهایی آن را فراهم آورد.

سرخ‌گرایی

اگر در آزمایشگاه به وسیله‌ی یک طیف سنج، به نور یک گاز گرم شده، مثلا هیدروژن، بنگریم، شاهد خطوط رنگی در طول موج معین که مشخصه ی آن گاز هستند، خواهیم بود. همچنین اگر، این کار را با نور یک کهکشان دوردست انجام دهیم، شاهد جابه‌جایی اندکی در خطوط خواهیم بود. این جابه‌جایی با نام سرخ‌گرایی شناخته می‌شود، چرا که خطوط بیشتر کهکشان‌ها به سمت رنگ سرخ حرکت می‌کنند.



سرخ‌گرایی در طیف کهکشان‌های دوردست بیشتر است. این جابه‌جایی بیانگر آن است که آن کهکشان‌ها با سرعت بیشتری در حال دور شدن از ما هستند.

سرخ‌گرایی، ناشی از دور شدن کهکشان از ما است؛ مانند تغییر صدای قطار وقتی که از ما دور و یا به ما نزدیک می‌شود؛ جابه جایی بیشتر، سرعت بیشتر را نشان میدهد.

مطالعه‌ی طیف کهکشان‌های گروه محلی نشان میدهد که ابرماژلانی بزرگ با سرعت ۱۳ کیلومتر بر ثانیه و ابرماژلانی کوچک با سرعت ۳۰ کیلومتربرثانیه درحال دور شدن هستند. آندرومدا با سرعت ۶۰ کیلومتر بر ثانیه در حال نزدیک شدن به ما است درحالی که M32 (یکی از قمرهای آن) با سرعت ۲۱ کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن از ما هستند. به‌عبارت‌دیگر، کهکشان‌های همسایه دارای حرکت‌های نسبی و نامنظم هستند.

با نگاهی به خوشه ی کهکشانی سنبله که در فاصله‌ی ۵۰ میلیون سال نوری از ما قرار دارد، شاهد دور شدن آن با سرعت ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه خواهیم بود. در ابرخوشه‌ی گیسوی برنیکه در فاصله‌ی ۳۰۰ میلیون سال نوری سرعت دور شدن بین ۷۰۰۰ تا ۸۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه است. اما در جهت مخالف نیر کهکشان M74 با سرعت ۸۰۰ کیلومتر بر ثانیه و کهکشان M77 با سرعت ۱۱۳۰ کیلومتربرثانیه درحال دور شدن هستند. بررسی کهکشان‌های محوی که در فاصله ی بسیار دوری از ما قرار دارند، سرعت دور شدن بسیار بیشتری را نشان می‌دهند: NGC375 با سرعت ۶۲۰۰ کیلومتر بر ثانیه، NGC562 با

سرعت ۱۰۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه، NGC326 با سرعت ۱۴۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن هستند. کهکشان‌های خیلی نزدیک نیز در حال دور شدن از ما هستند، آیا آن‌ها از دست ما عصبانی هستند؟

فعالیت۱: اثر داپلر

در اثر داپلر، طول موج صدا با حرکت منبع آن تغییر می‌کند. همه‌ی ما این اثر را به‌خوبی در مسابقات اتومبیل‌رانی و موتورسواری به‌هنگام دور و نزدیک شدن آن‌ها تجربه کرده ایم. تجربه‌ی آشناتر این اثر، ماشین آتش نشانی و یا سوت قطار است.

شما می‌توانید به‌سادگی این اثر را به کمک یک ساعت زنگ‌دار، کیسه‌ی پارچه‌ای و نخ تجربه کنید.

ساعت را درون کیسه‌ی پارچه‌ای قرار داده و سپس به‌کمک نخ آن را محکم می‌کنیم. حالا آن را بالای سر می‌چرخانیم، می‌توانیم هنگام نزدیک شدن به حضار ببینم که: در ابتدا طول موج کمتر و صدا زیرتر است، با افزایش طول نخ، طول موج بیشتر و صدا بم‌تر می‌شود.

شخصی که در مرکز چرخش است،این موضوع را تجربه نمی‌کند.

شکل ۲ الف: ساعت، کیسه، نخ

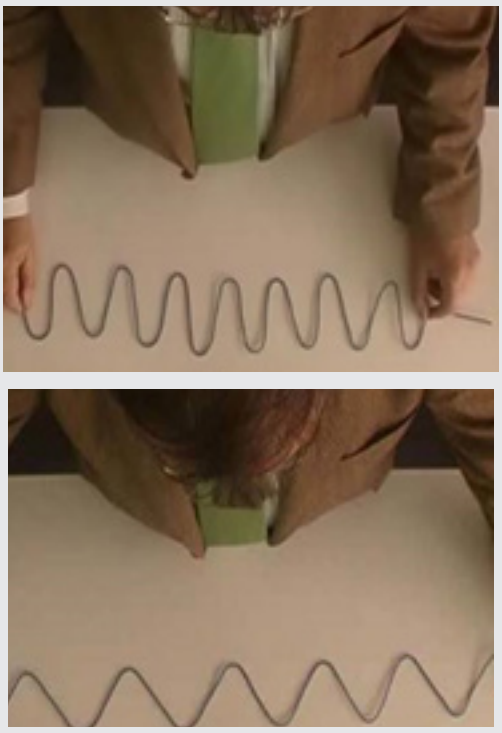
شکل ۲ ب: ساعت را به دور سر خود می‌چرخانیم. حضار شاهد تفاوت صدای زنگ خواهند شد.

اثر داپلر ناشی از جابه‌جایی است. اما چیزی نیست که برای کهکشان‌ها در اثر انبساط اتفاق می‌افتد. نکته این است که کهکشان‌ها در فضا حرکت نمی‌کنند، بلکه فضای بین آن‌ها منبسط می‌شود.

فعالیت ۲: کش‌آمدن فوتون‌ها

با انبساط جهان، فوتون‌های موجود در آن نیز کشیده می‌شوند. هرچه مسافت طی شده توسط فوتون بیشتر، کشیده شدن نیز بیشتر خواهد بود.

شما به کمک یک کابل نیمه‌سفت، که در برقکاری ساختمان ها استفاده می‌شود، می‌توانید این پدیده را شبیه‌سازی نمایید. یک متر از این کابل را بریده و با کمک دستان خود آن را به صورت سینوسی خمیده کرده و چندین موج متفاوت بسازید.



شکل ۳: سمت چپ: ساخت موج به کمک یک سیم قابل انعطاف؛ سمت راست: امواج مشابه با طول موج بیشتر.

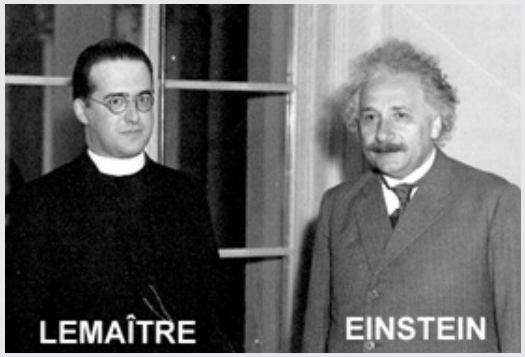
دو طرف کابل را با دست گرفته و آن را می‌کشیم؛ مشاهده می‌کنیم همانند آنچه که درمورد پرتوهای کهکشانی رخ می‌دهد، طول موج افزایش می‌یابد؛ قسمت های دورتر از ما زمان بیشتری برای کشیده شدن دارند و به سمت قرمز جابه‌جا می‌شوند.

قانون هابل

ادوین هابل، با استفاده از داده‌ها، در سال ۱۳۹۰ قانونی را منتشر کرد که بعدها به‌نام خود او نامیده شد: کهکشان‌های

دوردست، با سرعت بیشتری از ما دور می‌شوند. این موضوع نشان داد که جهان از همه سمت در حال انبساط است و همه‌ی اجرام در حال دور شدن از یکدیگر هستند. دورشدن کهکشان‌ها از ما بدین معنا نیست که ما در مرکز عالم قرار داریم، بلکه برای یک ناظر بیگانه در گوشه ای دیگر از عالم نیز، همین اتفاق رخ می‌دهد و برای او نیز همه چیز در حال دورشدن است. درست مانند آتش بازی: همه ی ذرات سبک در اثر انفجار از هم دور می‌شوند.

شکل ۴: ادوین هابل



شکل ۵: آلبرت انیشتین و ژرژ لومتر

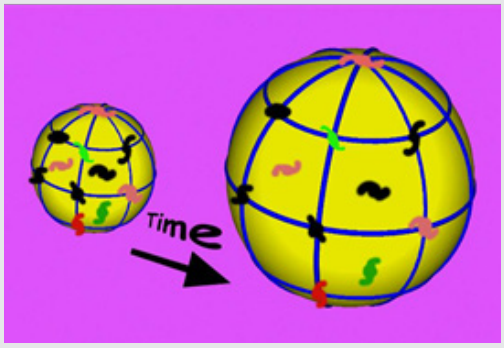
واقعیت این است که کهکشان‌ها در حال حرکت در فضا نیستند بلکه این فضای بین آن‌ها است که در حال انبساط و کشیدن کهکشان‌ها است.

اگر عالم از همه سمت در حال انبساط باشد و اگر بتوان زمان را به عقب برگرداند، شاهد تجمع مواد در لحظات آغازین در جایی که همه چیز شروع شد؛ خواهیم بود.

ژرژ لومتر کشیش و ستاره‌شناس بلژیکی، مقبول‌ترین نظریه پیدایش جهان هستی تا به امروز را منتشر کرد: یک انفجار بزرگ رخ داد، که اثرات آن همچنان ادامه دارد. بر اثر این انفجار، عالم شروع به انبساط نمود.

برای درک بهتر این مدل، یک بادکنک با تعدادی نقطه روی سطح آن که نشانگر کهکشان‌ها هستند را در نظر بگیرید.

با دمیدن در بادکنک، فاصله‌ی بین نقاط افزایش می‌یابد. به صورت مشابه، با گذشت زمان، فضا نیز به این صورت انبساط پیدا می‌کند و مواد موجود در آن نیز شروع به دور شدن می‌کنند.



شکل۶: با گذشت زمان، جهان منبسط شد و مواد شروع به دور شدن از یکدیگر کردند.

بنابراین، سرعت دور شدن کهکشان‌ها متناسب با فاصله‌ی از ما است. ثابتی که این دو را به هم مربوط می‌کند، با نام ثابت هابل شناخته می‌شود.

قانون هابل بین فاصله و سرعت کهکشان رابطه ی زیر را برقرار می‌کند:

$$v=H_0 d$$

با دانستن سرعت و فاصله‌ی برخی از کهکشان‌ها، می‌توان این ثابت را به صورت تقریبی به‌دست آورد. سرعت کهکشان‌ها را به توجه به سرخ‌گرایی آن‌ها به‌دقت می‌توان اندازه گرفت، اما تعیین فاصله به ویژه در مورد کهکشان‌های دوردست، کار بسیار دشواری است. دانشمندان در مورد مقدار دقیق ثابت هابل توافق نظر ندارند. مقدار ثابت هابل امروزه در بازه‌ی حدودی ۵۰ تا ۱۰۰ نظر گرفته می‌شود.

اخیرا مقدار تقریبی ۷۰ مورد پذیرش قرار گرفته که با توجه به آن عمر جهان هستی چیزی نزدیک به ۱۳٫۷ میلیارد سال خواهد بود.

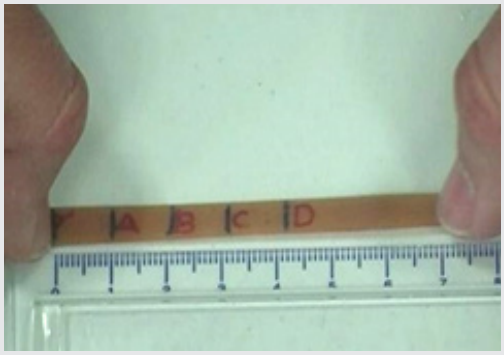
فعالیت ۳ : جهان بروی یک کش

ادوین هابل دریافت که همه‌ی کهکشان ها در حال دور شدن از ما هستند. کهکشان های دورتر، سریع تر دور می‌شوند. آنچه که به عنوان قانون هابل شناخته می‌شود نشان داد که سرعت دور شدن کهکشان با فاصله‌ی آن از ما متناسب است. این نتیجه‌ی منطقی برگرفته از انبساط عالم است. در نظر داشته باشید، که دور شدن کهکشان‌ها از ما، به معنای مرکز عالم بودن ما نیست.

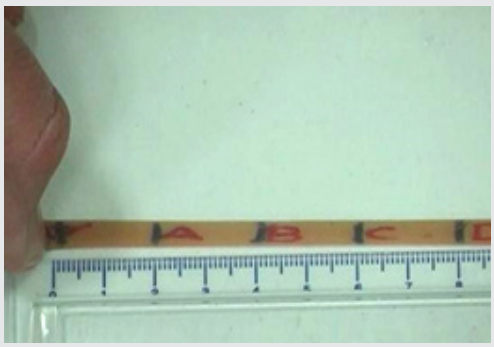
با یک ماژیک برروی یک کش پهن و با کمک خط کش،

در هریک سانتی‌متر، یک نشانه قرار دهید و آن ها را A,B,C و... بنامید. هر نشانه، نمایانگر یک کهکشان است. سپس کش را به موازات خط کش قرار دهید. کهکشان ما در ابتدا و بر روی صفر قرار دارد.

حال شروع به کشیدن کش کنید، دقت کنید که کهکشان خودمان روی صفر باقی بماند. با این کشیدن کهکشان A روی عدد ۲ قرار می‌گیرد و فاصله‌ی آن از کهکشان ما دو برابر می‌شود. چه اتفاقی برای فاصله‌ی کهکشان‌های B,C, D رخ می‌دهد؟ آیا فاصله‌ی آن ها نیز دو برابر می‌شود؟



شکل ۷: نوار کشی در حالت معمولی



نوار کشی درحالت کشیده شده.

فرض کنید که زمان صرف شده برای کشیدن کش، یک ثانیه بوده‌است. آیا سرعت دورشدن همه‌ی کهکشان‌ها مشابه بوده، یا برخی سریعتر دورشدند؟ ساکنان کهکشان بعدی، کهکشان ما و سایر کهکشان‌ها را چگونه می‌بینند؟ آیا برای آن‌ها همه‌ی کهکشان‌ها در حال دورشدن هستند؟

فعالیت۴: جهان بروی بادکنک

انبساط عالم، فضای بین کهکشان‌ها را منبسط می‌کند. کهکشان‌ها منبسط نمی‌شوند، خانه‌ی ما(کهکشان راه شیری) نیز منبسط نمی‌شود. در واقع اندازه‌ی اجرامی که با نیروی گرانش محدود شده باشند، افزایش نمی‌یابند.

آزمایش ساده‌ای برای اثبات این مدل وجود دارد. تنها به یک بادکنک و مقداری دانه‌های ریز(مثل کائوچو) نیاز است. در ابتدا کمی بادکنک را باد کرده، سپس روی آن چسب زده و دانه‌های ریز را روی آن می‌پاشیم تا روی آن بچسبند، سپس بادکنک را باد می‌کنیم. دانه‌ها شروع به دور شدن از یکدیگر می‌کنند. برخی خیلی دورتر شده، اما به‌هم نزدیک نمی‌شوند. این یک مدل بسیار ساده برای درک مفهوم انبساط عالم است.

شکل۸: دانه‌هایی که بر سطح بادکنک کم باد چسبیده‌اند.

شکل۸: وقتی که بادکنک شروع به باد شدن می‌کند، دانه‌ها از هم دور می‌شوند.

فعالیت۵: محاسبه‌ی ثابت هابل

قانون هابل به ما می‌گوید که سرعت کهکشان با فاصله‌ی آن از ما متناسب است:

$$v=H\cdot d$$

ثابت H با نام ثابت هابل شناخته می‌شود و شما می‌توانید با استفاده از فاصله و سرعت چند کهکشان، با توجه به این فرمول، آن را محاسبه کنید:

$$H=\frac{v}{d}$$

نمودار شکل ۱۲، عالم را نشان می‌دهد، در این نمودار که با خطوط نقطه‌چین آبی ترسیم شده، ما در مرکز آن و چند کهکشان آبی‌رنگ در فاصله‌ای از ما قرار دارند. بعد از ۱۰

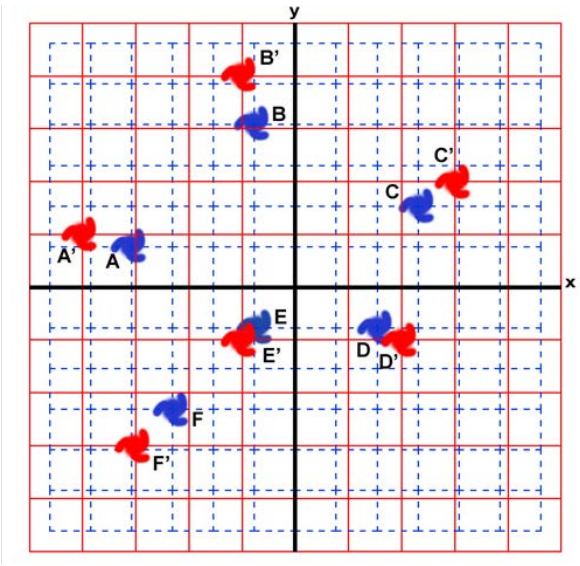
ثانیه، عالم انبساط یافت و خطوط توری و کهکشان به رنگ قرمز نشان داده شد.

جدول۱ زیر نقشه را پرکنید. در هر ردیف، اطلاعات مربوط به هر کهکشان را یادداشت نمایید. برای مثال: مختصات با توجه به مربع‌های آبی (خطوط نقطه‌چین) و یا قرمز (خطوط پر) به ترتیب برای کهکشان A یا A' یادداشت شود. سپس فاصله به کمک خط کش از مرکز کهکشان ما اندازه گیری شود. ستون داده های Δd از کم کردن فاصله ی A و A' بدست می‌آید. در ستون نهایی، ما باید از فاصله ی پیش از انبساط استفاده کنیم.

بررسی کنید که:

مختصات هر کهکشان با انبساط تغییر نمی‌کند (کهکشان‌ها در فضا حرکت نمی‌کنند.)

مقدار ثابت هابل صرف نظر از کهکشان‌ها تقریبا ثابت است.



شکل۹: چهارخانه‌ی خطوط پیوسته (قرمز) مشابه خطوط خط چین(آبی) هستند اما انبساط یافته‌اند. کهکشان‌ها بر روی چهارخانه قرار دارند.

Galaxia	*Coordenadas x,y*	*d=distancia al origen*	Δd	$v=\frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H=\frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

Galaxy	*Coordinates x,y*	*d=distance from origin*	Δd	$v=\frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H=\frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

جدول۱: مختصات نوشته شده به صورت نمونه

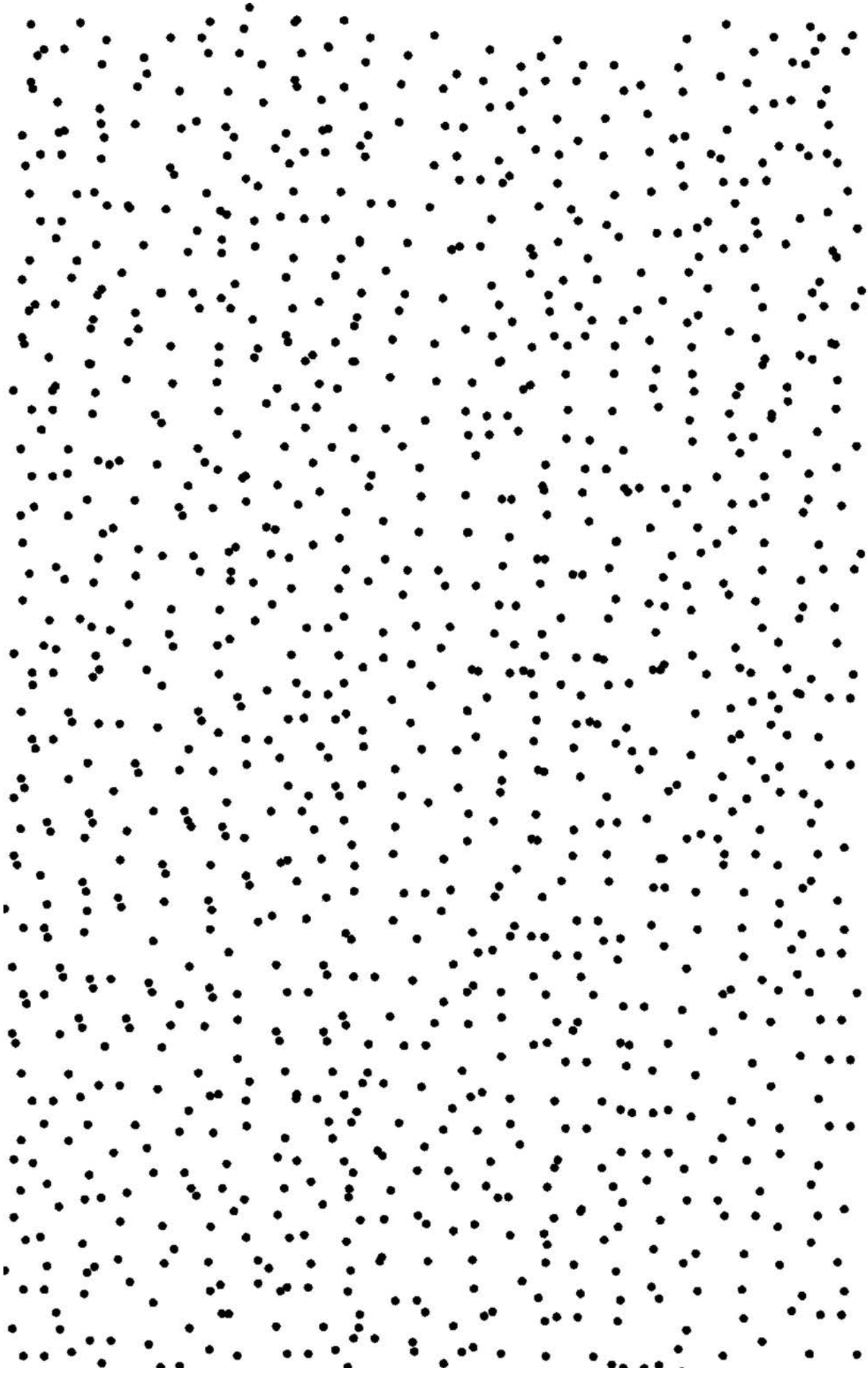
انفجار بزرگ

در حال حاضر، انفجار بزرگ به عنوان تئوری پیدایش عالم، به صورت گسترده در جامعه ی علمی پذیرفته شده است؛ البته همچنان برخی از افراد نسبت به آن شک دارند و احساس می‌کنند که برخی جزئیات سربه‌مهر باقی مانده اند. در سال ۱۹۹۴ مجله آمریکایی Sky & Telescope مسابقه‌ای برای نام‌گذاری دوباره‌ی آن برگزار کرد. از میان ۱۲۰۰۰ پیشنهاد دریافتی، هیچ کدام نتوانست جایگزین نام قبلی شود. این نام توسط ستاره‌شناسی به نام فرد هویل، که تعصبات ضدمذهبی داشت، در یک برنامه‌ی رادیویی بیان شد. وی فکر می‌کرد که این ایده بیش‌ازحد با وجود یک خالق سازگار است.

با مشاهده ی انبساط عالم، می‌توان در زمان به عقب بازگشت، به جایی که مبدا انفجار است و فضا-زمان به شکلی که ما امروزه می‌شناسیم، از آن جا آغاز شده است. ممکن است در مورد چرایی و چگونگی این اتفاق افتاد بپرسیم، اما علم به این سوالات پاسخ نمی دهد. زیرا علم در مورد چگونگی کارکردن اجزا صحبت می‌کند و علم می‌تواند درمورد چگونگی انفجار بزرگ صحبت کند؛ اما به سوالاتی مانند چرایی موجودیت ماده پاسخ نمی دهد. این سوالات مربوط به فیلسوفان، کسانی که متافیزیک مطالعه می‌کنند، می‌باشد.

برخی افراد تلاش می‌کنند که از برخی مفاهیم علمی فیزیک مانند نوسانات کوانتومی خلا استفاده کرده و خلا و پوچی را با هم ترکیب کنند: خلا کوانتومی وجود دارد و شامل مقداری انرژی و فضا است. مفهوم پوچی، به معنای نبود هیچ چیز، حتی فضا، علمی نیست و بیشتر جنبه‌ی متافیزیکی دارد. نظریاتی دیگری نیز از جهان‌های چندگانه صحبت می‌کنند که تعریف‌های غیر ممکنی دارند. به همین دلیل، این تئوریها علمی نیستند.

به علم، بازمی‌گردیم. در آن لحظه‌ی ابتدایی، همه‌ی ماده و انرژی بی‌نهایت متراکم و کوچک بود. انفجار بزرگ،افنجار فضا در لحظه‌ی آغاز بود. از آن لحظه به بعد با قوانینی که وجود دارد، ماده شروع به تشکیل شدن کرد و عالم فعلی را ایجاد نمود.



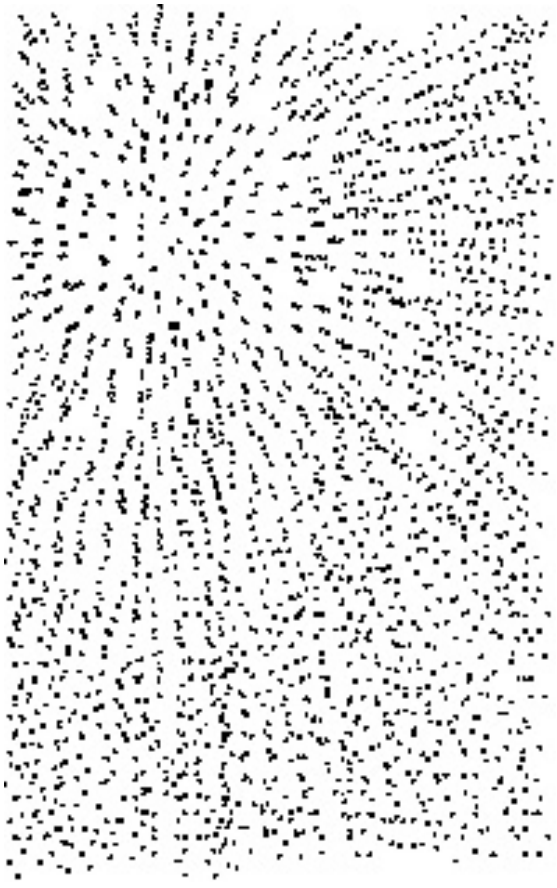
شکل۱۰: این تصویررا برروی یک طلق شفاف پرینت کنید، سپس یک پرینت که ۱۰۵٪ بزرگ تراست، نیزفراهم کنید.

فعالیت۶:هیچ مرکزی برای انبساط وجود ندارد.

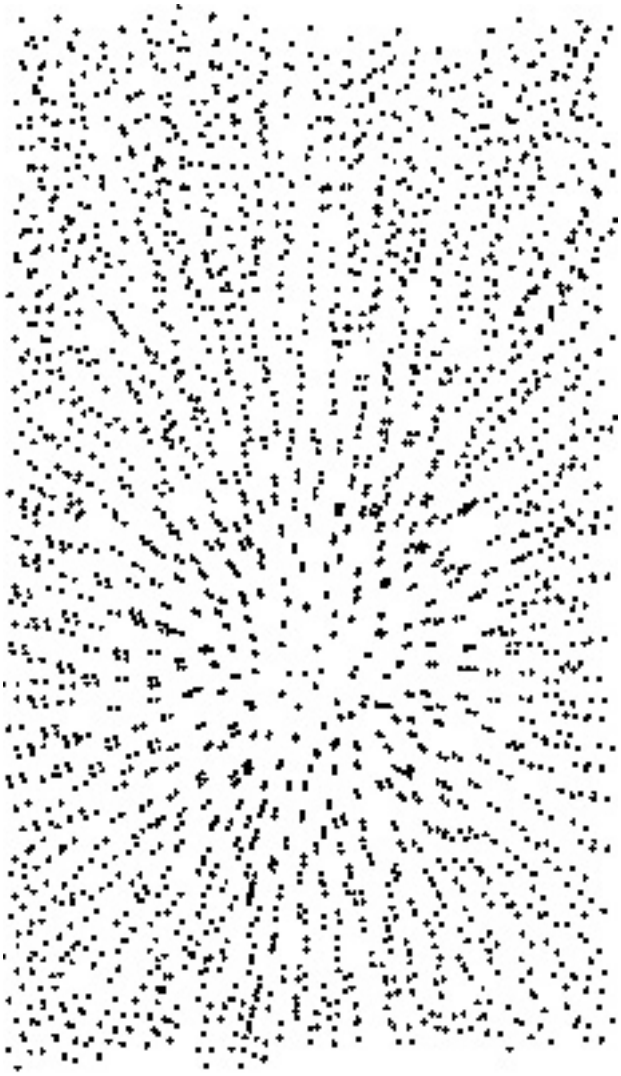
در صفحه‌ی بعد، تصویری(شکل ۱۰) وجود دارد که نقاط آن نمایانگر کهکشان‌ها در یک زمان معین هستند. ازآن تصویر یک کپی بر روی کاغذ شفاف تهیه نمایید. سپس بر روی یک کاغذ شفاف دیگر کمی آن را بزرگ تر کپی کنید.

اگر تصاویر را بر روی یک پروژکتور قرار دهیم(تصویر ۱۱-الف)، می‌توانیم تصویری از انبساط فضا به دست آوریم. دو تصویر را در یک نقطه منطبق کنید. حال شما به خوبی جابه‌جایی شعاعی نقاط را می‌بینید، برای نقاطی که دور از مرکز انطباق هستند بیشتر است. این نشان می‌دهد نقاطی که دور از مرکز انطباق هستند با سرعت بیشتری در حال دورشدن هستند.

حال اگر مکان انطباق را جابه‌جا کنید(شکل۱۱-ب)، دوباره مشابه خواهد بود؛ بنابراین در فضا: همه‌ی کهکشان ها را در حال دور شدن از کهکشان خودمان می‌بینیم؛ هرچه کهکشان دورتر باشد، با سرعت بیشتری در حال دور شدن است. ما گمان می‌کنیم که مرکز عالم هستیم، اما این گونه نیست و ناظری در کهکشانی دیگر نیز عالم را مانند ما می‌بیند و در نظرش، او در مرکز عالم قرار دارد؛ اما در واقع مرکزی وجود ندارد.



شکل ۱۱ الف: ترکیب دو پرینت، که یکی ۱۰۵٪ بزرگ تر است.



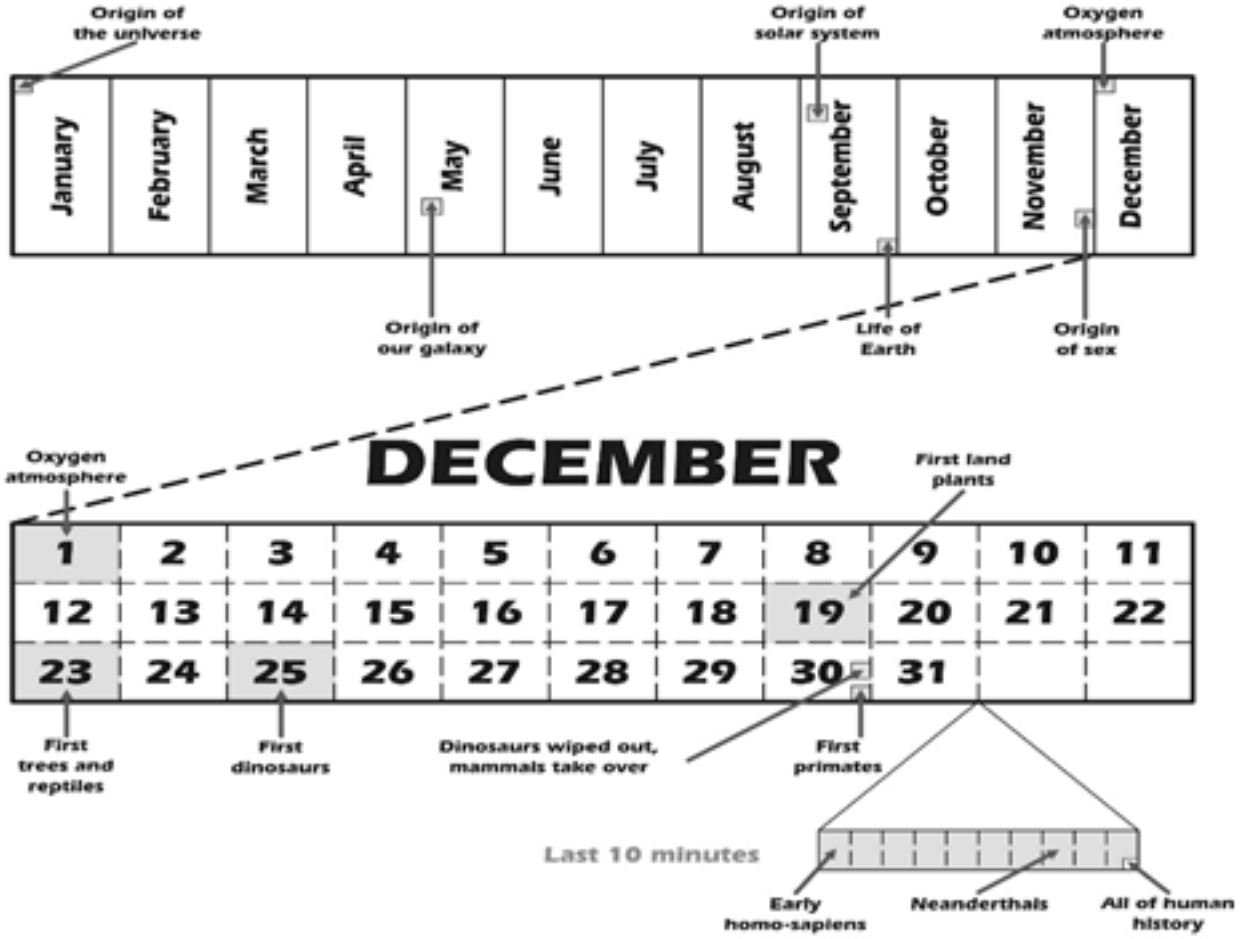
شکل ۱۱ب: ناظری در یک نقطه‌ی دیگر نیز جهان را در حال دور شدن از خود می‌بیند: جهان هستی مرکزی ندارد.

سیرتکاملی عالم

یک ایده برای درک گذشته‌ی جهان هستی، فشرده کردن زمان از ابتدای بیگ بنگ تا زمان حاضر در قالب یک سال (میلادی) از اولین روز ماه ژانویه تا آخرین روز ماه دسامبر است.

در ماه آوریل ، کهکشان راه شیری ما به وجودآمد. در ماه اوت، خورشید تشکیل شد و تا پایان همین ماه زمین کروی گردید؛ اما تا ماه اکتبر اکسیژنی بر روی زمین یافت نمی‌شد. اگرچه سلول های زنده‌ی بسیار ساده (پروکاریوت‌ها) فورا بر روی زمین ظاهر شدند، اما سلول های هسته دار(یوکاریوت‌ها) در دومین روز دسامبر و اولین ارگانیسم های چندسلولی در دوازدهم دسامبر پدیدار شدند. در نوزدهمین روز همان ماه، اولین ماهی ها و در روز بیست‌ویکم تا بیست‌ودوم، گیاهان، حشرات و دوزیستان تشکیل شدند. در روز بیست‌وپنجم

دسامبر دایناسورها پدیدار شدند که تا بیست‌وهشتم ادامه یافت. سی ام دسامبر روزی بود که پستانداران بر روی زمین زندگی می‌کردند؛ و در نهایت، ساعت یازده نیمه شب آخرین روز، انسان پدیدار می‌شود. ساعت ۱۱:۵۷ نیمه شب، زمانی است که انسان نئاندرتال بر روی زمین زندگی می‌کند و نقاشی غار التامیرا در دقیقه آخر کشیده می‌شود. ۵ ثانیه قبل از ۱۲ شب، حضرت مسیح متولد شد و قرن گذشته در دو دهم ثانیه پایانی در جریان است.



شکل ۱۲: تقویم کیهانی. تاریخ فشرده شده‌ی جهان در طول یک سال. همه‌ی تاریخ ثبت شده‌ی بشری در ۲۱ ثانیه آخر رخ داده است.

تابش زمینه‌ی کیهان

در لحظات آغازین انفجار بزرگ که دما بسیار بالا بود، چهار نیروی اصلی شناخته شده، یعنی: نیروهای گرانش، الکترومغناطیس و نیروهای قوی و ضعیف هسته‌ای (این دو نیرو در مقیاس اتمی حضور دارند) با یکدیگر متحد بودند. سپس ازیکدیگر جدا شده و فوتون، الکترون، پروتون و ذرات بنیادین ایجاد شدند. همزمان با انبساط عالم، دما شروع به کاهش نمود. پس از ۳۰۰۰۰۰ سال، دما به اندازه ای کاهش یافت که اتم ها و به صورت عمده هیدروژن و هلیوم ایجاد شدند. چگالی کاهش یافت و فوتون ها آزادانه در تمام جهات شروع به حرکت کردند؛ آن ها نور بودند. دانشمندان می‌گویند که جهان شروع به پدیدار شدن نمود. آن فوتون ها، هنوز نیز در فضا در حال جابه‌جایی هستند اما دمای آن ها کاهش یافته و به همان میزان، طول موج آن ها افزایش یافته است(شکل ۱۳)؛ این فوتون های بسیار سرد، تنها انرژی با دمای ۲٫۷ درجه کلوین را منتقل می‌کنند که امروزه با نام تابش زمینه ی کیهان یا CMB شناخته می‌شود.

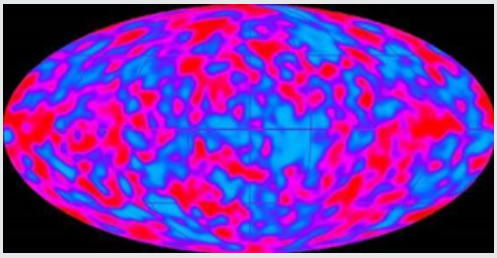
شکل ۱۳: همزمان با انبساط عالم، طول موج فوتون‌ها نیز افزایش یافت؛ که به عنوان تابش زمینه‌ی کیهان شناخته می‌شوند.

تابش زمینه‌ی کیهان، نخستین بار توسط پنزیاس و ویلسون در ایالات متحده آمریکا کشف شد. زمانی که آن‌ها طول موج ۷٫۳۵ سانتی متری را بطور مداوم و حتی با تغییر مکانی که آنتن نشانه می‌رفت، دریافت می‌کردند، تلاش نمودند تا همه‌ی نویزها را از رادیوتلسکوپ خود حذف کنند. آن‌ها همه‌ی اجزا و مراحل نصب را بررسی کردند، حتی آشیانه‌ی پرنده‌های نزدیکی که ممکن بود علت احتمالی آن نویز باشند را جابه‌جا کردند. با این وجود آن ها قادر به حذف نویز زمینه نشدند.

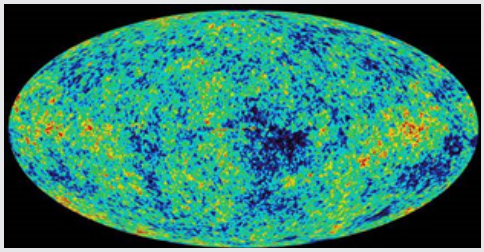
آن‌ها نتیجه گرفتند که این امواج از جسمی با دمای ۲٫۷ کلوین –دمای فعلی عالم– که در جای مشخصی قرار ندارد، منتشر می‌شوند.

آنچه آن‌ها یافته بودند در واقع تابش زمینه‌ی کیهان، یادگاری از انفجار بزرگ بود. با کمک یک تلویزیون آنالوگ قدیمی و تنظیم آن روی یک شبکه آزاد هر کس می‌تواند این تابش را شناسایی کند: از هر ده نقطه ای که مشاهده کنید، یکی از آن ها، تابش زمینه ی کیهان است. این تابش در محدوده ی ریزموج – مشابه فر خانگی – قرار دارد. اما انرژی بسیار کمی دارد و تنها می‌تواند غذا را تا دمای ۲٫۷ کلوین گرم کند.

اگرچه این تابش به طرز چشمگیری، یکنواخت به نظر می‌رسد، اما جی. سامون، آر.مثر و همکارانش به کمک ماهواره‌ی COBE توانستند، نوسانات بسیار اندکی را شناسایی کنند. همزمان با آن‌ها، طی آزمایشی در انستیتو اخترفیزیک جزیره‌ی تنریف قناری، این نوسانات برروی زمین نیز شناسایی شد. در سال ۲۰۰۱، ناسا تلسکوپ فضایی WMAP با وضوح بالا را، برای مطالعه‌ی تابش زمینه‌ی کیهان، به فضا پرتاب کرد.



شکل ۱۴ الف: تصویر COBE



شکل ۱۴ ب: تصویر WMAP

این نوسانات، احتمالا مربوط به همان زمان ابتدایی شکل گیری کهکشان‌ها است. ما نمی‌دانیم چه عاملی موجب این نوسانات در چگالی شد. فقط می‌توان گفت که یک چین‌خوردگی در آن نواحی رخ داده‌است و چند صد میلیون سال بعد از انفجار بزرگ، چگالش در پیش‌کهکشان ها آغاز شد و تقریبا همزمان با آن اولین ستارگان در این کهکشان‌ها به‌وجود آمدند.

فعالیت ۷: شناسایی تابش زمینه‌ی کیهان

حدود ۳۰۰۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ، فوتون‌ها از ماده جدا شده و شروع به گردش آزادانه در عالم نمودند. با انبساط عالم، طول موج فوتون‌ها نیز افزایش یافت. امروزه این طول موج حدود ۲ میلی‌متر تخمین زده می‌شود که در ناحیه‌ی ریزموج طیف قرار دارد و با تابش جسمی سیاه با دمای ۲٫۷ کلوین برابر است.

پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۶۴، برای نخستین بار تابش زمینه‌ی کیهان، تابشی به یادگار مانده، که از همه‌ی جهات دریافت می‌شود، را شناسایی نمودند. ماهواره‌ی COBE (شکل۱۴-الف) و ماهواره‌ی WMAP (شکل۱۴-ب) اندازه گیری دقیق از این تابش در جهات مختلف بدست آوردند و نوسانات بسیار ضعیف در برخی نقاط شناسایی شد که مربوط به خوشه‌های کهکشان‌ها بود.

ما می‌توانیم این تابش زمینه را با یک تلویزیون ساده(شکل ۱۵) مشاهده کنیم. به این منظور، تلویزیون را روشن و روی یک کانال آزاد قرار می‌دهیم، تصویر ترکیبی از نقاط در حال تغییر بسیاری خواهد بود. به صورت تقریبی،۱۰ درصد، یعنی یکی از هر ده نقطه، مربوط به تابش زمینه‌ی کیهان است.

شکل ۱۵: برخی از نقاطی که در تلویزیون های آنالوگ دیده می‌شود، ناشی از تابش زمینه‌ی کیهان است.

چرا شب تاریک است؟

این عنوان یک مقاله‌ی جذابی به قلم هانریش اولبرز آلمانی در سال ۱۸۲۳ بود. پیش‌ترها، در سال ۱۶۱۰، کپلر از این مدرک برای اثبات عدم بی‌نهایت بودن عالم استفاده کرد. یک قرن بعد، ادموند هالی، برخی نقاط روشن در آسمان را دید و پیشنهاد کرد که آسمان به صورت یکسان در طول شب، روشن نیست و در نتیجه جهان بی‌نهایت است و ستارگان یکسان توزیع نشده‌اند. حتی نویسنده‌ی مشهور، ادگار آلن پو نیز در این مورد نوشت. با این حال، این موضوع با عنوان پارادوکس آولبرز در تاریخ باقی ماند.

شکل ۱۶ الف: به ترتیب از چپ به راست: یوهانس کپلر، ادموند هالی

شکل ۱۶ ب: به ترتیب از چپ به راست: هنری اولبرز، ادگار آلن پو.

پاسخ به نظر بدیهی می‌رسد، اما نه بعد از خواندن مقاله‌ی اولبرز.

دلایل اولبرز ما را به سمت پارادوکسی راهنمایی می‌کند که آسمان شب، باید مثل یک روز با شکوه، روشن باشد. اجازه دهید تا دلایل او را مرور کنیم.

دلایل اولبرز بر اصول زیر استوار بود:

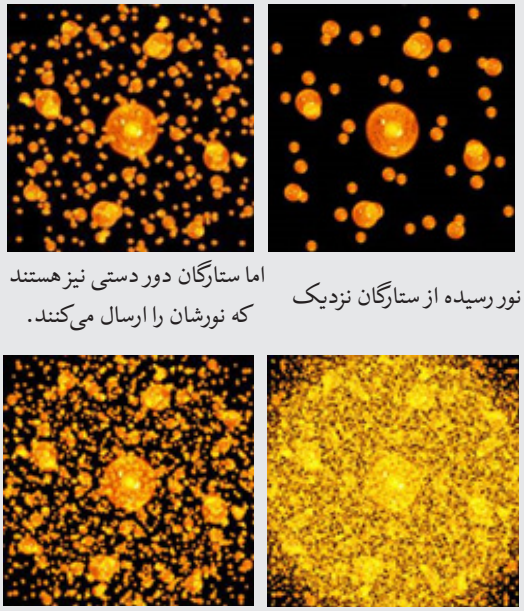
- جهان هستی از نظر وسعت بی انتها است.
- ستارگان تقریبا به صورت یکسان در عالم توزیع شده‌اند.
- همه‌ی ستارگان دارای درخشندگی مشابه در سرتاسر عالم هستند.

از روی زمین به عالم نگاه کنید. تصور کنید که ستارگان برروی کره‌ای به شعاع R_1 قرار دارند. تعدا ستارگان N_1 است. حال کره‌ی دیگری با شعاع بزرگ‌تر R_2 را تصور کنید؛ لایه‌ی دوم شامل ستاره‌های دورتر با نور کمتر می‌شود، اما این لایه تعداد بیشتری ستاره دارد و طبق اصل ۲، کاهش نور را خنثی می‌کند(شدت نور با توجه به رابطه‌ی $1/R^2$ کاهش می‌یابد، و تعداد ستارگان با توجه به افزایش سطح طبق این رابطه R^2 افزایش می‌یابد، در نتیجه لایه‌ی دوم، با مانند لایه‌ی نخست، به زمین روشنایی می‌رساند. و طبق اصل ۱، تعدادی لایه‌ها نامحدود است، در نتیجه، آسمان در شب می‌بایست روشن باشد.

روش دیگر بیان این موضوع این است: اگر به آسمان شب بنگریم، تعداد بی‌شماری ستاره مشاهده خواهیم کرد و

چشمان ما همیشه سطح یک ستاره را می‌بیند و ما نقاط نوری می‌بینیم. حال اگر این در آسمان رخ دهد، شب می‌بایست کاملا درخشان باشد.

بدیهی است، که این موضوع درست نیست. پارادوکس اولبرز مجادله‌های زیادی در دنیای علمی ایجاد کرد که تا ابتدای قرن بیستم و پیدایش نظریه‌ی انفجار بزرگ ادامه داشت. استدلال‌ها به‌خودی‌خود صحیح بودند، اما مشکل اصلی از اصول اشتباهی بود که در نظر گرفته شده بودند. در واقع با انبساط عالم، نور ستارگان دور دست، سرخ‌گرایی بیشتری نسبت به مکان واقعی آن ها دارد و این موجب کاهش درخشندگی ستارگان می‌شود و بنابراین اصل ۳ صحیح نیست. همچنین ما می‌دانیم که ستاره‌های دور دست، سرخ‌گرایی بیشتری دارند، بنابراین ما به گذشته‌ی آن ها می‌نگریم. ستارگان بسیار دوردست در ابتدای انفجار بزرگ متولد شده‌اند، اما ما نمی‌توانیم بیشتر از آن را ببینیم، زیرا لایه‌های نامحدودی ستاره نداریم، بنابراین اصل ۱ نادرست است.



نور رسیده از ستارگان نزدیک

اما ستارگان دور دستی نیز هستند که نورشان را ارسال می‌کنند.

از هر نقطه‌ی آسمان، نور یک ستاره را می‌توان دریافت کرد.

هرچه دورتر، ستاره ها نیز بیشتر

شکل ۱۷: منبع: ویکی مدیا

در قرن ۲۰، پارادوکس اولبرز با شناخت انبساط عالم و درک سن جهان، حل شد.

خوشبختانه آسمان همچنان تاریک خواهد بود.

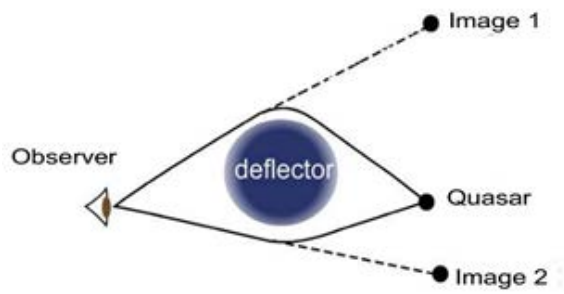
عدسی گرانشی

نور همیشه کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین دو نقطه را طی می‌کند. اما اگر جرمی در مسیر وجود داشته باشد، فضا خمیده شده و کوتاه‌ترین مسیر ممکن یک منحنی خواهد بود، مانند آنچه در شکل ۱۸ نشان داده شده است. این ایده برای دانش آموزان سخت نیست. ما می‌توانیم به‌راحتی آن را بر روی یک کره‌ی زمین انجام دهیم. آن‌ها می‌توانند بفهمند که مسیر بین دو نطقه بر روی زمین، همیشه یک منحنی است.

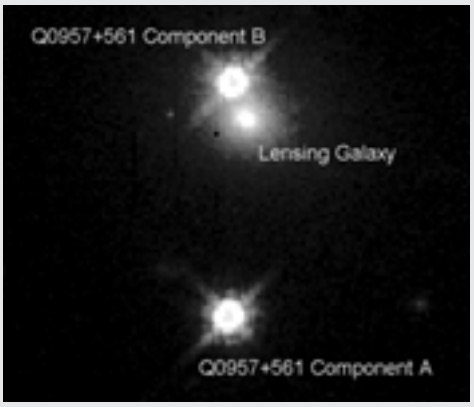
شکل ۱۸ الف و ب: اگر فضا خمیده باشد، کوتاه ترین مسیر بین دو نقطه یک منحنی است

شکل ۱۸ پ: کوتاه ترین مسیر بر روی زمین، یک خط مستقیم نیست.

به صورت عمومی، عدسی گرانشی را می‌توان یک عدسی معمولی در نظر گرفت، با این تفاوت که عمل انحراف در فضا توسط حجم عظیمی از ماده‌ی موجود در مسیر نور، که انحراف کننده نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد.

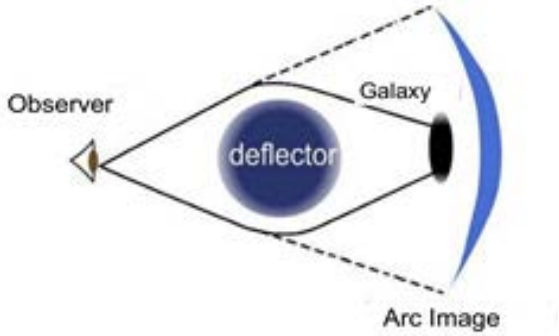


شکل ۱۹ الف: ناظر دو تصویر می‌بیند و به نظر می‌رسد که نور از دو منبع متفاوت است.

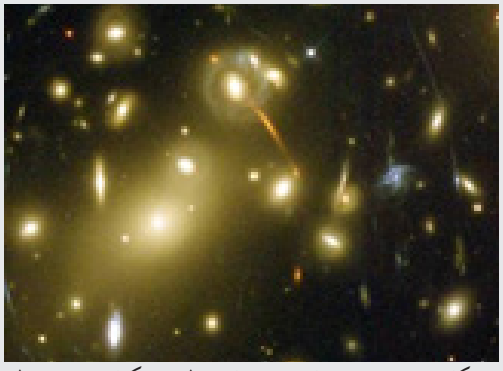


شکل ۱۹ ب: تصویری از کوازار دوگانه‌ی، Q0957 + 561، منحرف کننده، کهکشانی در نزدیکی بخش B است.

عدسی گرانشی موجب انحراف دسته‌ی نور ساطع شده از جرم نجومی می‌شود. اگر این اجرام، منابع نور نقطه‌ای (مانند ستاره یا کوازار) باشند، آن ها در مکان هایی متفاوت با مکان اصلی خود دیده می‌شوند، و گاهی اوقات ممکن است چند تصویر از جرم تولید شود. اگر اجرام منتشر کننده نور وسیع باشند(مانند کهکشان ها)، تصاویری با کمان‌های درخشان ایجاد می‌شود.



شکل ۲۰ الف: اگر جسم منحرف کننده بزرگ باشد، تصویر از مجموعه‌ای از قوس‌ها و یا یک حلقه‌ی کامل تشکیل خواهد شد.



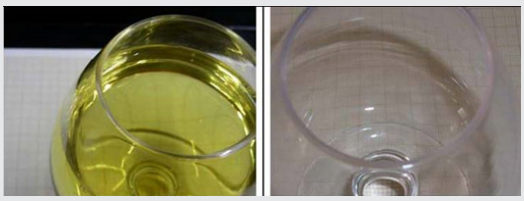
شکل ۲۰ ب: قوس های درخشان عظیم تشکیل شده توسط خوشه کهکشان Abell ۲۲۱۸

شکل۲۰ پ: حلقه‌ی کامل یک کهکشان در پشت منحرف کننده.

فعالیت ۸: شبیه سازی عدسی گرانشی با لیوان پایه دار

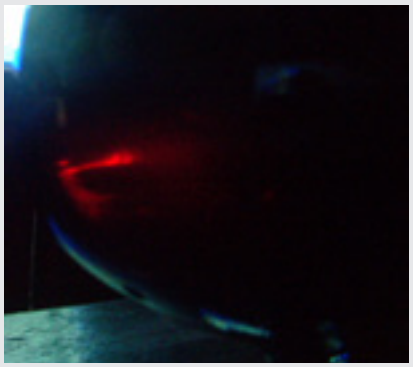
ما می‌توانیم عدسی گرانشی را به کمک یک لیوان پایه‌دار شبیه سازی کنیم. این آزمایش به شما اجازه می‌دهد که ایجاد انحراف توسط ماده را مشاهده کنید.حال حلقه‌ی انیشتین و یا تصویر چندگانه را با هم می‌سازیم. چراغ قوه را برداشته و در سمت دیگر لیوان پر از آب میوه قرار دهید و به پرتو نور نگاه کنید.

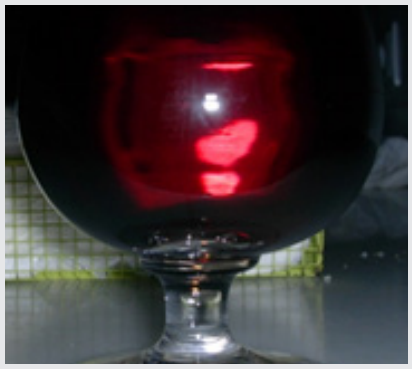
براحتی می‌توان انحراف فضا را در این شبیه‌سازی مشاهده کرد. یک کاغذ سفید شطرنجی در زیر لیوان قرار دهید و یک لیوان پر از آب سیب روی آن قرار دهید. حال می‌توان انحراف خطوط شطرنجی را دید.

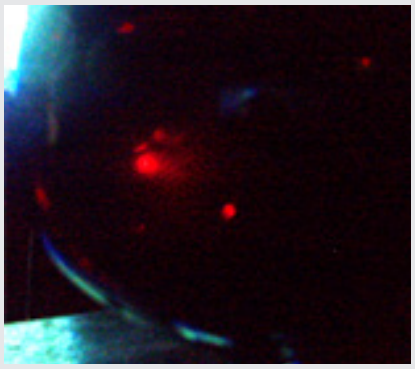


شکل ۲۱ الف و ب: اعوجاج را می‌توان در کاغذ شطرنجی زیر لیوان پر مشاهده کرد.

به پرتو نور نگاه کنید. ما آن را از راست به چپ و از بالا به پایین حرکت می‌دهیم. می‌بینم که نور، نقطه‌ای نیست. آب میوه موجب تکرار تصویر و یا ایجاد کمان می‌شود. در نتیجه لیوان به‌مانند یک عدسی عمل کرده و موجب انحراف خط سیر نور شد. در برخی موارد می‌توان شکل‌های بی‌نظم، نقاط قرمز روشن، چهار نقطه ی قرمز و یا کمان قرمز بین نقاط مشاهده نمود.





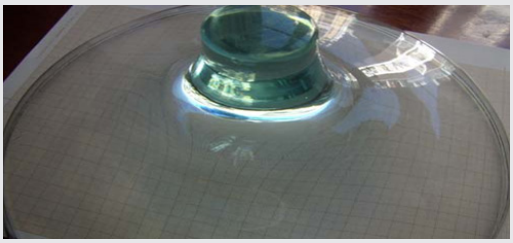


شکل ۲۲ الف: پرتوی نور منحرف شده به صورت یک قوس
میان دو نقطه‌ی قرمز درخشان شکل ۲۲ ب: یک مستطیل
بی‌شکل شکل ۲۲ پ: صلیب انیشتین

همچنین می‌توانیم به کمک پایه‌ی لیوان، شبیه سازی عدسی گرانشی را انجام دهیم.

پایه‌ی لیوان شیشه‌ای را روی کاغذ شطرنجی قرار می‌دهیم و از آن نگاه می‌کنیم. خطوط کاغذ دچار انحنا شده‌اند.

با حرکت دادن پایه‌ی لیوان به آرامی از راست به چپ بالای یک جسم (مثلا دایره‌ای به شعاع سه سانتی‌متر) می‌توان اشکالی که توسط عدسی گرانشی مشاهده می‌شوند را تولید نمود.



شکل ۲۳: تغییرشکل خانه های شطرنجی

شکل ۲۴ الف، ب و پ: پایه‌ی لیوان می‌تواند بسیاری از شکل‌های ساخته شده توسط عدسی گرانشی را شبیه‌سازی کند. تکه‌های قوس، نقاط و حلقه‌ی انیشتین

کتابشناسی:

• Moreno, R. Experimentos para todas las edades. Ed. Rialp., Madrid. 2008.

• Moreno, R. Taller de Astrofísica. Cuadernos ApEA. Antares, Barcelona. 2007.

• Moreno, R. Historia Breve del Universo. Ed. Rialp., Madrid. 1998.

• Moreno, A, Moreno, R. Taller de Astronomía. Ediciones AKAL, Madrid. 1996.

• Riaza, E, Moreno, R .Historia del comienzo: George Lemaître, padre del Big Bang. Ediciones Encuentro, Madrid, 2010.

• Ros, R.M, Experiments and exercises involving gravitational lenses, Proceedings 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School, Barcelona, 2007.

• Ros, R.M, Gravitational lenses in th classroom, Physics Education, 43, 5, 506, 514, Oxford, 2008.

منابع اینترنتی

• http://www.dsi.uni-stuttgart.de

• http://georgeslemaitre.blogspot.com/

• http://www-ra.phys.utas.edu.au/~jlovell/sim-lens

• http://leo.astronomy.cz/grlens/grl0.html

سیارات و فراخورشیدی‌ها

رزا ماریا رز، هانس دیگ، اتحادیه بین‌المللی ستاره شناسی
دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)، موسسه اخترفیزیک جزایر قناری و دانشگاه لا لاگونا (جزایر قناری، اسپانیا)

خلاصه

این بخش شامل مجموعه‌ای فعالیت‌ها برای درک ویژگی‌های قابل مشاهده سیارات منظومه شمسی (مانند: اندازه، فاصله، سرعت مداری و سرعت فرار) است. هرفعالیت از طریق محاسبه و کار عملی، داده‌های عددی جداول مربوط به ویژگی سیارات را برای دانش‌آموزان ملموس نماید.

اهداف

- درک مفهوم مقادیر عددی مربوط به داده‌های منظومه‌ی شمسی

منظومه شمسی

دانش‌آموزان با استفاده از مدل‌های مقیاسی منظومه‌ی شمسی، قادر به مقایسه ویژگی‌های متفاوت سیارات خواهند بود. برای شروع این فعالیت، از جدول داده‌های شماره یک استفاده می‌کنیم.

سیارات	قطر (کیلومتر)	فاصله از خورشید (کیلومتر)
Sun	۱۳۹۲۰۰۰	
تیر	٤٨٧٨	۵۷/۹ x ۱۰^۶
ناهید	۱۲۱۸۰	۱۰۸/۳ x ۱۰^۶
زمین	۱۲۷۵٦	۱٤۹/۷ x ۱۰^۶
Marte	٦٧٦٠	۲۲۸/۱ x ۱۰^۶
مشتری	۱٤۲۸۰۰	۷۷۸/۷ x ۱۰^۶
زحل	۱۲۰۰۰۰	۱٤۳۰/۱ x ۱۰^۶
اورانوس	۵۰۰۰۰	۲۸۷٦/۵ x ۱۰^۶
نپتون	٤۹۰۰۰	٤۵۰٦/٦ x ۱۰^۶

جدول۱: اجرام منظومه شمسی

هدف همه‌ی مدل‌ها، قابل درک کردن داده‌های عددی است. بدون شک درک فاصله‌ی میلیون‌ها کیلومتر برای دانش‌آموزان دشوار است، اما تبدیل فاصله‌ها و اندازه به مقیاس‌های مناسب، فهم آن‌ها را بسیار آسان خواهد کرد.

مدل‌های منظومه شمسی

مدل قطر

برای ساختن این مدل یک کاغذ زرد رنگ به قطر ۱۳۹ سانتی متر را برش دهید. در این مدل هر ۱ سانتی متر معادل ۱۰۰۰۰ کیلومتر است. سپس سایر سیارات را روی مقوا یا کاغذ برش دهید و ویژگی‌های ظاهری هر سیاره را ترسیم کنید. پس از آماده شدن همه‌ی سیارات؛ آن‌ها را در نزدیکی خورشید قرار دهید، حال به راحتی دانش آموزان تفاوت اندازه‌ی سیارات را درک خواهند کرد.

با استفاده از مقیاس هر یک سانتی متر، ۱۰۰۰۰ کیلومتر، قطر سیارات به شرح زیر خواهد بود: خورشید۱۳۹ سانتی متر، تیر۰٫۵ سانتی متر، ناهید ۱٫۲ سانتی متر، زمین ۱٫۳ سانتی متر، بهرام ۰٫۷ سانتی متر، مشتری ۱۴٫۳ سانتی متر، کیوان ۱۲٫۰ سانتی متر، اورانوس ۵٫۰ سانتی متر، و نپتون ۴٫۹ سانتی متر.

پیشنهاد: این مدل را می‌توان بر روی لباس نیز انجام داد، برای این منظور و حفظ مقیاس سیارات، میتوان تابش‌های خورشید و سیارات را رسم کرد.

شکل۲: مدلی از منظومه شمسی براساس مقیاس قطر بر روی تی شرت

مدل فاصله

با مقایسه فاصله سیارات از خورشید، می‌توان یک مدل ساده برای اجرا در مدرسه ساخت. برای ساخت این مدل به صورت ساده به صورت زیر عمل کنید: برش‌هایی از مقوا به عرض ده سانتی متر فراهم کنید، سپس آن‌ها را به هم چسبانده تا یک نوار چند متری به دست آید(شکل ۳). سپس مکان دقیق سیارات را با توجه به مقیاس مورد استفاده بر روی نوار مشخص کنید. دقت داشته باشید که دانش‌آموزان مقیاس

فاصله و اندازه را با هم اشتباه نگیرند. مقیاس پیشنهاد در این فعالیت هزار بار کوچکتر از مدل قبلی است. در این مدل هر ۱ سانتی متر برابر با ۱۰۰۰۰۰۰۰ کیلومتر است در حالی که در مدل پیشین هر ۱ سانتی متر معادل ۱۰۰۰۰ بود. با توجه به این مقیاس فاصله‌ی سیارات به شرح زیر خواهد بود:

تیر ۶ سانتی متر، ناهید ۱۱ سانتی متر، زمین ۱۵ سانتی متر، بهرام ۲۳ سانتی متر، مشتری ۷۸ سانتی متر، کیوان ۱۴۳ سانتی متر، اورانوس ۲۸۸ سانتی متر و نپتون ۴۵۰ سانتی متر.

شکل ۳: مدل فاصله

پیشنهاد: یک نمونه‌ی دیگر از این مدل، استفاده از دستمال توالت است. در این نمونه، هر برگه را می‌توان معادل ۲۰ میلیون کیلومتر در نظر گرفت.

مدل قطر و فاصله

چالش بعدی، ترکیب کردن دو فعالیت بالا و ایجاد مدلی است که در آن اندازه‌ی سیارات و فاصله‌ی آن‌ها به صورت صحیح رعایت شود. در واقع ساختن مدلی که در آن سیارات را با اجسام نه چندان کوچک نشان داد و در عین حال فاصله‌ها هم زیاد نباشد، کار ساده ای نیست، در حقیقت کنار هم قرار دادن دو ویژگی فاصله و اندازه کار دشواری است و چندان هم برای دانش‌آموزان مفید نیست. به عنوان یک پیشنهاد می‌توان این مدل را درحیاط مدرسه و به کمک توپ‌هایی با قطرهای مختلف انجام داد.

شکل ۴: خورشید و سیارات در مدل فاصله و قطر

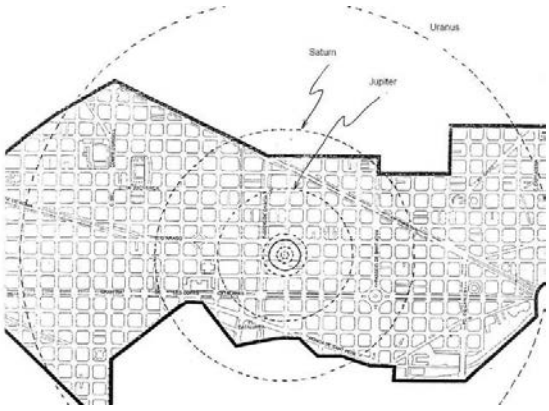
برای مثال، یک راه حل ساده برای اجرای این مدل، یک توپ بسکتبال با قطر تقریبی ۲۵ سانتی متر، به عنوان خورشید در یک گوشه حیاط قرار داده شود و سیارات به ترتیب: تیر، به اندازه‌ی سر یک سوزن ته گرد (۱ میلی متر) در فاصله‌ی ۱۰ متری، یک سوزن با سر بزرگ تر (۲ میلی متر)، در فاصله‌ی ۱۹ متری به عنوان ناهید، یک سوزن مشابه دیگر (قطر ۲ میلی متر) به عنوان زمین در فاصله ۲۷ متری، بهرام یک سوزن ته‌گرد کوچک (۱ میلی متر) در فاصله‌ی ۴۱ متری از خورشید قرار داده می‌شوند. در این حالت معمولا حیاط مدرسه به پایان می‌رسد. حال برای ادامه، می‌بایست به بیرون از مدرسه رفت و سیارات را در مکان‌هایی قرار داد که دانش آموزان با آنجا آشنا هستند و فاصله‌ی تقریبی را می‌دانند. سیاره‌ی مشتری، یک توپ پینگ پونگ (قطر ۲٫۵ سانتی متر) در فاصله‌ی ۱۴۰ متری، کیوان یک توپ پینگ پنگ (قطر ۲ سانتی متر) در فاصله‌ی ۲۵۰ متری، یک تیله‌ی شیشه‌ای (قطر ۱ سانتی متر) در فاصله‌ی ۵۰۰ متری به عنوان اورانوس، و در نهایت یک تیله شیشه‌ای دیگر (قطر یک سانتی متر) در فاصله‌ی ۸۰۰ متری، به عنوان نپتون قرار خواهند گرفت.

در نظر داشته باشید که این مدل منظومه شمسی در مدرسه جا نمی‌شود. با این حال اگر بخواهیم فاصله‌ها را کاهش دهیم، اندازه‌ی سیارات از سر سوزن کوچک تر خواهد شد و این درک مفاهیم و تصور آن‌ها را برای دانش‌آموزان مشکل می‌کند. به عنوان یک تمرین، مقیاسی برای توسعه این مدل، بدست آورید.

مدلی بر روی نقشه شهر

استفاده از نقشه شهر برای مشخص کردن موقعیت سیارات بر روی آن، یک ایده‌ی بسیار ساده است. برای این منظور خورشید را در ورودی مدرسه در نظر می‌گیریم. در این مثال، ما از نقشه شهر بارسلونا و اشیا متفاوت به عنوان سیارات (مثلا میوه و سبزیجات) استفاده کرده‌ایم و آن‌ها را در خیابان‌های متفاوت قرار داده‌ایم.

به عنوان تمرین، پیشنهاد می‌کنیم، این کار را بر روی نقشه شهر خود انجام دهید.



شکل ۵: نقشه‌ی شهر بارسلونا و چند سیاره

در نقشه نشان داده شده، تیر یک تخم خاویار، ناهید و زمین نخود، بهرام دانه فلفل؛ مشتری پرتقال، کیوان نارنگی، اورانوس و نپتون به اندازه گردو هستند. برای خورشید چون میوه ای وجود ندارد که به اندازه کافی بزرگ باشد، بنابراین می‌توان از دانش‌آموزان خواست که یک کره به اندازه یک ماشنی ظرفشویی در نظر بگیرند. مدرس می‌تواند فعالیت مشابه ای با توجه به شهر خود انجام دهد.

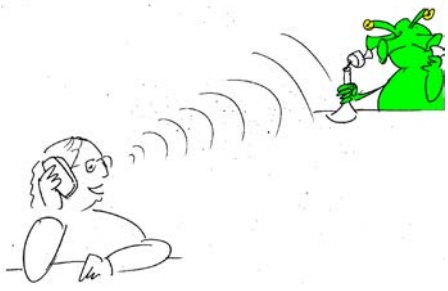
شکل۶: تصویری از شهر متز فرانسه.

در شهر متز(فرانسه) اجزای منظومه شمسی در خیابان‌ها و میادین پخش شده اند، هم‌چنین تابلویی از اطلاعات در کنار آن‌ها، برای افرادی که در آن مکان‌ها قدم می‌زنند قرار داده شده است.

مدل فاصله‌ی نور

در ستاره‌شناسی از سال نوری به عنوان واحدی برای اندازه گیری استفاده می‌شود، که اغلب به عنوان واحد اندازه گیری زمان، اشتباه گرفته می‌شود. این مفهوم را به کمک مدل منظومه شمسی می‌توان نشان داد. سرعت نور سیصدهزار کیلومتر در ثانیه است، یعنی نور در مدت یک ثانیه مسافتی معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر را طی می‌کند. برای مثال، فاصله زمین تا ماه ۳۸۴,۰۰۰ کیلومتر است، و نور؛ این مسافت را درمدت ۱,۳ ثانیه طی می‌کند.

$$\frac{384{,}000}{300{,}000} = 1.3 \text{ seconds}$$



شکل۷: یک مثال دیگر

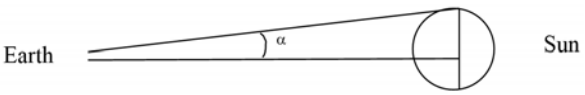
با استفاده از این واحد، می‌توان از دانش آموزان خواست، تا زمان مورد نیاز برای رسیدن نور خورشید به هر سیاره را محاسبه کنند. (برای مدرس، زمان مورد نیاز برای رسیدن نور خورشید به هر سیاره: تیر ۳/۳ دقیقه، ناهید ۶ دقیقه، زمین ۸/۳ دقیقه، بهرام ۱۲/۷ دقیقه، مشتری ۴۳/۲دقیقه، کیوان ۱/۳۲ساعت، اورانوس ۲/۶۶ ساعت، نپتون ۴/۱۶ ساعت.) از دانش‌آموزان بخواهید که یک ویدئوکنفرانس بین خورشید و سیارات را تصور کند.

ما در اینجا فاصله نزدیک ترین ستاره را معرفی می‌کنیم، تا دانش آموزان فاصله بسیار زیاد بین ستارگان را تجسم و به علت سخت بودن کشف سیارات فراخورشیدی پی ببرند.

آلفا- قنطورس با فاصله ۴,۳۷ سال نوری یا ۴,۱۳ کیلومتر نزدیک ترین ستاره به ما است. شما می‌توانید از دانش‌آموزان بخواهید تا با استفاده از مدل‌های منظومه شمسی، فاصله تا این ستاره را محاسبه کنند. در مدل حیاط مدرسه، اگر هر ۱ سانتی متر را معادل ۵۶۰۰۰ کیلومتر در نظر گیریم، این ستاره در فاصله ۷۳۷۵ کیلومتری خواهد بود.

مدل محاسبه اندازه ظاهری قطر خورشید از روی هر سیاره

از هر سیاره، برای مثال زمین، زاویه خورشید α است. برای مقادیر کوچک α، ما $\tan \alpha \approx \alpha$ را قرار می‌دهیم. (برحسب رادیان)



شکل۸: از زمین، خورشید با زاویه α دیده می‌شود.

می‌دانیم که قطر خورشید $1/4 \times 10^6$ در نتیجه شعاع آن $0/7 \times 10^6$ است و فاصله زمین تا خورشید 150×10^6 کیلومتر است. در نتیجه:

$$\alpha \approx tg\alpha = \frac{0{,}7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0{,}0045 \; radians$$

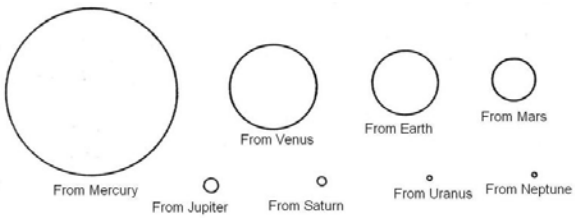
و برحسب درجه

$$\frac{0{,}0045 \cdot 180}{\pi} = 0{,}255^\circ$$

اندازه خورشید از روی زمین حدود $0{,}51^\circ \approx 2 \times 0/255$، نیم درجه خواهد بود. به صورت مشابه نیز برای سایر سیارات، می‌توان محاسبه کرد، اندازه خورشید را در جدول ۲ محاسبه کرده ایم و می‌توان به کمک این جدول اندازه نسبی خورشید را نشان داد(شکل ۹).

سیاره	۲tan α	۲ α (°)	۲ α (°) aprox
تیر	۰٫۰۲٤	۱٫۳۸۳	۱٫٤
ناهید	۰٫۰۱۲۹	۰٫۷٤۳	۰٫۷
بهرام	۰٫۰۰٦	۰٫۳۵۲	۰٫٤
مشتری	۰٫۰۰۱۸	۰٫۱۰۳۱	۰٫۱
زحل	۰٫۰۰۰۹۷۹	۰٫۰۵۷	۰٫۰٦
اورانوس	۰٫۰۰۰٤۸	۰٫۰۲۷۸٦	۰٫۰۳
نپتون	۰٫۰۰۰۳	۰٫۰۱۷۸	۰٫۰۲

جدول۲: اندازه خورشید در سیارات مختلف



شکل۹: خورشید از سیارات: تیر، ناهید، مریخ، مشتری، اورانوس و نپتون.

مدل چگالی

هدف این مدل، یافتن موادی با چگالی مشابه سیارات منظومه شمسی است، تا به راحتی بتوانیم در دستان خودمان، چگالی آن‌ها را احساس کنیم.

	Density (g/cm^3)
خورشید	۱٫٤۱
تیر	۵٫٤۱
ناهید	۵٫۲۵
زمین	۵٫۵۲
ماه	۳٫۳۳
بهرام	۳٫۹
مشتری	۱٫۳۳
زحل	۰٫۷۱
اورانوس	۱٫۳
نپتون	۱٫۷

جدول ۳: چگالی اجرام در منظومه شمسی

شکل ۱۰: مدل چگالی

چگالی	سایر مواد	چگالی	مواد معدنی
۱٫۳	گلی سیرین	۲٫۳	گچ
۰٫۲٤	Cork	۲٫٦	اورتوکلاز
۲٫۷	آلومینیوم	۲٫۲–۱٫۱	گوگرد
۷٫۸٦	آهن	۲	آلیت
۳٫۱ – ۲٫۷	سیمان	۲٫٦۵	کوارتز
۲٫۸ – ۲٫٤	شیشه	۱٫۷	براکس
۷٫۳	قلع	٤	سنگ روی
۲٫۵ – ۱٫۸	خاک رس	۵٫۲	پیریت
۱٫۲۵	باکلیت	۵٫٤	گلبول قرمز
۰٫۹۰	چوب بلوط	۲٫۷	کلسیت
۰٫۵۵	چوب کاج	۷٫۵	سرب

جدول۴: مثالی از چگالی اجسام مختلف

جدول سه، چگالی سیارات را با چگالی مواد معدنی متفاوتی(که مجموع ای از آن‌ها در آزمایشگاه هر مدرسه ای یافت می‌شود)، یا سایر موادی که به آسانی یافت می‌شود، مانند شیشه، سرامیک، چوب و... مقایسه کرده است. به کمک جدول ۴، مواد با چگالی مورد نظر را بیابید.

اگر از موادی غیر از مواد ذکر شده در جدول استفاده نمودید، به راحتی می‌توان چگالی آن را محاسبه نمود. تکه ای از آن را برداشته، وزن نمایید و جرم آن را بدست آورید، سپس با انداختن آن در ظرف آب، حجم آن را حساب کنید. چگالی را از طریق فرمول زیر می‌توان بدست آورد:

$$d = \frac{m}{V}$$

دانش آموزان باید در نظر داشته باشند چون چگالی کیوان

کمتر از یک است، بنابراین بر روی آب شناور می‌ماند.

مدل صاف کردن سیارات

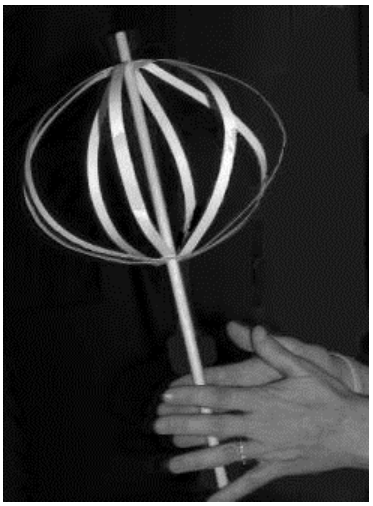
برای تجسم تغییر شکل سیارات گازی بر اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخششان، ما یک مدل ساده می‌سازیم.

با توجه به شکل ۹، با یک چوب و تعدادی نوارهای کاغذی، می‌توان یک مدل ساده برای درک مسطح شدن سیارات در اثر چرخش، بسازیم.

۱. نوارهایی به عرض ۱ سانتی متر و طول ۳۵ سانتی متر برش دهید.

۲. هر دو انتهای نوارها را به یک چوب استوانه ای شکل به طول ۵۰ سانتی متر وصل کنید. قسمت بالایی نوارها را چسبانده تا نتوانند حرکت کنند، اما قسمت پایین را آزاد بگذارید تا به هنگام چرخش بتوانند به راحتی حرکت کنند.

۳. چوب استوانه ای را در میان دو دست خود قرار دهید و شروع به چرخاندن آن در یک جهت و سپس جهت دیگر نمایید. تغییر شکل نوارهای کاغذی در اثر نیروی گریز از مرکز را مشاهده خواهید نمود(شکل ۱۱) این نیرو به صورت مشابه در سیارات نیز عمل می‌کند.



شکل۱۱: مدلی برای شبیه سازی پخ شدگی

مدلی برای دوره‌ی سیارات

سیارات با سرعت و دوره‌ی مداری متفاوتی به دور خورشید در حال گردش هستند (جدول۵). با دانستن دوره چرخش و میانگین فاصله سیاره تا خورشید، می‌توان سرعت میانگین مداری سیاره در مدار را به دست آورد. برای مثال زمین را نظر بگیرید، البته می‌توان این کار را برای سایر سیارات نیز انجام داد.

مسافت مدار انتقالی برابر با $L=2\pi R$، است، بنابراین سرعت میانگین مداری برابر است با $v = L / T = 2\pi R / T$. برای زمین دوره ی انتقالی برابر با ۳۶۵ روز و بنابراین با توجه فاصله زمین تا خورشید که برابر با $Sun\ R = 150 \times 10^6\ km$ است، سرعت $v = 2{,}582{,}750\ km / day = 107{,}740\ km / h = 29.9\ km / s$ خواهد بود. همچنین در نظر داشته باشید که خورشید با سرعت $220\ km / s$ یا به عبارتی $800{,}000\ km / h$ در حال حرکت به دور مرکز کهکشان است.

سیاره	دوره تناوب مداری (روز)	فاصله از خورشید (km)	سرعت میانگین مداری (km/s)	سرعت میانگین مداری (km/h)
تیر	۸۷٫۹۷	۵۷/۹×۱۰^۶	۴۷٫۹۰	۱۷۲۴۴۰
ناهید	۲۲۴٫۷۰	۱۰۸/۳×۱۰^۶	۳۵٫۰۲	۱۲۶۰۷۲
زمین	۳۶۵٫۲۶	۱۴۹/۷×۱۰^۶	۲۹٫۷۸	۱۰۷۲۰۸
بهرام	۶۸۶٫۹۷	۲۲۸/۱×۱۰^۶	۲۴٫۰۸	۸۶۶۸۸
مشتری	۴۳۳۱٫۵۷	۷۷۸/۷×۱۰^۶	۱۳٫۰۷	۴۷۰۵۲
زحل	۱۰۷۵۹٫۲۲	۱۴۳۰/۱×۱۰^۶	۹٫۶۹	۳۴۸۸۴
اورانوس	۳۰٫۷۹۹٫۱۰	۲۸۷۶/۵×۱۰^۶	۶٫۸۱	۲۴۸۷۶
نپتون	۶۰۱۹۰٫۰۰	۴۵۰۶/۶×۱۰^۶	۵٫۴۳	۱۹۵۵۸

جدول ۵: داده‌های مداری سیارات منظومه شمسی

تیر، سریع‌ترین و نزدیک‌ترین سیاره به خورشید و نپتون، دورترین و کندترین سیاره است. رومیان باستان متوجه شدند که تیر بسیار سریع حرکت می‌کند بنابراین آن را پیام‌رسان خدایان نامیده و با پاهای بالدار نمایش دادند. یک سال در سیاره‌ی تیر، ۸۸ روز به طول می‌انجامد. برای مثال، اگر چند هفته با چشم غیر مسلح به رصد بپردازیم، مشتری و زحل را خواهیم دید که آهسته‌تر از بهرام و ناهید درمیان صورت‌های فلکی دایره البروج جابه جا می‌شوند.

شکل۱۲: شبیه سازی حرکت دایره ای سیارات.

این یک آزمایش ساده برای تجربه‌ی رابطه‌ی بین فاصله و دوره‌ی مداری است.

یک جسم نیمه سنگین مثلا گردو را به یک نخ وصل می‌کنیم. انتهای نخ را از محلی که آزاد است در دست می‌گیریم، سپس شروع به چرخاندن آن در بالای سر کرده، با افزایش طول نخ مشاهده می‌کنیم که زمان بیشتری برای طی کردن مدار نیاز است و اگر نخ را به داخل بکشیم (کوتاه کنیم) زمان کمتری نیاز خواهد داشت.

با استفاده از اجیل و نخ‌های به طول متفاوت می‌توان این مدل را توسعه داد (همه‌ی آن‌ها در مدارهای دایره ای حرکت می‌کنند). با اینحال به جای بریدن نخ‌هایی با طول متفاوت، می‌توانید نخ‌ها را با طول ۲۰ سانتی متر برش دهید، و سپس با یک مقیاس نسبی، فاصله مناسب از جسم را با یک گره مشخص کنید. سپس نخ را در محل گره در دست خود قرار دهید.

برای استفاده از این مدل، ما باید یک سر نخ را در محل گره در دست نگه داشته، و سپس شروع به چرخش آن با حداقل سرعت ممکن در صفحه ای موازی کرده، تا جسم ما در مدار خود باقی بماند. مشاهده می‌کنیم که اجسام با شعاع کمتر، زمان کوتاه‌تری نیز برای چرخش نیاز دارند.

مدل گرانش سطحی

فرمول نیروی گرانش، $F = G\frac{Mm}{d^2}$ ، به ما اجازه‌ی محاسبه گرانش سطحی g، وارده بر سطح سیاره ای با جرم M را می‌دهد. با درنظر گرفتن جرم واحد(m = ۱) بر سطح سیاره (d = R شعاع سیاره)، و ثابت جهانی گرانش $G = 6.67 \times 10^{-11}\ m^3\ kg^{-1}\ s^{-2}$، می‌توان جاذبه‌ی سطحی را بدست آورد. اگر جرم سیاره از رابطه‌ی $M = 4/3\ \pi R^3\ \rho$ که ρ چگالی سیاره و R شعاع سیاره باشد، ما بدست می‌آوریم:

$$g = 4/3\ \pi G\ \rho R$$

با جایگزین کردن مقادیر مربوط به هر دو متغییر طبق جدول ۶ (شعاع بر حسب متر، چگالی بر حسب kg/m^3 و $1\ kg/m^3 = 1000\ kg/m^3 = g/cm^3$) می‌توان مقدار جاذبه‌ی سطحی هر سیاره را محاسبه نمود.

اجرام	R متوسط شعاع (km)	چگالی (g/cm^3)	g گرانش سطحی ($m \cdot s^{-2}$)
ماه	۱۷۳۸	۳،۳	۱،۶۲
تیر	۲۴۳۹	۵،۴	۳،۷۰
ناهید	۶۰۵۲	۵،۳	۸،۸۷
زمین	۶۳۷۸	۵،۵	۹،۸۱
بهرام	۳۳۹۷	۳،۹	۳،۷۱
مشتری	۷۱۴۹۲	۱،۳	۲۴،۸
زحل	۶۰۲۶۸	۰،۷	۸،۹۶
اورانوس	۲۵۵۵۹	۱،۲	۸،۶۹
نپتون	۲۵۲۶۹	۱،۷	۱۱،۰۰

جدول ۶: اندازه، چگالی و جاذبه‌ی سطحی اجرام منظومه شمسی

به دو مثال زیر توجه کنید:

$g_{تیر} = 4/3\ \pi\ G \cdot 2439 \times 10^3\ m. 5400\ kg/m^3 = 3.7\ m/s^2,$

$g_{ناهید} = 4/3\ \pi\ G \cdot 6052 \times 10^3\ m. 5300\ kg/m^3 = 8.9\ m/s^2.$

به صورت مشابه می‌توان g را برای سایر سیارات نیز بدست آورد، در جدول ۷، مقادیر جاذبه ی سطحی نسبت به زمین با حرف g نشان داده شده است.

مدل ترازوی عقربه ای

هدف این مدل، بهینه کردن ۹ ترازوی عقربه ای (هشت

سیاره و ماه) است که دانش آموزان به کمک آن وزن خود در سایر سیارات و ماه را بدست آورند.

مراحل برای همه‌ی سیارات یکسان است. ایده‌ی اصلی تعویض صفحه‌ی اعداد روی هر ترازو، با صفحه‌ی اعداد متناسب با سیاره‌ی اصلی است.

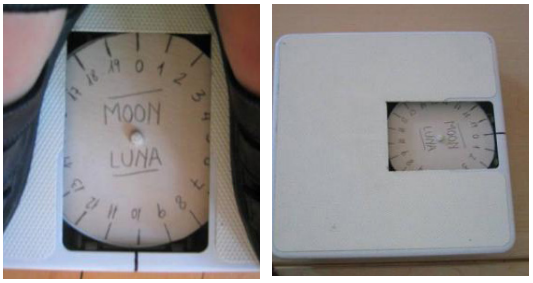
در ابتدا ترازو را باز می‌کنیم. در همه ی تراوزها، دو عدد فنر تنظیم کننده وجود دارد. در نظر داشته باشید که در پایان کار فنرها را باید به جای خود برگردانیم.(شکل۱۳)

پس از باز کردن، صفحه اعداد را تعویض یا مقادیر مورد نظر را روی آن می‌نویسیم.

در جدول زیر مقادیر جاذبه سطحی ماه و سیارات($m \cdot s^{-2}$) نوشته شده است. در ستون اول، مقادیر مطلق و در ستون دیگر مقادیر نسبی با توجه به جاذبه سطحی زمین ذکر شده است. ما از این مقادیر برای تبدیل وزن زمینی به وزن سیاره‌ی مورد نظر استفاده می‌کنیم. در پایان، ترازو را می‌بندیم. حال می‌توانیم وزن خود در سایر سیارات را بدست آوریم.

اجرام	g گرانش سطحی مطلق ($m \cdot s^{-2}$)	g گرانش سطحی نسبی (نسبت به زمین)
ماه	۱٫۶۲	۰٫۱۶
تیر	۳٫۷۰	۰٫۳۷
ناهید	۸٫۸۷	۰٫۸۶
زمین	۹٫۸۱	۱٫۰۰
بهرام	۳٫۷۱	۰٫۳۸
مشتری	۲۴٫۷۹	۲٫۵۳
زحل	۸٫۹۶	۰٫۹۱
اورانوس	۸٫۶۹	۰٫۸۸
نپتون	۱۱٫۰۰	۱٫۱۲

جدول ۷: مقدار مطلق و نسبی جاذبه‌ی سطحی اجرام منظومه شمسی



شکل۱۳: ترازو با مقیاس عوض شده

شکل ۱۴: منظومه شمسی با ترازو

مدل دهانه‌ها

بیشتر دهانه‌های منظومه‌ی شمسی ناشی از آتش‌فشان نیستند، بلکه بر اثر برخورد شهاب‌سنگ‌ها با سطح سیارات و قمرها به وجودآمده اند.

۱. در ابتدا به منظور رعایت نظافت، کف زمین یک روزنامه قدیمی پهن کنید.

۲. سپس به کمک یک الک، لایه ای آرد به ضخامت۲-۳ سانتی متر ایجاد کنید.

۳. سپس یک لایه‌ی میلی‌متری نازک از پودر کاکائو به کمک الک روی آن ایجاد کنید.

۴. از ارتفاع دو متری، یک قاشق غذا خوری پودر کاکائو رها کنید. دهانه‌های برخوردی شما ایجاد می‌شوند.

شکل ۱۵: سمت چپ: شبیه سازی دهانه‌ها، سمت راست: نتیجه برخورد

۵. ممکن است با تغییر ارتفاع، جرم، نوع ماده و ...دوباره آزمایش کنید. در برخی موارد شما می‌توانید دهانه‌هایی با قله‌ی مرکزی بسازید.

مدل سرعت فرار

اگر سرعت پرتاب یک موشک به اندازه‌ی کافی زیاد نباشد، نیروی جاذبه‌ی سیاره، موشک را به سطح زمین برمی‌گرداند. اگر سرعت پرتاب به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد، موشک می‌تواند از دام میدان گرانش سیاره فرار کند. اجازه دهید تا سرعت مورد نیاز برای فرار موشک، یا همان حداقل سرعت پرتاب یا سرعت فرار را محاسبه کنیم.

فرمول حرکت با شتاب ثابت را در نظر بگیرید که در آن e مسافت طی شده و a شتاب است:

$$e = \tfrac{1}{2}\, at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0$$

اگر ما شتاب را با g جایگزین و سرعت اولیه را برابر با صفر در نظر گرفته، بر سطح سیاره $R = \tfrac{1}{2}\, gt^2$ و $v = gt$ بدست می‌آوریم. بعد از حذف زمان متغییر:

$$v = \sqrt{2gR}$$

سپس می‌توان مقادیر g و R را با مقادیر ارائه شده در جدول ۶ جایگزین و مقدار سرعت فرار را بدست آورد.

اما از روش دیگری نیز می‌توان سرعت فرار را محاسبه کرد.

محاسبه‌ی سرعت فرار با استفاده از فرمول‌های انرژی جنبشی و پتانسیل:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \qquad E_p = -G\frac{Mm}{R}$$

$$\frac{1}{2}mv_e^{\,2} - G\frac{Mm}{R} = 0$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}$$

که ve، سرعت فرار

G ثابت جهانی گرانش ($۶/۶۷۲ \times ۱۰^{-۱۱}\ \mathrm{N\,m^۲/kg^۲}$)،

M جرم ستاره، m جرم پرتابه، R شعاع ستاره،

g شتاب گرانش بر سطح ستاره. بر روی زمین، $g = ۹/۸۱\ \mathrm{m/s}$.

برای مثال ما سرعت فرار برخی از سیارات را محاسبه می‌کنیم، مثلا زمین:

$$v_{\text{زمین}} = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9.81\ \mathrm{m\,s^{-2}} \cdot 6378 \times 10^3\mathrm{m})^{1/2}$$

$$= 11186\ \mathrm{m/s} \approx 11.2\ \mathrm{km/s}$$

به صورت مشابه، برای کوچکترین سیاره، تیر:

$$v_{\text{تیر}} = (2 \cdot 3.78\ \mathrm{m\,s^{-2}} \cdot 2439 \times 10^3\mathrm{m})^{1/2}$$

$$= 11186\ \mathrm{m/s} \approx 11.2\ \mathrm{km/s}$$

برای بزرگ ترین سیاره، مشتری:

$$v_{\text{مشتری}} = (2 \cdot 23.1\ \mathrm{m\,s^{-2}} \cdot 71492 \times 10^3\mathrm{m})^{1/2}$$

$$= 57471\ \mathrm{m/s} \approx 57\mathrm{km/s}.$$

بدیهی است که پرتاب موشک از روی تیر خیلی آسان تر از زمین است، اما پرتاب از روی مشتری با سرعت فرار ۶۰ km/s سخت است.

برای مقایسه نتایج به‌دست آمده، سرعت فرار در اجزای منظومه شمسی به شرح زیر می‌باشد:

(تیر ۴٫۳ km/s، ناهید ۱۰٫۳ km/s، زمین ۱۱٫۲ km/s ، مریخ ۵٫۰ km/s، مشتری ۵۹٫۵ km/s، کیوان ۳۵٫۶ km/s، اورانوس ۲۱٫۲ km/s، نپتون ۲۳٫۶ km/s)

مدل موشک با قرص جوشان

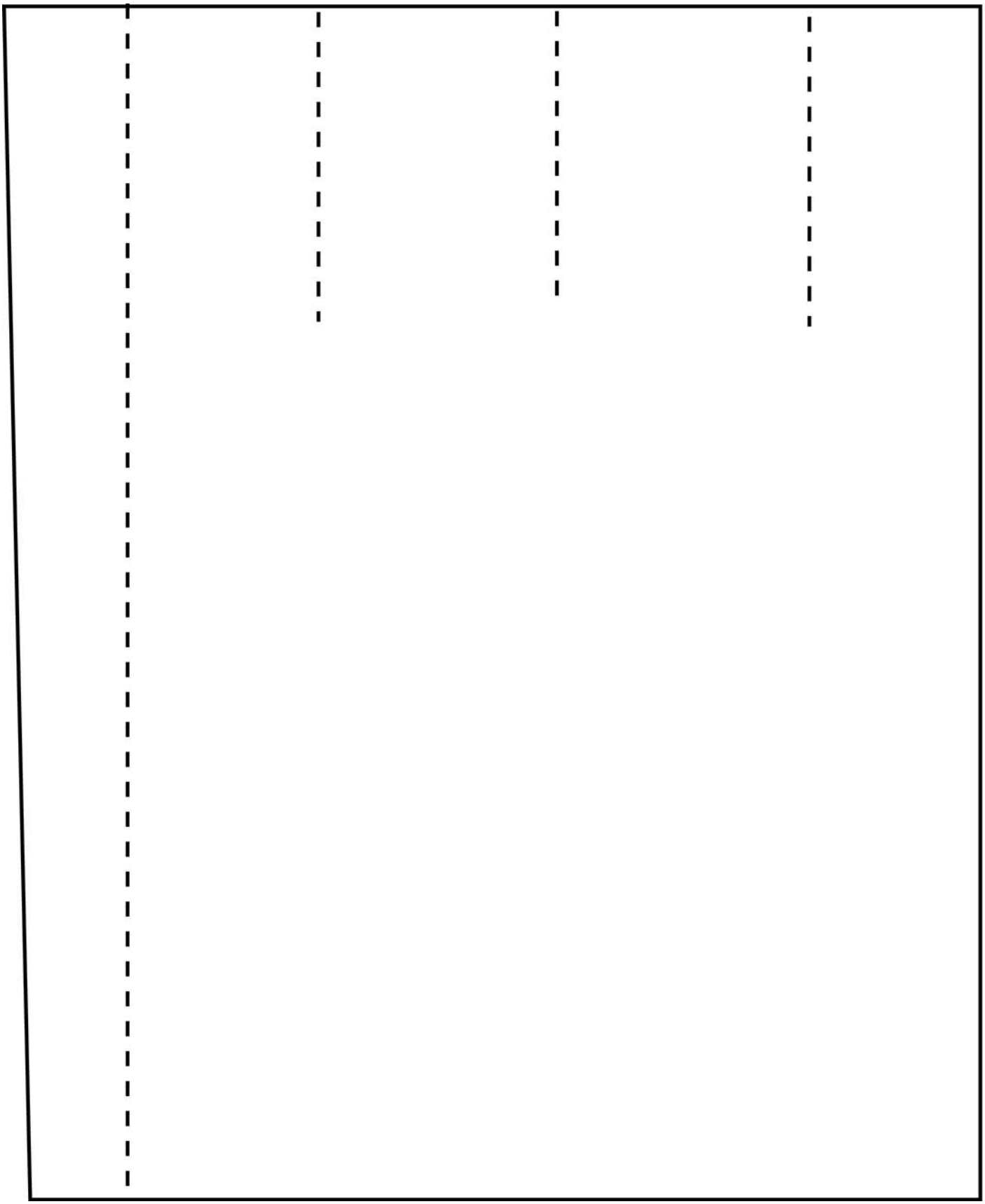
با استفاده از آسپرین یا قرص جوشان به عنوان محرک، می‌توان یک موشک ایمن در محیط کلاس ساخت.

با استفاده از مدل، از روی محل خط های کامل برش ایجاد کرده و سپس از روی نقطه چین‌ها تا می‌زنیم.

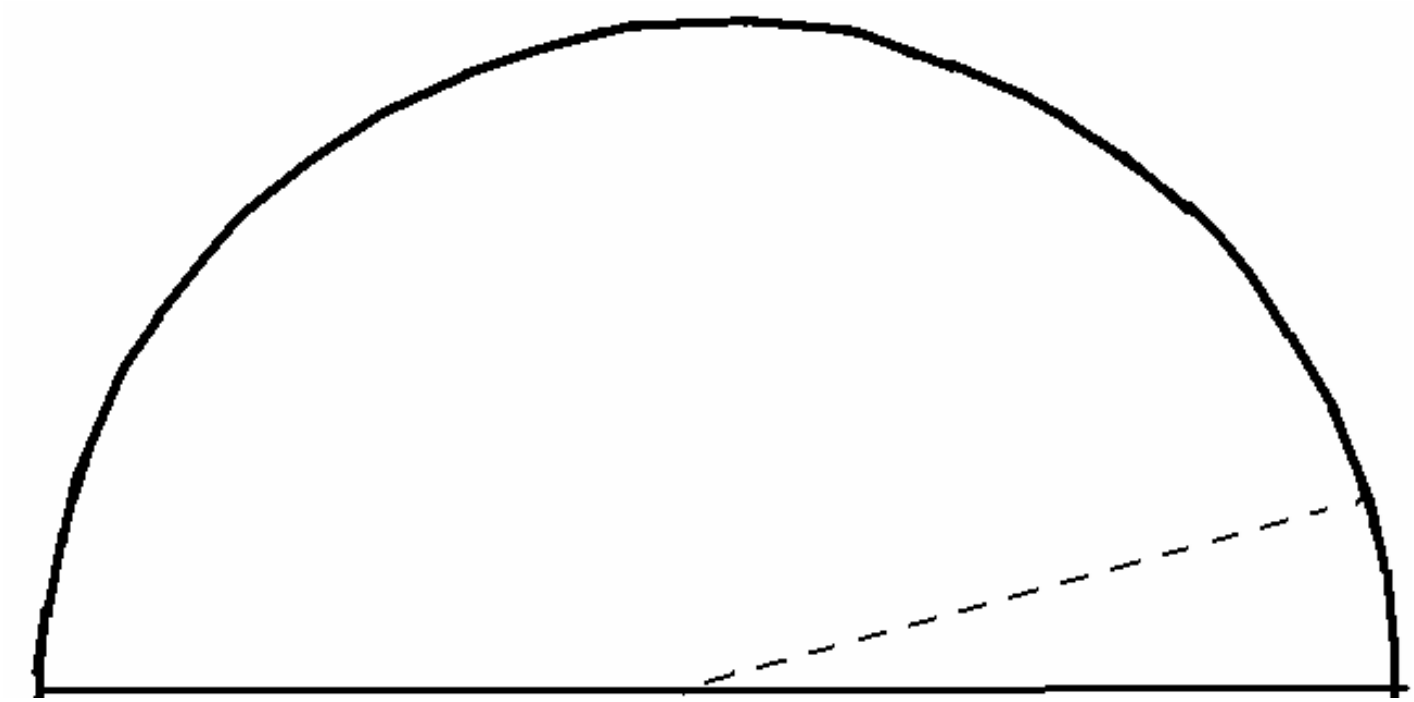
سپس از یک جعبه نگهداری دارو یا غذای ماهی استفاده می‌کنیم مطمئن شوید که محفظه درون استوانه موشک به خوبی قرار می‌گیرد. سپس پایه‌های نگهدارنده را به موشک وصل کنید و در پایان مخروط سر را قرار دهید.

شکل۱۶: فرایند ساخت موشک در چهار مرحله

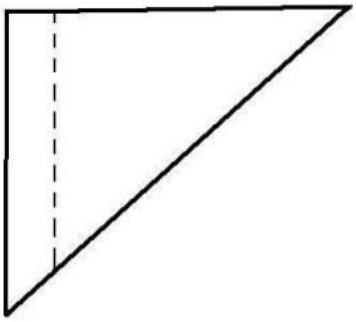
بعد از ساختن موشک، پرتاب را باید آغاز کرد. برای این منظور یک سوم ظرف (معادل یک سانتی متر) را آب می‌کنیم و یک چهارم قرص جوشان را در آن می‌اندازیم. در ظرف را بسته و موشک را روی آن قرار می‌دهیم. بعد از یک دقیقه موشک پرتاب می‌شود. بدون شک می‌توان این آزمایش را بارها وبارها انجام داد ولذت برد.(در حالت حداکثر سه چهارم آسپرین می‌ریزیم و از پرتاب لذت می‌بریم.) همچنین می‌توان از بی‌کربنات و سرکه نیز برای پرتاب موشک استفاده کرد.



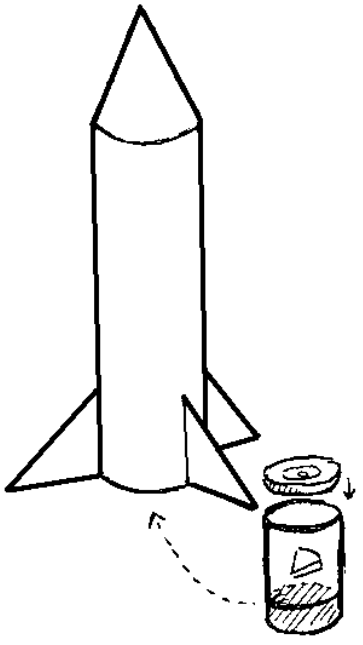
شکل۱۹: بدنه موشک. در محدوده نقطه چین‌ها، پایه‌ها را قرار دهید.



شکل۱۹ C: درپوش موشک



شکل۱۹: مدلی برای سه پایه



شکل۱۸: یک طرح ساده

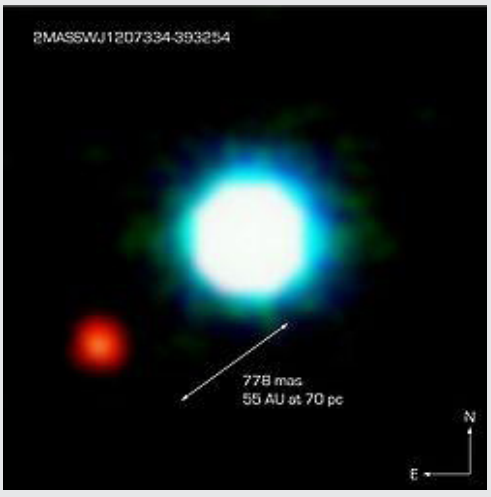
فراخورشیدی

ستاره شناسان، ۴۰۰۰ سیاره و ۵۰۰ سیستم چندگانه سیاره ای کشف کرده اند. در شکل یک، تصویر یکی از اولین سیاراتی که عکس برداری شده است را مشاهده می‌کنید.

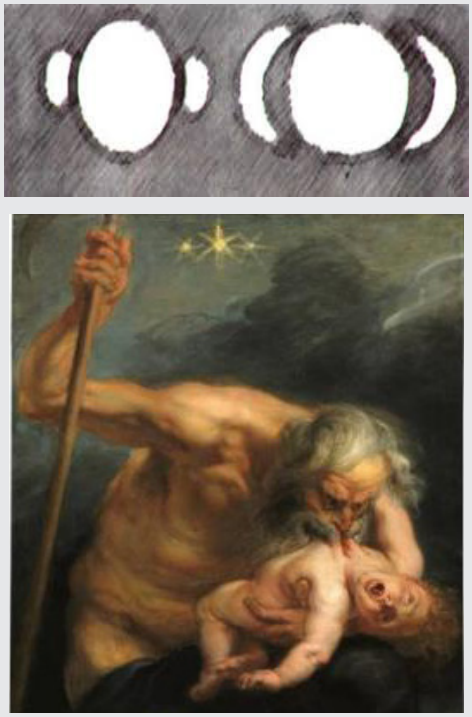
تمام موضوعات این کارگاه، بخشی از تحولات تکنولوژی می‌باشد که پیشرفت در این زمینه موجب شده است. برخی موارد ممکن است در آینده از اهمیت آن‌ها کاسته شود؛ اما خوب است که در کلاس درس مطرح شوند. این شاخه به‌شدت در حال رشد است و ممکن است، برخی از بخش‌های آن به بروزرسانی نیاز داشته باشند.

اجازه دهید تا با یک مثال از تاریخ نجوم شروع کنیم. در سال ۱۶۱۰ گالیله برای اولین بار به زحل نگاه کرد. او متوجه نشد، پیرامون سیاره حلقه ای وجود دارد. در عوض او زحل را خوشه ستاره ای سه جزیی در نظر گرفت.

ما باید صبر می‌کردیم تا هویگنس با تلسکوپ قوی تر خود به زحل نگاه کند و راز حلقه‌های آن را کشف کند. برای چندین سال، جامعه‌ی علمی ساختار زحل را اشتباه تفسیر کرد. نمونه ای از آن را می‌توان در نقاشی وربین ۱۳۶۳-۱۶۳۸ دید. او با توجه به مشاهدات گالیله، کیوان به مانند سه ستاره ترسیم کرد.



شکل ۲۰: اولین سیاره (2M1207b که در ۱۶ مارس ۲۰۰۳) با تلسکوپ ۸ متری .VLT جرم آن ۳-۱۰ برابر جرمخورشید است و در مداری به فاصله ۴۱ واحد نجومی از ستاره مادر که یک کوتوله قهوه ای است، قرار دارد. در سال ۲۰۰۶ یک دیسک غباری پیرامون ستاره مرکزی کشف شد، که شواهدی برای ادامه سیاره سازی در این سیستم جوان را فراهم آورد.(منبع: ESO)



شکل ۲۱: زحل در نقاشی روبین(۱۶۳۶-۱۶۳۸) و نقاشی گالیله در ۱۶۱۰.

در همین راستا، خوب است به یاد بیاوریم که پس از کشف سرس در قرن ۱۹ (۱۸۰۱ تا ۱۸۵۰)، این جرم در رده سیارات دسته بندی شد، اما بعدها به عنوان یک سیارک در نظر گرفته شد. به صورت مشابه، زمانی که در سال ۱۹۳۰ پلوتو کشف شد، در ابتدا به عنوان سیاره اما بعدها در سال ۲۰۰۶ در رده سیارات کوتوله دسته بندی شد. بنابراین ، برخی از اطلاعات ما در مورد سیارات فراخورشیدی، در آینده مورد تجدید نظر قرار خواهد گرفت، اما این موضوع نباید ما را از معرفی این شاخه در مراکز آموزشی باز دارد.

معرفی فرا خورشیدی‌ها

سیارات فراخورشیدی، سیاراتی هستند که به دور ستاره ای غیر از خورشید ما در حال گردش هستند و به منظومه‌ی شمسی تعلق ندارند، NASA فهرستی (/http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu) با بیش از ۴۰۰۰ سیاره را در سال ۲۰۱۹ منتشر کرد. نام گذاری سیارات فراخورشیدی ساده و برآمده از روشی است که برای ستارگان دوتایی استفاده می‌شود. برای نام گذاری سیاره فراخورشیدی حرف A در نظر گرفته نمی‌شود و اولین سیاره کشف شده با حرف b بعد از نام ستاره مشخص می‌شود(برای مثال: Pegasi b51) سایر سیاره‌های کشف شده پس از آن به ترتیب

با حروف بعدی الفبا: b,c,d,e,... نشان داده می‌شوند(برای نمونه: ۵۱ Pegasi c, ۵۱ Pegasi d, ۵۱ Pegasi e or ۵۱ Pegasi f). ترتیب حروف ارتباط با دوره ی مداری سیارات یا سایر ویژگی‌های آن‌ها ندارد. علاوه بر این، در سال ۲۰۱۹ اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، برای ۱۹ سیاره فراخورشیدی کشف شده، نام‌هایی پیشنهاد کرد. برای مثال: سیستم ستاره اپسیلون آندرومدا(به جدول ۸ نگاه کنید)، ستاره اصلی(Ups And) دارای نام Titawin نیز می‌باشد و سیارات b,c و d با نام‌های Samh، Saffar و Makriti نام گذاری شدند. البته امروزه این نام‌ها توسط کمیته‌های تخصصی و حتی منجمان آماتور نیز استفاده نمی‌شود.

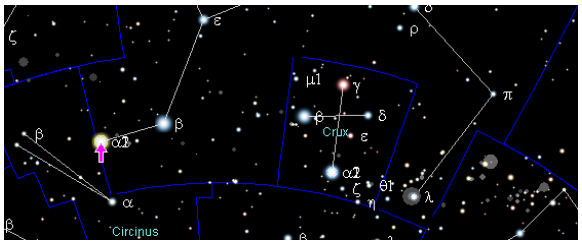
شناسایی سیستم‌های فراخورشیدی

آلفا یا پروکسیما قنطورس، به عنوان نزدیک ترین ستاره‌ها به ما در فاصله ی ، ۴٫۵ سال نوری است. این فاصله را می‌توان با فاصله ی سیارات خودمان در منظومه شمسی مقایسه کرد. آلفا - قنطورس نزدیک به ۱۰۰۰۰ برابر دورتر از آخرین سیاره ی منظومه شمسی، نپتون، از ما قرار دارد، این فواصل عظیم شناسایی سیارات پیرامون ستارگان را بسیار سخت می‌کرد، تا اینکه تکنولوژی‌های رصدی در پایان قرن گذشته رو به پیشرفت رفت.

آلفا- قنطورس سومین ستاره پرنور آسمان شب است. این ستاره در واقع یک سیستم سه گانه است که از یک دوتایی، آلفا قنطورس A و B به همراه یک ستاره کوتوله با نام پروکسیما قنطورس تشکیل شده است. پیرامون ستاره سوم که یک کوتوله قرمز است، یک سیاره سنگی با ویژگی‌های بسیار شبیه به زمین کشف شد: پروکسیما b، نزدیک ترین فراخورشیدی به زمین که به صورت مستقیم مشاهده نشده است.این سیاره از طریق اختلال کوچک ایجاد شده در مدار ستاره که ناشی از اثرات میدان مغناطیسی سیاره بود، کشف شد. این آشفتگی موجب شناسایی سیاره و برخی از ویژگی‌های آن شد.

این سیاره هر۱۱ روز به دور ستاره مادر می‌چرخد، کمی بزرگ تر از زمین بوده و احتمالا داری سطحی جامد است.

ویژگی بارز این سیاره فرخورشیدی، نزدیکی آن به ستاره مادر، پروکسیما قنطورس است. این سیاره در فاصله تقریبی ۵ درصد مسافت زمین- خورشید، یعنی حدود ۰٫۰۵ واحد نجومی است. اگر ستاره مادر این سیاره مانند خورشید بود، این سیاره را به جهنمی سوزان تبدیل می‌کرد. اما خوشبختانه ستاره مادر، یک کوتوله قرمز است، بنابراین سیاره در کمربند حیات قرار دارد. کوتوله قرمزی به مانند پروکسیما قنطورس، در حدود ۱۲ درصد جرم خورشید و ۰٫۱ درصد درخشندگی آن را دارد. با این ویژگی‌ها، سیاره‌ی جدید، دمایی در حدود ۴۰ درجه زیر صفر

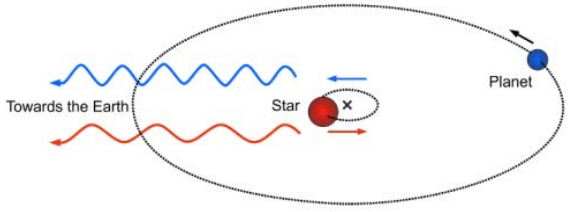


شکل ۲۲: آلفا قنطورس در نزدیکی صلیب جنوبی

یکی از راه‌های امکان وجود حیات در سیستم‌های سیاره ای پیرامون کوتوله قرمز این است که سیاره به اندازه ای به ستاره مادر نزدیک بوده که دمای آن امکان تشکیل آب به صورت مایع را فراهم کند. وقتی این اتفاق رخ دهد، در بسیاری از موارد شاهد پدیده چرخش همزمان خواهیم بود، مانند آنچه در مورد ماه شاهد هستیم. دوره حرکت انتقالی و چرخشی سیاره مشابه شده ، در نتیجه همیشه یک سمت سیاره به سوی ستاره مارد خواهد بود. این امر موجب می‌شود که در اثر تبخیر جو، یک سمت سوخته و سمت دیگر یخبندان شود. مگر آن که اتمسفر آن بسیار چگال تر از جو زمین بوده و با به جریان در آوردن گرمای زیاد، دما متعادل شود.

مقدمه سیارات فراخورشیدی

در حال حاضر دو روش برای شناسایی فراخورشیدی‌ها وجود دارد. هر دو روش غیر مستقیم بوده و شناسایی سیستم سیاره ای به کمک رصد ستاره مرکزی منظومه صورت می‌گیرد.



شکل ۲۳: روش سرعت شعاعی برای شناسایی سیارات.

Pegasus b 15 اولین سیاره ای بود که به کمک روش سرعت شعاعی پیرامون ستاره‌ی مرکزی در سال ۱۹۹۵ کشف شد. در این روش لرزش‌های ستاره‌ی مرکزی که ناشی از حرکت سیاره پیرامون آن است، اندازه گیری می‌شود. ستاره و سیاره به دور مرکز جرم می‌چرخند. این حرکت، موجب جابه جایی بسیار کمی در نور ستاره از قرمز به آبی می‌شود که ناشی از اثر داپلر است(شکل ۲۰). به کمک این روش، می‌توان جرم سیاره را با توجه به جرم ستاره مرکزی بدست آورد. در عمل، چینش اکثر

سیستم‌های سیاره ای کشف شده با این روش را نمی‌دانیم، از این رو، جرم سیاره‌های کشف شده را حداقل جرم در نظر می‌گیریم (به این معنا که جرم واقعی می‌تواند بیشتر باشد.)

روش گذر (ترانزیت)

یک روش مهم دیگر، روش گذر یا ترانزیت است. این روش بر اساس تغییرات مشاهده شده در نور ستاره‌ی مادر به هنگام عبور سیاره از مقابل ستاره و پوشیدن بخش کوچکی از قرص آن است (شکل ۱۸). به کمک روش گذر می‌توان اندازه سیاره Rp را در مقایسه با اندازه ستاره مرکزی R* از طریق فرمول زیر بدست آورد:

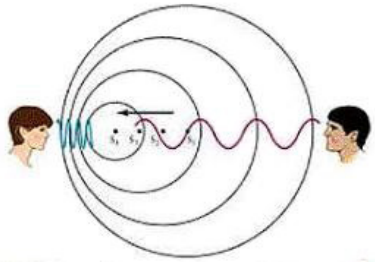
$$Rp / R_{*} = \sqrt{dF / F}$$

dF / F تغییر نسبی روشنایی به هنگام عبور سیاره است. (برای مثال dF / F = ۰٫۰۱ بیانگر کاهش ۱ درصدی نور ستاره در هنگام عبور است.)

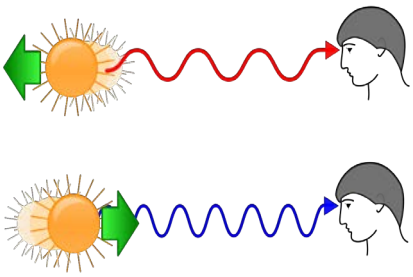
فعالیت ۵: اثر داپلر

همانطور که در قسمت انبساط جهان دیدیم، در اثر داپلر، طول موج صدا با حرکت منبع آن تغییر می‌کند. این اثر را به کمک یک ساعت زنگدار که در یک کیسه‌ی پارچه‌ای در بالای سرمان به چرخش درآورده ایم، می‌توان آزمود. هنگامی که ساعت به سمت حضار می‌رود، طول موج کوتاه وصدا زیر می‌شود و هنگامی که ساعت از آن‌ها دور می‌شود، طول موج زیاد و صدا بم می‌شود. شخصی که در مرکز چرخش قرار دارد، این تغییرات را حس نمی‌کند.

در سیستم‌های فراخورشیدی و ستاره، امواج نور، از ستاره متاثر می‌شوند. وقتی یک ستاره به ما نزدیک می‌شود، طول موج آن کاهش و به سمت قسمت آبی طیف مرئی جابه جا می‌شود . هنگامی که ستاره شروع به دور شدن می‌کند، طول موج افزایش و نور به سمت قرمز انتهای طیف مرئی جابه جا می‌شود.

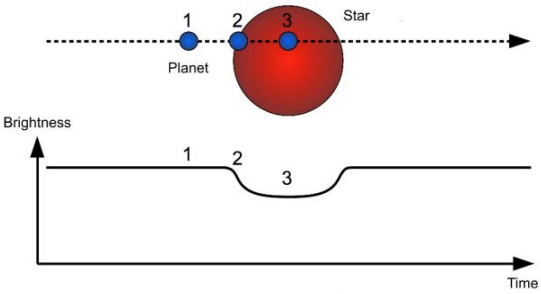


شکل ۲۴: وقتی منبع نزدیک می‌شود، طول موج کاهش و وقتی منبع شروع به دور شدن می‌کند، طول موج افزایش می‌یابد.



شکل ۲۵:وقتی منبع نزدیک می‌شود، آبی و وقتی دور می‌شود، قرمز به نظر می‌رسد.

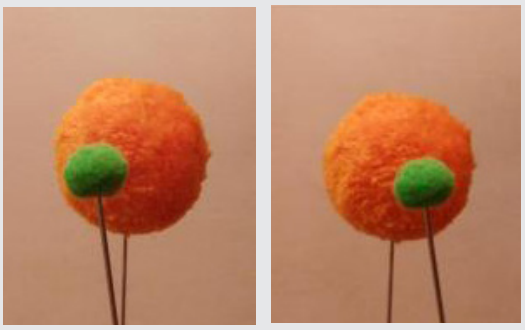
این اثر داپلر ناشی از حرکت نسبی است، و وقتی سیاره به دور ستاره‌ی مادر حرکت می‌کند رخ می‌دهد. وقتی سیاره‌ی فراخورشیدی، از ما دور می‌شود، طول موج به سمت قرمز، و وقتی به ما نزدیک می‌شود، طول موج به سمت آبی جابه‌جا می‌شود.



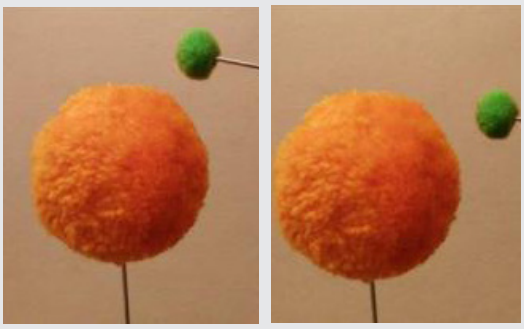
شکل ۲۶: روش گذر، برای شناسایی سیارات.

فعالیت ۶: شبیه سازی گذر

روش گذر را به کمک دو توپ ساده می‌توان شبیه سازی کرد. یک توب بزرگ به عنوان ستاره‌ی مادر و یک توپ کوچک به عنوان سیاره. اگر راستای دید رصدگر با صفحه‌ی مداری سیاره، به دور ستاره در یک راستا باشد، به هنگام عبور سیاره از مقابل خورشید، میزان درخشندگی نمودار ستاره کم و زیاد می‌شود (شکل ۲۷). روشن است که اگر رصدگر در راستای صفحه‌ی چرخش ستاره نباشد، تغییری در نمودار درخشندگی ایجاد نمی‌شود.



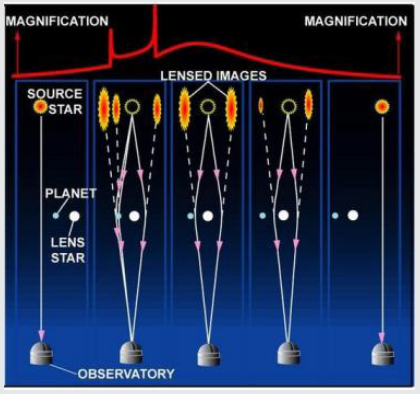
شکل ۲۷:ناظر در راستای صفحه‌ی چرخش باشد، می‌تواند عبور سیاره و تغییرات منحنی نوری را شناسایی کند.



شکل۲۸: ناظر خارج از صفحه‌ی چرخش سیاره باشد، نمی‌تواند تغییرات منحنی نوری را مشاهده کند.

روش عدسی میکرو گرانشی

روش دیگر که کمتر استفاده می‌شود، روش عدسی میکروگرانشی است. در این روش، عدسی که موجب افزایش درخشندگی ستاره‌ی زمینه می‌شود، ناشی از تراز شدن آن با سیاره‌ی فراخورشیدی و ستاره‌ی مادر است. سیستم فراخورشیدی به صورت یک عدسی عمل کرده و موجب روشنایی بسیار شاخصی می‌شود (خط قرمز در شکل ۲۹). برای اجرای این روش، سه جز (ستاره‌ی زمینه، سیستم فراخورشیدی و زمین) می‌بایست به صورت فرضی تراز باشند.



شکل ۲۹: مدل میکرولنزینگ برای شناسایی سیارات

شبیه سازی ریزعدسی

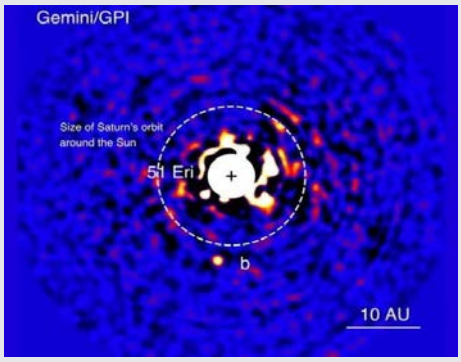
به کمک یک جفت لیوان پایه دار استفاده شده در بخش انبساط جهان، شناسایی سیاره‌ی فراخورشیدی به دور ستاره‌ی مادر را می‌توان شبیه سازی کرد. در ابتدا، تنها از یک لیوان استفاده کرده و چیزی مشاهده نمی‌کنیم. سپس از هر دو استفاده کرده در این حالت یک یا دو نقطه نمایان می‌شود.

شکل ۳۰: در ابتدا با یک عدسی

شکل ۳۰: عدسی دوم را بر روی عدسی اول قرار دهید، ابتدا یک و سپس دو نقطه ظاهر می‌شود. در همه‌ی این‌ها، عدسی اول ثابت است.

روش شناسایی مستقیم

روش مستقیم، از تصاویری با کیفیت بالا، برای شناسایی سیاره پیرامون ستاره‌ها استفاده می‌کند. به علت نور زیاد منتشر شده از ستاره، این روش برای شناسایی سیاره‌هایی که به اندازه‌ی کافی از ستاره‌ی مرکزی دور بوده و در عین حال جوان هستند و همچنان براثرگرمای ناشی از شکل گیری می‌درخشند، موفقیت آمیز بوده است.



شکل ۳۱: روش شناسایی مستقیم، برای یافتن سیارات.

مثال‌هایی از سیستم‌های فراخورشیدی

مشهورترین سیارات فراخورشیدی دارای جرمی معادل جرم

سیاره‌ی مشتری، بزرگ ترین سیاره‌ی منظومه‌ی شمسی هستند. به همین علت جرم و اندازه‌ی سیارات فراخورشیدی بر حسب واحد جرم مشتری (M_J ($۵۷/۹ \times ۱۰^{۲۱}$ kg) و شعاع مشتری (R_J ۷۱۴۹۲ km) بیان می‌شود. تعداد کمی سیاره (در حدود۲۰) دارای جرمی قابل مقایسه با زمین هستند. با این حال سیارات زیادی (در حدود ۷۰۰، یا ۲۰ درصد سیارات شناخته شده) دارای اندازه ای قابل مقایسه با زمین تا $۱٫۵R_t$ (شعاع زمین) هستند. این نشان می‌داد که سیاراتی از این دست بیشتر متداول هستند، اما با تصحیح و پیشرفت تکنولوژی‌های شناسایی، موفقیت در شناسایی اجرامی با جرم و اندازه‌ی بزرگ تر، افزایش یافته است.

	متوسط (AU)	(روز)	مشتری یا جرم زمینی		(Km)
Ups And b	۰٫۰۵۹	۴٫۶۱۷	۰٫۶۹ Mj	۱۹۹۶	۱۲۴۰۰۰*
Ups And c	۰٫۸۳	۲۴۱٫۵	۱٫۹۸ Mj	۱۹۹۹	۱۷۶۰۰۰*
Ups And d	۲٫۵۱	۱۲۷۴٫۶	۴٫۱۳ Mj	۱۹۹۹	۲۲۱۹۹۹*
Ups And e	۵٫۲۴	۳۸۳۲٫۵	۱٫۰۶ Mj	۲۰۱۰	۷۰۰۰۰*
Gl 581 e	۰٫۰۳۰	۳٫۱۴۹	۱٫۹ Mt	۲۰۰۹	۷۶۰۰*
Gl 581 b	۰٫۰۴۱	۵٫۳۶۸	۱۵٫۷ Mt	۲۰۰۵	۱۶۰۰۰*
Gl 581 c	۰٫۰۷۳	۱۲٫۹۳۲	۵٫۷ Mt	۲۰۰۷	۱۱۰۰۰*
Kepler-62 b	۰٫۰۵۵۳	۵٫۷۱۴	۹ Mt	۲۰۱۳	۸۳۵۰
Kepler-62 c	۰٫۰۹۲۹	۱۲٫۴۴۱	۴ Mt	۲۰۱۳	۳۴۰۰
Kepler-62 d	۰٫۱۲۰	۱۸٫۱۶۴	۱۴ Mt	۲۰۱۳	۱۲۴۰۰
Kepler-62 e	۰٫۴۲۷	۱۲۲٫۳۸۷	۱٫۶ Mt	۲۰۱۳	۱۰۳۰۰
Kepler-62 f	۰٫۷۱۸	۲۶۷٫۲۹۱	۲٫۸ Mt	۲۰۱۳	۹۰۰۰
Trappist-1 b	۰٫۰۱۲	۱٫۵۱۱۱	۱٫۰۲ Mt	۲۰۱۶	۷۱۰۰
Trappist-1 c	۰٫۰۱۶	۲٫۴۲۲	۱٫۱۶ Mt	۲۰۱۶	۷۰۰۰
Trappist-1 d	۰٫۰۲۲	۴٫۰۵۰	۰٫۳۰ Mt	۲۰۱۶	۵۰۰۰
Trappist-1 e	۰٫۰۳۰	۶٫۰۹۹	۰٫۷۷ Mt	۲۰۱۷	۵۸۰۰
Trappist-1 f	۰٫۰۳۹	۹٫۲۰۶	۰٫۹۳ Mt	۲۰۱۷	۶۷۰۰
Trappist-1 g	۰٫۰۴۷	۱۲٫۳۵۴	۱٫۱۵ Mt	۲۰۱۷	۷۳۰۰
Trappist-1 h	۰٫۰۶۲	۱۸٫۷۶۸	۰٫۳۳ Mt	۲۰۱۷	۴۹۰۰

جدول۳: چهار سیستم فراخورشیدی چند سیاره ای پیشنهادی. داده ها از فهرست ۲ سیارات فراخورشیدی استخراج شده است (به جزآخرین ستون). این سیارات به روش شعاعی شناسایی شده اند به همین علت اندازه آن ها دقیق نیست. برای سیاراتی با جرم ۰٫۵ تا ۲۰ برابر Mj، شعاعی در حدود ۰٫۷ تا ۱٫۴ مشتری شناخته شده است (۵۰ تا ۱۰۰ هزار کیلومتر) که ارتباط اندکی با جرم آن ها دارد. برای سیارات زمین مانند GJ۸۶۱، شعاع آن‌ها با فرض برابربودن چگالی آن ها با زمین، محاسبه می شود.

در این بخش چند مثال از سیارات فراخورشیدی که سه و یا تعداد بیشتری سیاره دارند را مورد توجه قرار می‌دهیم. جدول ۳، سیارات پیرامون Kepler-62، Gliese 581، Ups Andromeda و Trappist-1 را نشان می‌دهد. سیستم‌های سیاره ای Ups Andromeda و Gliese 581 به کمک روش سرعت شعاعی شناسایی شده اند، در مورد این سیارات تنها حداقل جرم آن‌ها را می‌دانیم و در زمینه اندازه‌ی آن‌ها اطلاعی نداریم. شعاع آن‌ها بین ۵۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود(مقادیر ممکن در جدول ۱ نشان داده شده است). برای Gliese 581 چند سیاره دیگر اعلام شد، اما در مقالات رد شد و شناسایی آن‌ها نیز باطل اعلام شد. این موضوع ممکن است ناشی از سیگنال‌ها حاشیه ای و یا نویزهای سایر منابع باشد.

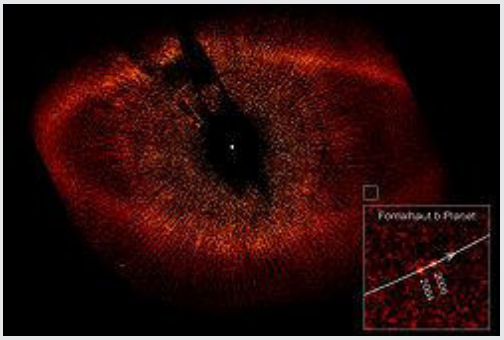
سیستم Kepler-62، به وسیله‌ی روش گذر کشف شد. بنابراین اندازه‌ی آن‌ها مشخص است. همچنین می‌دانیم که جرم کمی بیشتر از محدوده(حداکثر جرم) است، برای شناسایی به روش سرعت شعاعی بسیار کوچک (کم وزن) هستند. با این حال سیاره‌های بسیاری به روش گذر و سرعت شعاعی کشف و جرم و اندازه‌ی آن‌ها مشخص شده است.

برخی از سیارات فراخورشیدی بسیار به ستاره‌ی مرکزی نزدیک هستند، (همه‌ی سیاره‌های Gliese 876 مداری بسیار نزدیک تر از سیاره‌ی تیر به خورشید دارند). برخی دیگر سیارات فاصله‌ی زیادی دارند مانند منظومه 2M1207b (کل ۱) با سیاره‌ای شکل گرفته در فاصله‌ی ۴۱ واحد نجومی یا ۱٫۴ دورتر از نپتون. یک راه برای تصور این داده‌ها، ساخت مدلی برای منظومه‌های سیاره‌ی انتخابی است برای مقایسه با سیستم منظومه‌ی شمسی است.

شعاع (Km)	جرم (جرم مشتری)	دوره مداری (سال)	فاصله متوسط (AU)	نام سیاره
۲۴۳۹	۰٫۰۰۰۲	۰٫۲۴۰۹	۰٫۳۸۷۱	تیر
۶۰۵۲	۰٫۰۰۲۶	۰٫۶۱۵۲	۰٫۷۲۳۳	ناهید
۶۳۷۸	۰٫۰۰۳۲	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	زمین
۳۳۹۷	۰٫۰۰۰۳	۱٫۸۸۰۹	۱٫۵۲۳۷	بهرام
۷۱۴۹۲	۱	۱۱٫۸۶۳۱	۵٫۲۰۲۶	مشتری
۶۰۲۶۸	۰٫۲۹۹۴	۲۹٫۴۷۱۴	۹٫۵۵۴۹	زحل
۲۵۵۵۹	۰٫۰۴۵۶	۸۴٫۰۴	۱۹٫۲۱۸۵	اورانوس
۲۵۲۶۹	۰٫۰۵۴۱	۱۶۴٫۸۰	۳۰٫۱۱۰۴	نپتون

جدول۴: سیارات منظومه شمسی

امروزه می‌دانیم که فراخورشیدی‌هایی پیرامون ستاره‌هایی متفاوت با خورشید ما وجود دارند. در سال ۱۹۹۲، منجمان رادیویی از شناسایی اولین فراخورشیدی پیرامون پالسار PSR 12 + 1257 خبر دادند. این کشف سه سال بعد از کشف اولین فراخورشیدی پیرامون یک ستاره‌ی معمولی Pegasi 51 بود. بعد از آن فراخورشیدی‌های بسیاری کشف شدند: کوتوله قرمز (eg Gliese 876 in 1998)، غول ستاره‌ای (Iota Draconis in 2001)؛ کوتوله قهوه ای (2M1207 in 2004)، ستاره‌ی نوع (A Fomalhaut in 2008)، کوتوله سفید (WD1145-1017 in 2015)، پیرامون ستاره‌های دوتایی (Kepler-16b in 2011).



شکل۳۲: سیاره Fomalhaut b در ابر غبار بین سیاره‌ای Fomalhaut در تصویری از تلسکوپ فضایی هابل، با موقعیت‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ (نگاه کنید به تصویر کوچک). (عکس: ناسا)

فعالیت ۸: مدلی برای سیستم‌های فراخورشیدی

در ابتدا مقیاس مورد نظر برای مدل را انتخاب می‌کنیم. نمی‌توان از مقیاس یکسان برای فاصله و اندازه استفاده کرد. برای فاصله در این مدل، 1AU = 1m است. با این مقیاس می‌توان سیارات فراخورشیدی را به مانند پنج سیاره‌ی نخست منظومه شمسی در کلاس جا داد. برای اندازه، هر۱۰٫۰۰۰ کیلومتر شعاع سیاره را برابر با ۰٫۵ سانتی متر در نظر می‌گیریم. در این حالت قطر بزرگ‌ترین سیاره‌ی منظومه شمسی، ۷ سانتی متر وتیر، کوچکترین سیاره، ۰٫۲ سانتی متر خواهد بود. اگر فعالیت در فضای باز (مثلا حیاط مدرسه) صورت پذیرد، می‌توان یک مدل کامل با مقیاس مشابه برای قطر و فاصله ساخت. برای اندازه‌ی ستاره‌ی مادر نیز از همان مقیاس مشابه استفاده می‌کنیم، مثلا ستاره ای با شعاع ۱۰٫۰۰۰ کیلومتر، قطر ۰٫۵ سانتی متر در این مدل دارد.

منظومه شمسی	فاصله (AU)	شعاع km	فاصله مدل	مدل قطر
تیر	۰٫۳۹ AU	۲۴۳۹	۴۰ cm	۰٫۱ cm
ناهید	۰٫۷۲ AU	۶۰۵۲	۷۰ cm	۰٫۳ cm
زمین	۱ AU	۶۳۷۸	۱٫۰ m	۰٫۳ cm
بهرام	۱٫۵ AU	۳۳۹۷	۱٫۵ m	۰٫۱ cm
مشتری	۵٫۲ AU	۷۱۴۹۲	۵٫۰ m	۳٫۰ cm
زحل	۹٫۵۵ AU	۶۰۲۶۸	۱۰ m	۲٫۵ cm
اورانوس	۱۹٫۲۲ AU	۲۵۵۵۹	۱۹ m	۱٫۰ cm
نپتون	۳۰٫۱۱ AU	۲۵۲۶۹	۳۰ m	۱٫۰ cm

جدول ۵: منظومه شمسی. ستاره‌ی مادر، خورشید G2V است، با قطر ۳۵ سانتی متردر مدل مورد استفاده. محدوده‌ی حیات در قسمت سبز قرار دارد.

با توجه به شرایط بیان شده در مقیاس، مقادیر برای منظومه شمسی محاسبه شد(جدول ۲). برای سایر سیستم‌های ذکر شده در جدول ۱ نیز می‌توان مقادیر فاصله و شعاع را حساب کرد. برای ساده‌سازی این فرایند، جدول داده‌ها با توجه به مقیاس برای آن‌ها محاسبه شده است.

با اولین سیستم سیاره ای که در سال ۱۹۹۹ به کمک اثر داپلر اعمال شده بر سرعت شعاعی ستاره کشف شد شروع می‌کنیم. این روش، اجازه شناسایی سیارات فراخورشیدی نزدیک به ستاره‌ی مادر را فراهم کرد. بدون شک، روش شناسایی، ویژگی‌ها موقعیتی سیاره را نیز تعیین می‌کند. با این روش شناسایی، سیارات گازی مانند مشتری و حتی بزرگ‌تر شناسایی شدند. برای تعیین مکان سیاراتی که قابلیت حیات داشته باشند، نیاز به شناسایی سیاره‌های کوچک‌تر و زمین مانند است.

Upsilon Andromedae Titawin	فاصله (AU)	قطر km	فاصله مدل	قطر مدل
Ups And b / Saffar	۰٫۰۵۹ AU	۱۰۸۰۰۰	۶ cm	۵٫۵ cm
Ups And c / Samh	۰٫۸۳۰ AU	۲۰۰۰۰۰	۸۳ cm	۱۰٫۰ cm
Ups And d / Majriti	۲٫۵۱۰ AU	۱۸۸۰۰۰	۲٫۵ m	۹٫۵ cm
Ups And e / Titawin e	۵٫۲۴ AU	۱۴۰۰۰۰	۵٫۲ m	۷٫۰ cm

جدول ۶: سیارات گازی؛ قابلیت حیات به آن معنا که ما می‌شناسیم را ندارند، بنابراین تمایل به مطالعه‌ی سیاراتی سنگی و زمین مانند بیش‌تر است.

Gliese 581، یکی از اولین سیستم‌های فراخورشیدی زمین مانند شناسایی شده است. از سال ۲۰۱۴ برخی از این فراخورشیدی‌ها مورد بحث هستند. روش استفاده شده برای شناسایی آنها، سرعت شعاعی است.

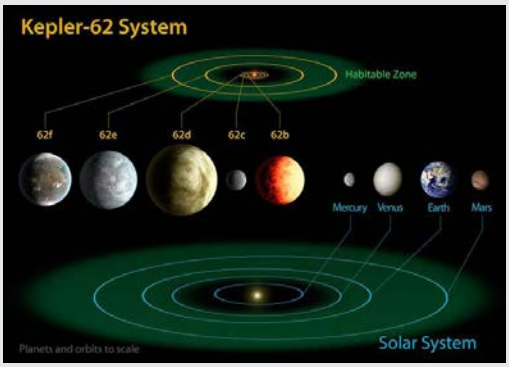
Gliese 581	فاصله (AU)	قطر km	فاصله مدل	قطر مدل
Gliese 581 b	۰٫۰۳۰ AU	۰٫۸ cm	۳ cm	۱۵۲۰۰
Gliese 581 c	۰٫۰۴۱ AU	۱٫۶ cm	۴ cm	۳۲۰۰۰
Gliese 581 d	۰٫۰۷۳ AU	۱٫۱ cm	۷ cm	۲۲۰۰۰

جدول ۷: ستاره‌ی مادر Gliese ۵۸۱ یک کوتوله قرمز M۲٫۵V است در فاصله‌ی ۲۰٫۵ سال نوری در صورت فلکی ترواز است. یک سوم جرم خورشید ، جرم دارد با درخشش کمتر و دمای کمتر. شعاع آن ۰٫۲۹ جرم خورشید است و در این مدل قطر آن ۱۰ سانتی متر است.

در سال ۲۰۰۹ فضاپیمای کپلر پرتاب شد. این رصدخانه‌ی فضایی، به دور خورشید می‌گردد وسیاره‌های فراخورشیدی هم اندازه با زمین که در کمربند حیات قرار دارند را جستجو می‌کند. در طی ۹ سال ماموریت، حدود ۳۰۰۰ سیاره‌ی فراخورشیدی کشف و چند هزار نیز در انتظار تایید هستند. کپلر ۰٫۲۵ درصد آسمان را جستجو کرده و نتایج نشان می‌دهد، سیارات در کهکشان راه شیری بسیار متداول هستند. در سال ۲۰۱۸ ماهواره‌ی TESS پرتاب شد. این ماهواره برای شناسایی سیاره‌های نزدیک با اندازه‌ای نه چندان بیشتر از دو برابر زمین در پهنه‌ای وسیع از آسمان در حدود ۸۵ درصد گنبد آسمان طراحی شده است. کپلر و تس برای کشف سیارات فراخورشیدی به روش گذر طراحی شده اند.

Kepler 62	فاصله AU	قطر /km	فاصله مدل	قطر مدل
Kepler 62 b	۰٫۰۵۶ AU	۳۳۶۰۰	۵٫۵ cm	۱٫۷ cm
Kepler 62 c	۰٫۰۹۳ AU	۱۳۶۰۰	۹ cm	۰٫۷ cm
Kepler 62 d	۰٫۱۲۰ AU	۴۸۰۰۰	۱۲ cm	۲٫۴ cm
Kepler 62 e	۰٫۴۲۷ AU	۴۰۰۰۰	۴۳ cm	۲٫۰ cm
Kepler 62 f	۰٫۷۱۸ AU	۳۶۰۰۰	۷۲ cm	۱٫۸ cm

جدول ۸: ستاره‌ی مادر Kepler 62 ستاره‌ی F2V در صورت فلکی ترازو در فاصله‌ی ۱۲۰۰ سال نوری است. این ستاره یک ستاره‌ی سبک، با دمای کم‌تر و کوچک‌تر از خورشید است. شعاع آن ۰٫۶۴ شعاع خورشید است و در این مدل، قطر ۲۲ سانتی متر است.



شکل ۲۷: مقایسه منظومه Kepler-62، با منظومه شمسی. رنگ سبز، کمربند حیات را نشان می‌دهد که امکان حیات در آن وجود دارد. منبع: Source NASA Ames / JPL-Caltech.

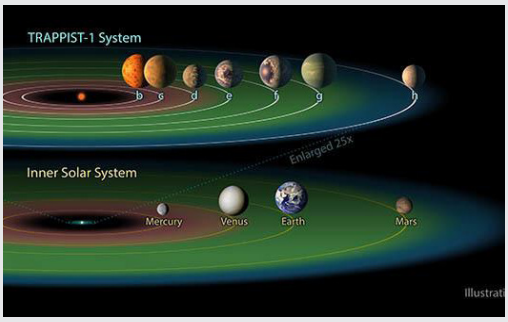
یک کوتوله‌ی قرمز با نام ۲MASS J۲۳۰۶۲۹۲۸-۰۵۰۲۲۸۵ به روش گذر در سال ۲۰۱۴ توسط تلسکوپ تراپیست مورد بررسی قرار گرفت و طی آن سه سیاره‌ی زمین مانند: Trappist-1b، c و d کشف شد. مطالعات بعدی به کمک تلسکوپ‌های هابل، کپلر، اسپیتزر و تلسکوپ‌های مستقر در شیلی، منجر به شناسایی کامل هفت سیاره شد. پنج سیاره(b، c، d، f و g) اندازه ای مشابه زمین دارند و دو سیاره‌ی دیگر(d و h) اندازه ای بین مریخ و زمین دارند. سه سیاره (e، f و g) در کمربند حیات قرار دارند.

مدار سیارات TRAPPIST-1، بسیار نزدیک به ستاره‌ی مادر است و همچنین به یکدیگر نیز نزدیک می‌باشند و برهم‌کنش‌های گرانشی مشهود بوده و موجب رزونانس در دوره‌ی مداری آن‌ها می‌شود. سیارات در آسمان همسایگان خود ظاهر شده و گاهی حتی از ماه و زمین نیز بزرگ‌تر هستند. در حقیقت جرم آن‌ها به روش سرعت شعاعی تعیین نشده و با توجه به انحراف در دوره‌ی مداری آن‌ها ، روشی که با نام تغییرات زمان گذر به دست آمده است.

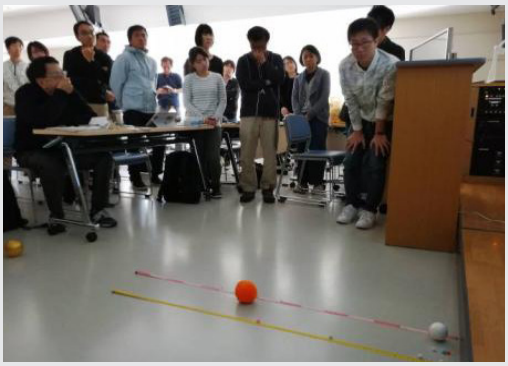
جرم همه‌ی آن‌ها با خطای کمی تعیین شده و به ما امکان تعیین ترکیب و چگالی آن‌ها را می‌دهد. جرم این فراخورشیدی‌ها بین ۰٫۳ تا ۱٫۱۶ جرم زمین است با چگالی ۰٫۶۲ تا ۱٫۰۴ زمینی(۳٫۴-۵٫۶ گرم بر سانتی مترمکعب). سیاره c و e کاملا سنگی، سیاره b، d، f، g و h یک لایه نازک از آب، یخ یا اتمسفر غلیظ دارند. به نظر می‌رسد که Trappist-1d دارای یک اقیانوس از آب مایع است که ۵ درصد جرم آن را تشکیل می‌دهد، برای مقایسه آب زمین کمتر از ۰٫۱ درصد است، در حالی که لایه‌های آب در Trappist-1f احتمالا یخ زده هستند. چگالی Trappist-1e اندکی بیشتر از زمین است. علاوه بر این اتمسفر Trappist-1b، مانع فرار اثر گلخانه ای شده و فشار آن ۱۰۱ تا ۱۰۴ بار بخار آب است. در سیارات c، d، e و f اتمسفر هیدورژن- هلیوم وجود ندارد. سیاره g نیز مشاهده شده است، اما اطلاعات چندانی در مورد آن در دسترس نیست.

Trappist - 1	فاصله AU	قطر /km	فاصله مدل	قطر مدل
Trappist-1 b	۰٫۰۱۲	۱٤۲۸٤	۱٫۲ cm	۱٫٤ cm
Trappist-1 c	۰٫۰۱٦	۱۳۹۵۲	۱٫٦ cm	۱٫٤ cm
Trappist-1 d	۰٫۰۲۲	۹۹۹۰	۲٫۲ cm	۱٫۰ cm
Trappist-1 e	۰٫۰۳۰	۱۱۵۹۵	۳٫۰ cm	۱٫۲ cm
Trappist-1 f	۰٫۰۳۹	۱۳۳۲۸	۳٫۹ cm	۱٫۳ cm
Trappist-1 g	۰٫۰٤۷	۱٤٦۲۸	٤٫۷ cm	۱٫۵ cm
Trappist-1 h	۰٫۰٦۲	۹۸۵۰	٦٫۲ cm	۱٫۰ cm

جدول۹: ستاره‌ی مادر Trappist-1، یک کوتوله قرمز M8V که در صورت فلکی قوس در فاصله ۴۰ سال نوری است. ستاره ای هست که تقریبا بزرگ تر از مشتری با قطر ۱۶۸٫۰۰۰ کیلومتر و قطر ۷ سانتی در مدل است. مشاهده شده که فاصله‌ی سیارات در این مدل، کمتر از قطر ستاره است.



شکل ۲۸: منظومه Trappist-1 در مقایسه با منظومه شمسی در داخل کلاس. قسمت سبز رنگ، کمربند حیات را نشان می‌دهد، ناحیه ای که قابلیت حیات دارد.



شکل ۲۹: همه‌ی مدل‌ها ساخته شده، منطقه‌ی حیات در آن مشخص شده است. با توجه به جرم و نوع ستاره مادر،کمربند حیات ممکن بیش‌تر یا کم‌تر باش

هنوز سوالات بی پاسخ بسیاری در مورد ویژگی‌ها و قابل حیات بودن فراخورشیدی‌ها وجود دارد. تلاش برای بیشتر دانستن در مورد این ویژگی‌ها، خود انگیزه و عامل برخی از ماموریت‌های فضایی فعلی و آینده، مانند : NASA's TESS و JWST و ESA's CHEOPS و PLATO است. که اخرین مورد قرار است در سال ۲۰۲۴ پرتاب شود و تعداد سیارات فراخورشیدی زمین مانند را افزایش دهد.

کتابشناسی:

• Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., Satellites of مشتری observed by Galileo and Roemer in the 17th century, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.

• Gaitsch, R., Searching for Extrasolar Planets, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

• Ros, R.M., A simple rocket model, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.

• Ros, R.M., Measuring the Moon’s Mountains, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.

• Vilks I., Models of extra-solar planetary systems, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

اخترزیست‌شناسی

رزا ماریا رز، بئاتریس گارسیا، الکس کوستا، فلوریان سیتز، آنا ویوله اسکوزه، مادلین روخاس، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)، ITeDA و دانشگاه ملی مهندسی، آرژانتین، دبیرستان فارو، (پرتقال)، خانه نجوم هایدبرگ (آلمان)، دیورسینیا، اسپانیا، پاناما

خلاصه

این کارگاه شامل دو بخش اصلی می‌شود. بررسی جدول تناوبی عناصر برای آشنایی با عناصر شیمیایی لازم برای حیات و معرفی برخی از مفاهیم اخترزیست‌شناسی

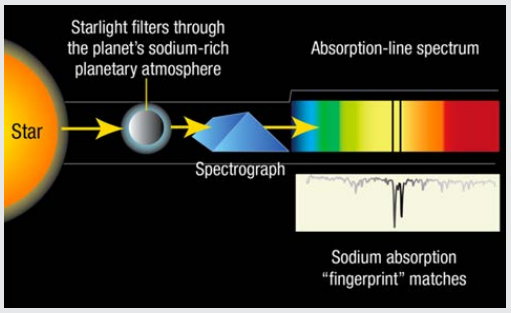
اهداف

- آشنایی با مکان و چگونگی تشکیل عناصر متفاوت جدول تناوبی
- آشنایی با مهم‌ترین ویژگی‌های منظومه‌های فراخورشیدی
- آشنایی با شرایط سکونت‌پذیری برای توسعه حیات
- بررسی حداقل شرایط لازم برای حیات در خارج از منظومه شمسی

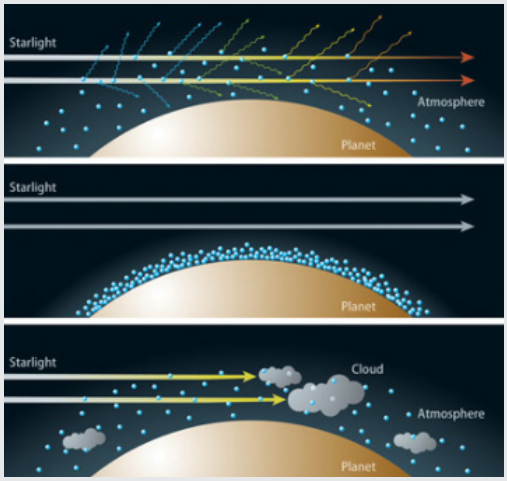
پیدایش منظومه سیاره‌ای

پس از شکل‌گیری یک ستاره از ابر گازی و غباری، از مواد باقی مانده‌ی آن سیارات تشکیل می‌شوند. همانطور که با مطالعه‌ی طیف یک ستاره می‌توان به مواد تشکیل دهنده‌ی آن پی برد می‌توان از این روش به منظور تعیین اتمسفر سیارات فراخورشیدی نیز استفاده کرد.

هر عنصر شیمیایی و هر مولکول طیف ویژه و مختص به خود را دارد. در برخی ازمنظومه‌ها سیاره از مقابل ستاره‌ی مادر عبور می‌کند. نور ستاره از اتمسفر سیاره عبور کرده و جذب می‌شود. با مشاهده‌ی طیف نور ستاره‌های منظومه‌های فراخورشیدی می‌توان به ترکیب شیمیایی جو سیارات پی‌برد (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱: استفاده از طیف‌سنجی برای مطالعه‌ی اتمسفر سیاره HD 209458b که در آن خطوط سدیم شناسایی شد. منبع: ویکی پدیا



شکل ۲: چطور می‌توان به وجود آب یا سایر مولکول‌های ارگانیک در اتمسفر یک سیاره پی‌برد؟ هر عنصر شیمیایی یا هر مولکول یک طیف مخصوص به خود را دارد. با مقایسه طیف نور ستارگان منظومه‌های فراخورشیدی می‌توان ترکیب شیمیایی اتمسفر سیارات فراخورشیدی را تعیین کرد، البته به شرطی که نور از اتمسفر آن‌ها عبور کند.

می‌توان برای نمونه یک مدل فعال از شکل‌گیری منظومه‌های سیاره‌ای به کمک شرکت‌کنندگان ساخت.

فعالیت ۱: پیدایش منظومه سیاره‌ای از گاز و غبار

این فعالیت براساس تئوری سحابی امانوئل کانت در خصوص پیدایش منظومه شمسی یا هر سیستم سیاره‌ای دیگر است (۱۷۵۵).

در ابتدا کلاس را به دو گروه قابل تمایز تقسیم کنید که به راحتی بتوان آن‌ها را از هم تشخیص داد. برای مثال: یک گروه دخترها و یک گروه پسرها (تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز می‌توان انجام داد. این تقسیم بندی، ساده‌ترین نوع است). هر گروه وظایفی دارد؛ دخترها می‌توانند نمایانگر گاز و پسرها نمایانگر غبار باشند (یا برعکس). یک تفاوت اساسی در مورد تعداد اعضای هر گروه وجود دارد. توصیه می‌شود گروه گاز از تعداد بیشتری از شرکت کنندگان تشکیل شده باشد به علت اینکه در شکل‌گیری منظومه‌های سیاره‌ای جرم گاز ۱۰۰ برابر بیشتر از جرم غبار است.

شرکت‌کنندگان به داستان گوش داده و به صورت پیوسته آنچه را که می‌شنوند اجرا می‌نمایند. برای مثال:

کارهای شرکت‌کنندگان	متن داستان
همه در ابر حضور دارند. تعداد بیشتری از شرکت‌کنندگان به عنوان ابر حضور دارند. همه‌ی شرکت کنندگان، به صورت تصادفی دست‌های همدیگر را گرفته و یک ابر تشکیل می‌دهند.	یک ابر با مقدار زیادی گاز و کمی غبار وجود داشت.
شروع به جدا شدن می‌کنند. شرکت‌کنندگانی که در نقش گاز هستند به سمت مرکز رفته و آن‌ها که غبار هستند دست یکدیگر را گرفته و حلقه‌ای پیرامون مرکز تشکیل می‌دهند.	گاز در مرکز ابر و غبار در پیرامون آن جمع شد.
آن‌ها شروع به چرخش، حرکت، ضربه زدن، لرزش و پریدن می‌کنند. برخی از آن‌ها بر اثر حرکت پرتاب می‌شوند و برخی دیگر به وسیله‌ی سایر اجزای همانند، در آغوش کشیده می‌شوند.(گاز با گاز، غبار با غبار)	حرکت های زیادی وجود داشت. ذرات گاز سایر گازها و ذرات غبار سایر غبارها را جذب می‌کردند.
آن‌ها (گاز) در مرکز جمع شده و پیرامون آن‌ها ذرات غبار در حالی که دست‌های همدیگر را گرفته به صورت حلقه قرار می‌گیرند. نکته: همه‌ی گازها در مرکز قرار ندارند، برخی از آن‌ها خارج از دایره گاز قرار دارند.	در مرکز یک هسته‌ی چگال کدر تشکیل شده و پیرامون آن دیسکی از غبار و گاز قرار دارد.
خورشید یا ستاره‌ی داغ شروع به تابش می‌کند. بنابراین پرتوهای آن در تمام جهات پراکنده می‌شود. نکته: زمانی که خورشید و یا ستاره‌ی داغ شروع به تابش می‌کنند گاز سبک شروع به دور شدن می‌کند.	این هسته‌ها در نهایت خورشید و یا ستاره‌ی داغ منظومه فراخورشیدی را تشکیل می‌دهند.
شرکت کنندگانی که نماینده غبارند با هم جمع شده و سیارات زمین‌سان را می‌سازند. نکته: همه‌ی غبارها در تشکیل سیارات زمین‌سان مشارکت نمی‌کنند. برخی از آن‌ها در نواحی دوردست قرار می‌گیرند.	برخی سیارات کوچک از واحدهای بزرگ و یا یا دانه‌های بزرگ غبار، سنگ و مانند آن تشکیل می‌شوند.
شرکت‌کنندگان باقی‌مانده با هم جمع شده و سیارات غول پیکر را تشکیل می‌دهند: مقدار زیادی گاز و کمی غبار. نکته: علت اصلی تفاوت دما بین سیارات غول‌پیکر گازی و سیارات سنگی فاصله ی زیاد آن‌ها از خورشید یا ستاره داغ است.	سیارات غول پیکر در جایی دور از خورشید یا ستاره ی داغ که مولکول‌های گاز بدون هیچ مانعی می‌توانند به هم بپیوندند، تشکیل می‌شوند.

جدول ۱: داستان پیدایش منظومه شمسی

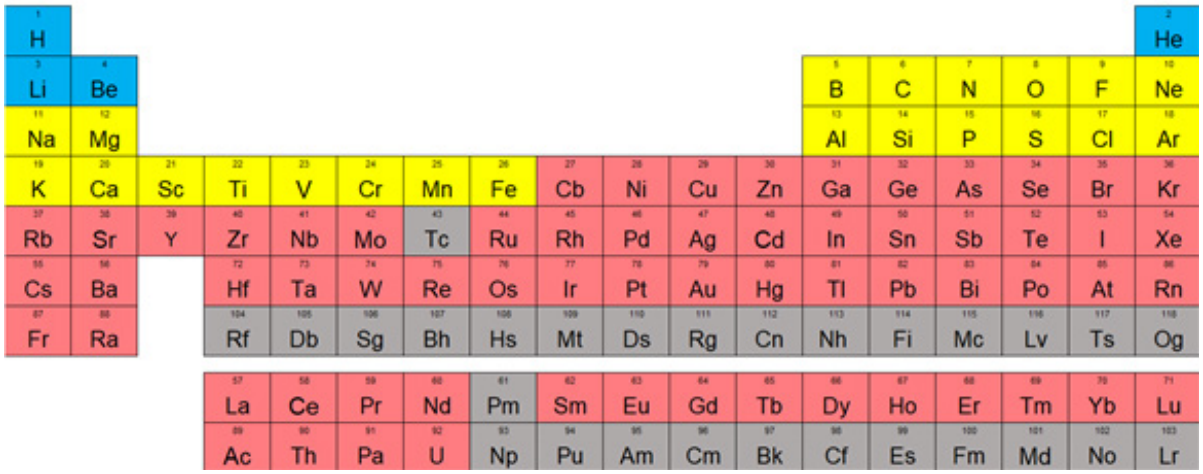
تصویر۳: در ابر همه مخلوط هستند. تعداد بیشتری از شرکت‌کنندگان نماینده گاز هستند. در ابر همه‌ی شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی دست یکدیگر را گرفته و یک شبکه را تشکیل می‌دهند.

تصویر۴: شرکت‌کنندگان شروع به جدا شدن می‌کنند. آن‌ها که گاز هستند در مرکز، و آن‌ها که غبار هستند دست‌های یکدیگر را گرفته و پیرامون مرکز قرار می‌گیرند.

تصویر۵: شرکت‌کنندگانی که غبار هستند با تشکیل گروه شروع به تشکیل سیارات زمین‌سان می‌کنند.

تصویر۶: ذرات باقی مانده شروع به تشکیل سیارات غول پیکر می‌کنند: تعداد زیادی گاز و کمی گاز.

آبی: عناصری که در دقایق نخستین پس از انفجار بزرگ ساخته شده اند
زرد:عناصر سنگین تری در هسته ی ستاره ها بر اثر فرایند هسته زایی ایجاد شدند
قرمز: عناصر حاصل انفجارهای ابرنواختری
خاکستری: عناصر دست ساخت بشر در آزمایشگاه



شکل ۷: جدول تناوبی براساس دیدگاه تکامل ستاره‌ای

بررسی شیمیایی تکامل ستاره‌ای

جدول تناوبی نشان می‌دهد که عناصر تشکیل دهنده‌ی ما در فرایند تکامل ستارگان به وجود آمده‌اند.

در جدول تناوبی بالا (شکل ۷) عناصرمتفاوت به صورت زیر دسته بندی شده‌اند:

۱) عناصری که در دقایق نخستین پس از انفجار بزرگ ساخته شده‌اند. در ابتدا جهان هستی شامل ساده‌ترین اتم‌ها بود: اتم هیدروژن. مدت کوتاهی پس از آن که جهان منبسط شد عناصر دیگری مانند هلیوم، لیتیوم و بریلیوم به وجود آمدند.

۲) عناصر سنگین‌تری در هسته‌ی ستارگان بر اثر فرایندهای هسته‌ای ایجاد شدند مانند بور، کربن، نیتروژن، اکسیژن ، فلور، نئون، سدیم، منیزیم، آلومینیوم، سلیس، فسفر، گوگرد، کلر، آرگون، پتاسیم، کلسیم، اسکانیدم، تیتانیم، وانادیم، کرومیوم و آهن.

۳) سایر عناصر تشکیل دهنده‌ی جدول تناوبی بر اثر انفجارهای عظیم ابرنواختری ایجاد شدند. برخی از آن ها ناپایدار بوده و در آزمایشگاه قابل تولید هستند.

۴) عناصر دست ساز(مصنوعی) توسط ابشر در آزمایشگاه ساخته شده و در طبیعت یافت نمی‌شوند.

فعالیت ۲: دسته‌بندی عناصر جدول تناوبی

اشیا موجود در فهرست به سه سطح در سه سبد دسته‌بندی می‌شوند:

۱. عناصری که در نخستین دقایق بعد از انفجار بزرگ به وجود آمده‌اند (سبد آبی)

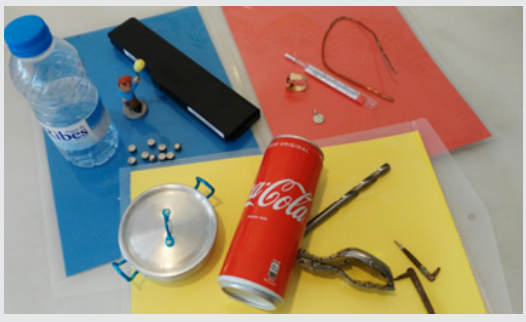
۲. عناصری که در ستارگان ایجاد شده‌اند (سبد زرد)

۳. عناصری که در انفجارهای ابرنواختری شکل گرفته‌اند (سبد قرمز)

هریک از اشیا زیررا در یک سبد (آبی، زرد و قرمز) قرار دهید:

مداد تراش Nickel Ni	گاز بادکنک Helium He	مته دریل: Titanium Ti	حلقه: Gold Au
محلول بتادین: Iodine, I	سیم برق مسی: Copper Cu	شمع ماشین Platinum Pt	موبایل/باتری لیتیم: Lithium Li
گوگرد در کشاورزی: Sulfur, S	مداد سیاه: Graphite C	دیگ آشپزی قدیمی: Aluminium Al	بطری آب معدنی Hydrogen H
لوله آب قدیمی: Lead Pb	مدال: Silver Ag	ساعت مچی: Titanium Ti	بطری فلزی نوشابه: Aluminium Al
جعبه کبریت: Phosphorus P	دماسنج: Gallium Ga	ناخن زنگ زده قدیمی: Iron Fe	مداد تراش: Zinc Zn

جدول ۲: دسته‌بندی اشیا



تصویر۸: دسته‌بندی صحیح.

ناحیه آبی: موبایل یا باتری پشتی آن: لیتیم، بطری آب معدنی: هیدروژن، گاز بادکنک: هلیوم.

ناحیه زرد: بطری نوشابه: آلومینیوم، بطری آب معدنی: اکسیژن، مته ی دریل: تیتانیوم، دیگ آشپزی قدیمی: آلومینیوم، ساعت مچی تیتانیوم، ناخن قدیمی: آهن، مداد سیاه: گرافیت (کربن)، گوگرد در کشاورزی: گوگرد، جعبه ی کبریت: فسفر.

ناحیه قرمز: سیمی مسی برق: مس، شمع ماشین: پلاتین، حلقه: طلا، مدال: نقره، دماسنج: گالیم، مدادتراش: روی، سیم ظرفشویی: نیکل، بتادین: ید، لوله ی آب قدیمی: سرب

فعالیت ۳: فرزندان ستارگان

عناصر ضروری برای حیات دارای ویژگی‌های زیر هستند:

کمبود این عنصر موجب نقص در عملکرد می‌شود (در صورتی که در غلظت مناسب باشد، برگشت‌پذیر است).

• زمانی که ارگانیسم فاقد این عنصر باشد قادر به رشد و تکمیل چرخه‌ی حیات نیست

• این عنصر به صورت مستقیم بر روی ارگانیسم تاثیر گذاشته و وارد چرخه‌ی متابولیک آن می‌شود.

• اثر این عنصر قابل جایگزینی با ساید عناصر نیست

فهرستی از عناصر زیستی موجود در بدن انسان بر اساس فراوانی در زیر ارائه شده‌است.

• عناصر فراوان: اکسیژن، کربن، هیدوژن، نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، گوگرد، سدیم، کلر، آهن و منیزیم

• عناصر کمیاب: فلور، روی، مس، سیلیس، وانادیم، منیزیم، ید، نیکل، مولیبدن، کروم و کبالت.

همه‌ی موجودات زنده به نسبت یکسانی از عناصر ضروری نیاز ندارند. در شکل ۹ عناصر ضروری مانند لیتیم، کادمیم، آرسنیک و ... پررنگ شده‌اند.

Abundant elements	Trace elements	Essential elements

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

شکل ۹: عناصر ضروری برای حیات در جدول تناوبی عناصر

با مقایسه جدول تناوبی در شکل‌های ۷ و ۹ می‌توان دریافت که تمامی عناصر اصلی (به جز هیدوژن) در ستاره‌ها ساخته شده اند. بدون عناصر سنگین‌تر که بر اثر تکامل ستاره ای ایجاد شده‌اند ما جود نداشتیم. برخی از عناصر سنگین‌تر که به میزان کمی یاقت می‌شوند در ستارگان و برخی دیگر در اثر انفجارهای ابرنواختری به وجود آمده‌اند. با این حال بخش زیادی از آن‌ها بر اثر واکنش‌های هسته‌ای در هسته‌ی ستارگان به وجود آمده‌اند؛ ما فرزندان ستارگان هستیم! ما از غبار ستاره‌ها ساخته شده‌ایم.

اگرچه هدف اصلی این کارگاه این نیست اما یک تمرین مناسب ساخت جدول تناوبی با استفاده از اشیایی است که روزانه از آن‌ها استفاده می‌کنیم. هر شی نماینده‌ی یک عنصر است. این تمرین کمک مناسبی برای درک جدول تناوبی توسط دانش آموزان است.

خورشید یک ستاره ی نسل اول نیست

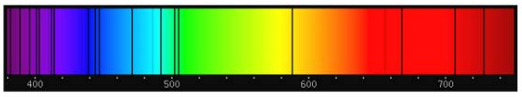
ستارگان نسل اول از هیروژن و هلیوم انفجار بزرگ ساخته شده‌اند (و مقداری هلیومی که خودشان تولید کرده‌اند). ستارگان با عناصر سنگین‌تر از یک ابر اولیه باقی‌مانده از انفجار

ابرنواختری ایجاد شده‌اند. انفجار ابرنواختری عناصر سنگین‌تر را براساس همجوشی ایجاد می‌کند. برای مثال طیف خورشید شامل خطوط سدیم است ککه نشان می‌دهد با توجه به جرم کم و وضعیت تکامل آن، خورشید نمی‌تواند یک ستاره‌ی نسل اول باشد. سدیم نمی‌تواند توسط خورشید ساخته شود. علاوه بر این در سیارات منظومه شمسی مقادیر زیادی از عناصری که بعد از انفجار ابرنواختری تولید می‌شوند، شناسایی شده‌است. یک نظریه‌ی قابل‌پذیرش این است که خورشید از یک ابراولیه باقی مانده از حداقل دو انفجار ابرنواختری ایجاد شده‌است. در نتیجه خورشید را می‌توان یک ستاره‌ی نسل سوم در نظر گرفت.

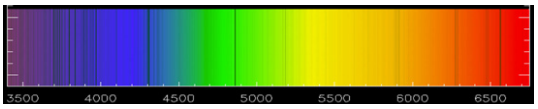
به چند نمونه از طیف که در زیر نشان داده شده است توجه کنید:

در طیف مربوط به یک ستاره نسل اول خطوطی از عناصر ابتدایی را می‌توان مشاهده کرد (شکل ۱۰).

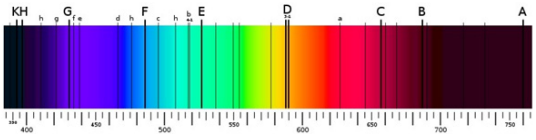
طیف خورشید با خطوط سدیم که به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۱۲)



شکل ۱۰: طیف ستاره‌ی نسل اول (تصویرسازی هنری). این ستارگان ده یا صد برابر خورشید جرم دارند. به سرعت زندگی آن‌ها زیاد است، در جوانی می‌میرند و تاکنون زنده نیستند. آن‌ها دارای خطوط هیدوژن، هلیوم و مقدار کمی لیتیم هستند.



شکل۱۱: طیف ستاره ی SMSS J031300.36-670839.3، یک ستاره‌ی نسل دوم که تنها خطوط هیدوژن و کربن را نشان می‌دهد.

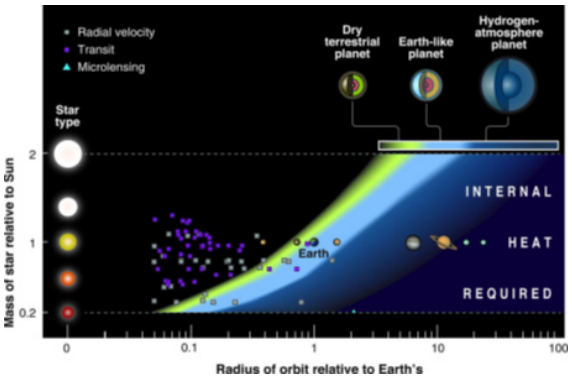


شکل ۱۲: طیف خورشید با خطوطی از عناصر متنوع که در میان آن‌ها سدیم نیز دیده می‌شود (خطوط سدیم پررنگ‌تر است).

ناحیه حیات

معمولا زمانی که از حیات صحبت می‌شود حیات بر پایه‌ی کربن مد نظر است. بنابراین ویژگی اصلی برای سکونت‌پذیری وجود آب مایع است. ناحیه سکونت‌پذیری، ناحیه‌ای پیرامون ستاره مادر است که با وجود تابش‌های آن امکان وجود آب مایع روی سیاره سنگی (یا قمر) وجود داشته باشد. این پدیده بر روی یا در سطح اجرامی با جرم بین ۰.۵ تا ۱۰ برابر جرم زمین با فشار اتمسفری بیش از ۶.۱mbar که در آن نقطه حالت سه گانه‌ی آب در دمای ۲۷۳.۱۶ k باشد رخ می‌دهد (زمانی که آب به سه حالت بخار، مایع و جامد وجود دارد).

ناحیه سکونت‌پذیری وابسته به جرم ستاره است. با افزایش جرم ستاره دما و میزان درخشش آن نیز افزایش می‌یابد؛ در نتیجه فاصله ناحیه حیات افزایش خواهد یافت.



تصویر۱۳: تخمین ناحیه سکونت‌پذیری ستاره میزبان

وجود یک سیاره در ناحیه‌ی حیات به معنای وجود حیات در آن سیاره نیست. برای مثال در منظومه شمسی ما دو سیاره زمین و مریخ در ناحیه‌ی حیات قرار دارند اما تنها زمین میزبان حیات شناخته شده، می‌باشد. ناحیه حیات در منظومه شمسی از ۰.۸۴ واحد نجومی تا ۱.۶۷ واحد نجومی است. سیاره ناهید در ۰.۷ واحد نجومی است و اثر گلخانه‌ای آن غیرقابل کنترل بوده و مریخ با فاصله ۱.۵ واحد نجومی، فاقد آب مایع روی سطح خود می‌باشد، ممکن است در سطوح زیرین مریخ آب به صورت یخ‌زده وجود داشته باشد.

علاوه بر وجود آب مایع در سطح سیاره شرایط دیگری نیز برای سکونت‌پذیری یک سیاره مورد نیاز است. لطفا به این اطلاعات مهم توجه داشته باشید:

شرط لازم فاصله‌ی مداری سیاره است که جایگاه آن در ناحیه حیات را مشخص می‌کند اما برای اینکه سیاره شرایط حیات را دارا باشد کافی نیست. برای مثال: ناهید و مریخ.

شرط دیگر برای زیست‌پذیری، جرم سیاره است. جرم سیاره باید به اندازه‌ای زیاد باشد تا بتواند به کمک جاذبه، اتمسفر را نگه دارد. علت اصلی این که هم‌اکنون مریخ فاقد حیات است را در همین موضوع می‌توان جستجو کرد؛ مریخ اتمسفر و تمام آب‌های سطح خود را در یک میلیارد سال نخست پس

از شکل‌گیری را از دست داده‌است.

ممکن است که سیاره در محدوده‌ی ناحیه حیات نباشد، اما معیارهای لازم برای وجود برخی از انواع حیات بر روی سیاره یا برخی از قمرهای آن وجود داشته باشد. این مورد ممکن است درباره بعضی از قمرهای مشتری و زحل صدق کند.

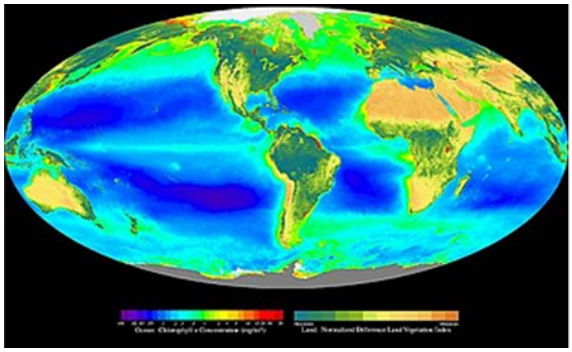
اخترزیست شناسی مقدماتی: فرایند شکل گیری اتمسفر زمین

داشتن اطلاعات در مورد فتوسنتز برای درک روابط بین موجودات زنده و اتمسفر، تعادل میان حیات بر روی زمین و تاثیر عمیق آن بر اتمسفر و اقلیم زمین مورد نیاز است.

فتوسنتز یک فرایند فیزیکی - شیمیایی است که توسط گیاهان، جلبک‌ها و برخی از باکتری‌های فتوسنتزکننده صورت می‌گیرد و طی آن از انرژی نور خورشید برای تولید ترکیبات آلی استفاده می‌شود. این یک فرایند اساسی برای حیات بر روی زمین است و تاثیر به سزایی بر روی اتمسفر و اقلیم زمین دارد؛ هر ساله ارگانیسم‌هایی با قابلیت فتوسنتز ۱۰ درص از کربن دی اکسید اتمسفر را به کربوهیدارات تبدیل می‌کنند. بنابراین افزایش غلظت کربن دی اکسید اتمسفر بر اثر فعالیت های انسانی تاثیر عمیقی بر روی فتوسنتز دارد. از دید تکامل، وجود فتوسنتز اکسیژنی (که در آن اکسیژن تولید می‌شود) یک انقلاب حقیقی برای حیات بر روی زمین بود؛ این فرایند اتمسفر زمین را از اکسیژن غنی ساخت و موجب تغییر آن شد. در واقع این پدیده باعث ظهور موجوداتی که از اکسیژن برای حیات استفاده می‌کنند، شد.

فتوسنتز نااکسیژنی	فتوسنتز اکسیژنی
$H_2S \rightarrow 2H^+ + 2e^- + S$	$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + 1/2\,O_2$

شکل ۱۴: فتوسنتز اکسیژنی و غیراکسیژنی.



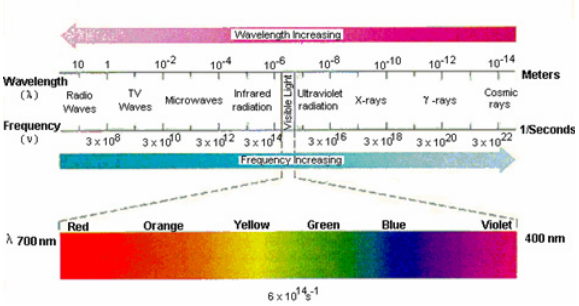
شکل ۱۵: این تصویر توزیع فتوسنتز در سیاره ما توسط فیتوپلانکتون‌ها در اقیانوس‌ها و پوشش گیاهی سطح زمین را نشان می‌دهد.

همه چیز به صورتی که امروزه می‌دانیم نبوده؛ تکامل زمین، تکامل اتمسفر اولیه و تکامل اولیه متابولیسم مجموعه‌ای از رویدادها بودند که زمینه را برای باکتری‌های فتوتروپیک فراهم کردند تا از نور به عنوان منبع انرژی تغذیه کنند و گوگرد تولید کنند (فتوسنتزهایی که منجر به تولید اکسیژن نمی‌شوند با نام فتوسنتز غیراکسیژنی شناخته می‌شوند). بعدها فتوسنتز اکسیژنی پدیدار شد. اکسیژن وارد اتسمفر شد و غلظت آن افزایش یافت و افنجار بزرگ حیات به شکلی که امروزه می‌شناسیم امکان‌پذیر شد. اتسمفر اولیه زمین دارای مقدار اندکی اکسیژن بود. اما پیش از آن حیات وجود داشت. گفته می‌شود که که هوایی که امروزه تنفس می‌کنیم (با ۲۱ درصد اکسیژن) نتیجه فعالیت بیولوژیکی زمین است و با اتمسفر اولیه زمین تفاوت دارد.

فرایند پیدایش مواد آلی. چرا گیاهان سبز هستند؟

حیات در سیاره ما اساساً مدیون فتوسنتزی است که جلبک‌ها و برخی باکتری‌ها که در محیط‌های آبی و گیاهان در خشکی (سطح زمین) انجام می‌دهند. همه آن‌ها توانایی سنتز مواد آلی (که برای پیدایش موجودات زنده ضروری است) را دارند که با نور و مواد معدنی آغاز می‌شود. هر ساله ارگانیسم‌های فتوسنتزی حدود ۱۰۰ میلیارد تن کربن را به صورت مواد آلی در می‌آورند.

اولین گام در تبدیل انرژی نور به انرژی شمیایی وابسته به مولکولی است که به آن رنگدانه‌های (پیگمنت) فتوسنتزی گفته می‌شود. واژه ی رنگدانه (پیگمنت) برای توصیف مولکولی استفاده می‌شود که توانایی جذب انرژی فوتون‌ها را دارد (برانگیخته شدن الکترون‌ها در سطوح انرژی در اتم؛ مولکولی که براثر نور برانگیخته شده‌است). تمام رنگدانه‌های بیولوژیکی طول موج انتخابی مشخصی را جذب و بقیه را بازتاب می‌کنند.



شکل ۱۶: طیف نور مرئی

نور خورشید با طول موجی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر از رنگ‌های متفاوتی تشکیل شده است و هر رنگ طول موج مخصوص به

خود را دارد. کلروفیل تنها انرژی نور آبی و قرمز را جذب می‌کند. به علت بازتاب نور سبز توسط برگ‌ها آن‌ها را سبز می‌بینیم.

فعالیت ۴: تولید اکسیژن از کربن دی اکسید به کمک فتوسنتز یا عملکرد کلروفیل

در این آزمایش می‌توان با استفاده از برگ گیاهان، سدیم بی‌کربنات، کربن و نور لامپ به تولید اکسیژن پرداخت. همچنین از دو شیشه مربایی شفاف که بر روی آن‌ها طلق قرمز و آبی قرار دارد استفاده کنید.

برگ سبز گیاهان باید تازه، سالم و کاملا سبز باشد؛ بنابراین برگ اسفناج با برگ چغندر پیشنهاد می‌شود. به کمک یک دستگاه سوراخ کن (پانچ) برش‌هایی دایره‌ای ایجاد کنید (در هر شیشه ده دایره وجود داشته باشد، از نواحی شیاردار برگ اجتناب کنید).

محلول سدیم بی‌کربنات ۲۵ درصد را تهیه کنید؛ برای این آزمایش ۲۵ گرم سدیم بی‌کربنات را در یک لیتر آب حل کنید تا دایره‌های برش داده شده‌ی برگ‌ها را در آن شناور شود. احتمالا افزایش مقدار کربن موجود در سدیم بی‌کربنات موجب افزایش سرعت واکنش شده و پدیده‌ی مورد نظر سریع‌تر رخ بدهد. ۲۰ میلی‌لیتر از محلول سدیم بی‌کربنات را در هر شیشه مربا بریزید.

یک سرنگ ۱۰ میلی‌لیتری را بردارید انتهای آن را بیرون آورده و برگ‌های دایره‌ای را داخل آن بریزید؛ سپس دوباره انتهای سرنگ را وصل کرده و به تدریج ۱۰ میلی‌لیتر محلول سدیم بی‌کربنات را وارد کنید تا دایره‌ها در محلول شناور شوند.

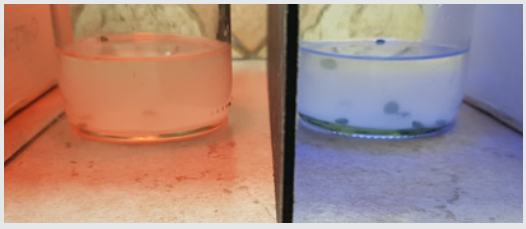
هوای موجود در دایره‌ها باید با محلول بی‌کربنات جایگزین شود. بدین منظور انتهای سرنگ را با انگشت گرفته و محکم شروع به مکیدن کنید. هوا با محلول بی‌کربنات جایگزین خواهد شد؛ با این روش دایره‌ها در محلول بی‌کربنات شناور نخواهند شد و محلول منبع کربن موجود خواهد بود و به ساختار فتوسنتزی برگ نزدیک می‌شود.

دایره‌های برگ را در شیشه‌های مربا قرار دهید (آن‌ها شامل محلول ۲۵ درصد بی‌کربنات هستند). یکی از شیشه‌ها را با ورقه آلومینیومی و دیگری با با ورقه سلفون رنگی بپوشانید. یک لامپ بالای هر شیشه نصب شود (که با کاغذ پوشانده شده است). بنابراین پرتوهای لامپ بر روی نمونه اثر خواهد گذاشت؛ هر دو لامپ می‌بایست در فاصله یکسانی نصب شوند (برای هر نمونه یک لامپ جداگانه با توان یکسان نیاز می‌باشد. توان آن‌ها کمتر از ۷۰ وات نباشد. این لامپ‌ها می‌توانند از نوع فلورسنت باشند اما نوع LED نیز توصیه می‌شود؛ از استفاده از لامپ های رشته‌ای یا لامپ‌های هالوژنی اجتناب کنید زیرا مقدار زیادی از انرژی به صورت گرما از دست می‌رود).

شکل ۱۷:محلول و لامپ به همراه فیلتر قرمز و آبی.

به محض روشن شدن لامپ زمان را به کمک یک زمان‌سنج اندازه بگیرید. زمان را تا وقتی که دایره‌ها شروع به آمدن بر روی سطح محلول کنند محاسبه کنید.

این واکنش سریع نیست و حدود پنج دقیقه زمان برای شناور شدن دایره‌ها نیاز است (به شدت نور و فاصله‌ی لامپ از شیشه‌ها بستگی دارد). دایره‌ها همزمان با بالا آمدن شروع به آزاد کردن حباب‌های اکسیژن می‌کنند که به صعود آن‌ها کمک می‌کند. توجه داشته باشید که حرکت حباب‌ها در دو شیشه با توجه به رنگ نور در زمان‌های متفاوتی رخ می‌دهد؛ در نور آبی سریع‌تر است. این روش نمایانگر تاثیر بیشتر طیف پرانرژی‌تر الکترومغناطیس در سرعت واکنش می‌باشد. سرعت فتوسنتز، پدیده‌ای که منجر به تولید اکسیژن می‌شود، به صورت مستقیم وابسته به زمان شروع بالا آمدن دایره‌ها است. سرعت فتوسنتز برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است؛ بنابراین به کمک این آزمایش می‌توان نشان داد که چگونه گیاهان و سایر ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده مسئول تولید اکسیژن موجود در اتمسفر ما هستند. جایگزینی هوا با محلول بی‌کربنات به فرایند شتاب بخشیده و باعث می‌شود که زمان کمتری صرف شود.



شکل ۱۹: محلول‌ها و لامپ‌هایی با رنگ متفاوت نشان می‌دهد که دایره‌ها در هر کدام در زمان متفاوتی بالا می‌آیند.

علاوه بر این با گذشت زمان برهمکنش میان پرتوهای فرابنفش خورشید با مولکول‌های اکسیژن موجب تولید اوزون می‌شود. این فرایند از ما در برابر پرتوهای پرانرژی فرابنفش محافظت می‌کند؛ البته به UVA و UVB که در تولید ویتامین D در پوست انسان کمک می‌کنند، اجازه عبور می‌دهد.

متغییرهای جایگزین برای آزمایش: غلظت بی‌کربنات در محلول مورد استفاده، دما، منبع نور با رنگ و شدت متفاوت (سایر متغییرها را ثابت نگه داشته و تاریکی را در تمام نمونه‌ها کنترل کنید)، از پیش قرارگیری برگ‌ها در تاریکی یا نور و. . . .

فعالیت ۵: بررسی امکان حیات در شرایط سخت

تخمیر برای تولید الکل یک فرایند بی‌هوازی است که به کمک مخمرها (قارچ‌ها) صورت می‌گیرد. به همراه باکتری، تخمیر یک فرایند پایه‌ای برای تامین انرژی میکروارگانیسم‌ها است. مخمرها قند (گلوکز) را به اتیل الکل یا اتانول و کربن دی اکسید تبدیل می‌کنند. اگرچه تخمیر فرایندی با راندمان انرژی پایین است اما تنفس بسیار مفیدتر بوده و از لحاظ تکاملی جدیدتر است.

بنابراین با تبدیل قند به اتیل الکل و دی اکسید کربن، آزمایش خود را بر اساس این گاز پایه‌گذاری کنید. در صورت مشاهده این گاز متوجه می‌شوید که تخمیر صورت گرفته و در نتیجه احتمال حیات را آزموده‌اید.

برای اینکه آزمایشات میکروبیولوژی به نتایج قابل اعتماد دست یابند نیازمند به زمان نیاز دارید. در این آزمایش وجود یا عدم‌وجود کربن دی اکسید به شما اجازه می‌دهد که مشخص کنید که تغییر در شرایط محیطی امکان وجود حیات را فراهم می‌کند یا خیر. در همه نمونه‌های آزمایشی از یک محصول که در آب وجود دارد شروع کنید. برای مشاهده تغییرات آزمایش نمونه‌ها را در ابتدای کارگاه آماده کنید. شرایط ۷ فرآیند متفاوت را پس از یک ساعت می‌توان مشاهده کرد.

برای این انجام این آزمایش یک قاشق مخمر که میکروارگانسیم زنده و در دسترس است (از مخمر نان که به راحتی در فروشگاه‌ها به فروش می‌رسد استفاده کنید)، یک لیوان آب ولرم (دمای ۲۲ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) و یک قاشق شکر به عنوان غذای مصرفی میکروارگانیسم‌ها استفاده کنید.

از روش مشابه در آزمایش کنترل و سایر آزمایش‌های پیشرفته در شرایط سخت استفاده خواهیم کرد.

فرآیند در آزمایش کنترل

شکر را در یک لیوان آب گرم حل کنید. سپس مخمر را به آن افزوده و به کمک قاشق آن را مخلوط کنید. مخلوط بدست آمده را در یک کیسه‌ی زیپ‌دار پلاستیکی ریخته (نباید هوا به آن وارد شود) و همه هوای موجود را خارج کنید (کیسه را روی میز گذاشته و دست به آن فشار وارد کنید). هوای داخل کیسه باید خارج شده باشد. بعد از پنج دقیقه شاهد جمع‌شدن گاز کربن دی اکسید در کیسه خواهید بود. بعد از بیست دقیقه حباب‌ها به دلیل آزاد شدن گاز کربن دی اکسید که یکی از فرآورده‌های نهایی تخمیر است، در داخل کیسه ظاهر می‌شوند. وجود این گاز نشان دهنده حضور میکروارگانیسم‌های زنده در کیسه می‌باشد.

تصویر ۲۱: آزمایش کنترل با حباب‌های کربن دی اکسید نشان دهنده وجود حیات است

فرآیند در سیاره‌ای قلیایی (برای نمونه نپتون یا تیتان هر دو دارای آمونیاک هستند): آزمایش را با استفاده از هر ماده قلیایی موجود (سدیم بی‌کربنات، آمونیاک و...) در آب تکرار کنید وصبر نمایید تا حباب‌ها ظاهر شوند تا مشخص شود میکروارگانیسم زنده‌ای وجود دارد یا خیر. اگر حباب ظاهر شد، نشان دهنده زنده بودن میکروارگانیسم‌ها است.

Ph در مواد قلیایی؛ سدیم بیکربنات: Ph=۸.۴ و آمونیاک خانگی: Ph=۱۱

فرآیند در سیاره‌ای شور (مانند مریخ یا گانیمد که باور بر این است که دارای آب با غلظت بالای نمک است). آزمایش را با حل کردن مقادیر متفاوتی از سدیم کلرید (نمک معمولی) در آب تکرار کنید.

تصاویر ۲۲ و ۲۳: محلول قلیایی و محلول نمکی با حباب‌هایشان.

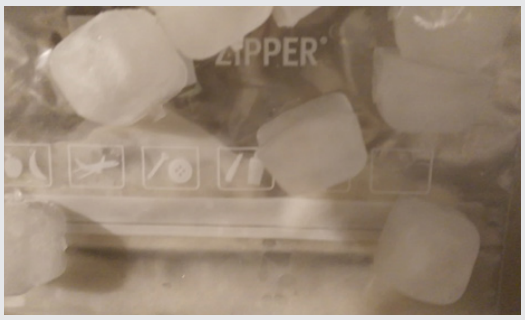
فرآیند در سیاره‌ای اسیدی (مانند ناهید که دارای باران سولفوریک اسیدی است): آزمایش را با حل کردن سرکه، لیمو یا هر اسید در دسترس دیگر در آب تکرار کنید.

مواد اسیدی؛ سرکه: ۲.۹، لیمو: ۲.۳

فرآیند در سیاره‌ای یخی

(برای مثال اروپا یا Trappist-1 h):

کیسه را در ظرفی پر از یخ قرار داده و آن را مشاهده کنید که آیا فعالیت وجود دارد یا خیر. در صورت وجود فعالیت کیسه متورم می‌شود. در صورت در دسترس بودن یخچال یا فریز از آن‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. اگر حبابی مشاهده نشود، حیات وجود ندارد.



تصویر ۲۴: محلول یخ‌زده بدون حباب

فرآیند در سیاره‌ای با تابش فرابنفش (مانند مریخ): آزمایش مشابه را انجام بدهید اما کیسه مخمر و شکر زیر نور فرابنفشی که توسط لامپ مخصوص تولید می‌شود قرار دهید. اگر از لامپ فرابنفش در نواحی انرژی بالا (UV-C) یا (UV-B) استفاده شود حباب پدیدار نمی‌شود؛ این بدین معناست که حیات امکان پذیر نیست. اما استفاده از لامپ های تجاری که نور سیاه نامیده می‌شوند دارای انرژی پایین فرابنفش (UV-A) هستند. این نور برای حیات خطرناک نیست و معمولا در کشاورزی برای تسهیل در رشد گیاهان از آن استفاده می‌شود. با استفاده از این نوع لامپ تعدادی حباب تشکیل می‌شود. اگر حباب ظاهر شد یعنی حیات وجود دارد.

فرآیند در سیاره‌ای گرم (مانند ناهید با اثر گلخانه‌ای): آزمایش را به صورت مشابه با آب گرم تکرار کنید. در مورد ناهید ما باید از آب جوش استفاده کنیم (در صورت وجود دماسنج آزمایش را می‌توان در دماهای متفاوت تکرار کرد و جدولی از دماها تنظیم کرد). اگر حباب پدیدار شد، حیات وجود دارد.

سیارات و سیارات فراخورشیدی با شرایط سخت و مشابه آنچه در این فعالیت بیان شد

ناهید سیاره‌ای با اتمسفر غلیظ که به صورت عمده از دی اکسید کربن و مقدار کمی نیتروژن تشکیل شده است. فشار در سطح این سیاره ۹۰ برابر فشار اتمسفری در سطح زمین است. بدلیل وجود مقدار زیاد دی اکسید کربن در اتمسفر اثر گلخانه‌ای شدیدی به وجود آمده که موجب افزایش دما در نواحی پست استوایی تا حدود ۴۶۴ درجه سانتی‌گراد شده‌است. با وجود اینکه فاصله ناهید تا خورشید دو برابر سیاره تیر است و تنها ۲۵ درصد پرتوهای خورشیدی را دریافت می‌کند اما همین اثر گلخانه‌ای موجب گرم‌تر شدن آن نسبت به تیر شده‌است. ابرها به صورت عمده از ذرات گوگرد و سولفوریک اسید تشکیل شده‌اند و کاملا سیاره را می‌پوشانند. به همین دلیل جزییات سطح آن برای ناظر خارجی غیرقابل مشاهده است.

مریخ زیر سطح یخی دنیای بیابانی این سیاره آب شور می‌تواند وجود داشته باشد. این آب می‌تواند میزبان حیات موجوداتی باشد که توانایی تحمل شرایط سخت حیات دارند. در گذشته این سیاره مکان متفاوتی بود. ما می‌دانیم مریخ در گذشته متفاوت و احتمالا بسیار شبیه به زمین بوده‌است. این سیاره دارای اقیانوس، آتش‌فشان و اتمسفر غلیظی از دی اکسید کربن همچون سیاره ما بود اما این مانعی برای حیات میکروبی نیست. تنها چیزی که موجب از دست رفتن این شرایط در سیاره‌ی سرخ و ایجاد تفاوت در آن در مقایسه با زمین شده، میدان مغناطیسی است. گرانش کم و نبود میدان مغناطیسی موجب شد که به تدریج اتمسفر از دست برود.

علاوه بر این مریخ سیاره‌ای است که تابش فرابنفش خورشید را دریافت می‌کند؛ تابش‌هایی (UV-C و UV-B) که برای ترکیبات بیولوژیکی خطرناک بوده و بر یافتن برخی نشانه‌های حیات در سطح آن اثر گذاشته است.

نپتون ساختار داخلی نپتون شبیه به اورانوس است؛ هسته سنگی پوشیده شده با پوسته یخی و پنهان شده زیر اتمسفری غلیظ. دو سوم از بخش‌های داخلی نپتون شامل ترکیبی از سنگ مذاب، آب، آمونیاک مایع و متان می‌باشد. یک سوم بیرونی ترکیبی از گاز گرم هیدروژن، هلیوم، آب و متان است. اتمسفر تقریبا ۷ درصد جرم سیاره را تشکیل می‌دهد. در اعماق زیاد فشار اتمسفر ۱۰۰۰۰۰ برابر بیشتر از فشار اتمسفر زمین است. غلظت متان، آمونیاک و آب از بخش‌های بیرونی به سمت بخش‌های درونی اتمسفر افزایش می‌یابد.

گانیمد قمر مشتری، از سیلیکات و یخ تشکید شده‌است و پوسته‌ای یخی بر فراز گوشته‌ی گل‌آلود دارد که ممکن است حاوی لایه‌ای آب با غلظت بالای نمک باشد. اولین پروازها بر فراز گانیمید توسط فضاپیمای گالیله صورت گرفت و نشان داد که این قمر دارای مغناطیس‌سپر (مگنتوسفر) است و ممکن است با شیوه‌ای مشابه شیوه شکل‌گیری مغناطیس‌سپر زمین به وجود آمده باشد؛ مغناطیس‌سپهر زمین بدلیل حرکت مواد رسانا در داخل آن به وجود آمده‌است.

تیتان قمر زحل. باورها بر این است که این قمر دارای اقیانوسی از آب، آمونیاک و احتمالا سایر هیدروکربنات‌ها زیر سطح خود تا عمق ۱۰۰ کیلومتر است. اتمسفر آن شامل ۹۴ درصد نیتروژن است و تنها جوغنی از نیتروژن در منظومه شمسی است که در فاصله دوری از سیاره ما قرار داد. مقادیر اندکی از سایر هیدروکربن‌های متفاوت در اتمسفر این قمر وجود دارد. یخ موجود آن بسیار شبیه به یخ‌های قطبی زمین است.

اروپا قمر مشتری، دارای سطحی یخی با اقیانوسی از آب زیر سطح خود است. اتمسفر آن رقیق و دارای مقدار کمی اکسیژن است. یخ موجود در آن بسیار شبیه به یخ‌های قطبی زمین است. اروپا دارای هسته آهن- نیکل پوشیده شده با گوشته‌ی سنگی داغ است. روی آن اقیانوسی از آب مایع با عمق (مورد بحث زمین‌شناسان است) حدودی ۱۰۰ کیلومتر برآورد می‌شود و سطح یخی به عمق ۱۰ می‌باشد.

فعالیت ۶: پیدا کردن زمین دوم

زمین تنها سیاره شناخته شده با قابلیت حیات است. اگر ما به دنبال یافتن سیاره‌ای با حیات غیرزمینی باشیم بهتر است که سیاراتی با شرایط مشابه در نظر بگیریم. اما کدام معیارها مهم‌تر هستند؟

در جدول زیر برخی از ویژگی‌های سیارات فراخورشیدی ذکر شده‌است. سیارات فراخورشیدی که مناسب نیستند را رد کنید، شاید زمین دوم را بیابید. می‌توانید برخی از معیارها را پس از جدول پیدا کنید.

نام سیاره فراخورشیدی	جرم سیاره نسبت به جرم زمین	شعاع سیاره نسبت به شعاع زمین	فاصله سیاره تا ستاره بر حسب واحد نجومی	جرم ستاره مادر نسبت به جرم خورشید	نوع طیفی ستاره/ دمای سطحی ستاره
Beta Pic b	~~۴۱۰۰~~	~~۱۸,۵~~	~~۱۱,۸~~	~~۱,۷۳~~	A6V
HD 209458 b	~~۲۱۹,۰۰~~	~~۱۵,۱۰~~	~~۰,۰۵~~	۱,۱۰	G0V
HR8799 b	~~۲۲۲۶~~	~~۱۴,۲۰~~	~~۶۸,۰~~	۱,۵۶	A5V
Kepler-452 b	**unknown**	۱,۵۹	۱,۰۵	۱,۰۴	**G2V**
Kepler-78 b	۱,۶۹	۱,۲۰	~~۰,۰۱~~	۰,۸۱	G
Luyten b	۲,۱۹	**unknown**	۰,۰۹	۰,۲۹	**M3.5V**
Tau Cet c	۳,۱۱	unknown	~~۰,۲۰~~	۰,۷۸	G8.5V
TOI 163 b	۳۸۷	~~۱۶,۳۴~~	~~۰,۰۶~~	۱,۴۳	F
Trappist-1 b	۰,۸۶	۱,۰۹	~~۰,۰۱~~	۰,۰۸	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	~~۴~~	unknown	~~۲۴~~	۰,۷	K8V
HD 10613 b	~~۱۲,۶۰~~	~~۲,۳۹~~	~~۰,۰۹~~	۱,۰۷	F5V
Kepler-138c	۱,۹۷	۱,۲۰	۰,۰۹	۰,۵۷	**M1V**
Kepler-62f	۲,۸۰	۱,۴۱	~~۰,۷۲~~	۰,۶۹	K2V
Proxima Centauri b	۱,۳۰	۱,۱۰	~~۰,۰۵~~	۰,۱۲	M5V
HD 10613 b	~~۱۲,۶۰~~	~~۲,۳۹~~	~~۰,۰۹~~	۱,۰۷	F5V
KIC 5522786 b	unknown	۱,۲۱	~~۱,۹۸~~	~~۱,۷۹~~	A

جدول ۳: سیارات احتمالی برای زمین دوم

جرم و شعاع

در منظومه شمسی سیارات سنگی (تیر، ناهید، زمین و مریخ) و غول‌های گازی (مشتری، زحل، اورانوس و نپیتون) وجود دارند. سیارات زمین‌سان از سنگ‌های سیلیکاتی و آهن تشکیل شده‌اند و چگالی بیشتری نسبت به سیارات گازی دارند. شعاع و جرم سیاره شاخص‌های مناسبی برای چگالی آن هستند.

ما از تعریف ارائه شده توسط تیم ماموریت کپلر استفاده می‌کنیم: زمین‌سان، ابَرزمین‌سان. شعاع سیارات زمین‌سان کم‌تر از دو برابر شعاع زمین و جرم سیارات ابَرزمین‌سان ۱۰ برابر جرم زمین است.

ناحیه حیات

ناحیه حیات، منطقه‌ای پیرامون یک ستارهاست که امکان وجود آب مایع در سطح سیاره وجود داشته باشد.

در ستارگان رشته اصلی که مورد نظر ما هستند، ارتباط مستقیمی بین درخشندگی و دمای سطحی ستاره وجود دارد. هر چه ستاره داغ‌تر باشد، درخشش بیشتر و ناحیه‌ی حیات در فاصله دورتری نسبت ستاره مادر قرار می‌گیرد. نوع طیف ستارگان دمای سطحی آن‌ها را مشخص می‌سازد (به جدول زیر توجه کنید).

نوع طیف	دما K	ناحیه حیات AU
O6V	٤١٠٠٠	٩٠٠-٤٥٠
B5V	١٥٤٠٠	٤٠-٢٠
A5V	٨٢٠٠	٥,٢-٢,٦
F5V	٦٤٠٠	٢,٥-١,٣
G5V	٥٨٠٠	١,٤-٠,٧
K5V	٤٤٠٠	٠,٥-٠,٣
M5V	٣٢٠٠	٠,١٥-٠,٠٧

جدول ۴: ناحیه حیات وابسته به نوع طیف ستاره است.

گونه ی طیفی با یک حرف (O ، B ، A ، F ، G ، K ، M) طبقه‌بندی می‌شوند و به زیر مجموعه‌ای از ۰ تا ۹ تقسیم می‌شوند (۰ گرمترین نوع در یک گونه‌ی طیفی معین است) . V نشانگر یک ستاره رشته‌ی اصلی است.

نکته: اگر گونه‌ی طیفی ستاره کمی متفاوت است یا زیرگونه ناشناخته است از مقادیر داده شده برای منطقه قابل سکونت به صورت تقریبی استفاده کنید.

جرم ستاره مادر

برای بررسی سکونت‌پذیری یک سیستم سیاره‌ای پیرامون ستاره رشته اصلی می‌بایست تکامل ستاره مادر نیز بررسی شود.

یک میلیارد سال پس از پیدایش زمین اولین شکل حیات پدیدار شد. ممکن است پیش از آن نیز حیات وجود داشته اما از آن اطمینانی نداریم. پس بنابراین ستاره میزبان می‌بایست پایدار باشد و حداقل۱۰۹ سال از تکامل خود را سپری کرده باشد.

$$t_x/ts = (M_x/Ms)/(L_x/Ls)$$

انرژی که یک ستاره از همجوشی هیدروژن تولید می‌کند با جرم آن تناسب دارد. زمان رشته اصلی را می‌توان از تقسیم مقدار این انرژی بر درخشش ستاره بدست آورد. اگر از این تناسب استفاده کنید و خورشید را به عنوان ستاره مرجع در نظر بگیرید بخش نخست فرمول بدست می‌آید و با این فرمول می‌توان مدت زمانی که ستاره در دوره رشته اصلی صرف کرده‌است را محاسبه کرد.

برای ستاره‌های کوتوله معمولی یا رشته اصلی در نمودار H-R درخشش با جرم تناسب دارد که حدودا نیرویی برابر با

$$t*/ts = (M*/Ms)/(M*^{3.5}/Ms^{3.5}) = (M*/Ms)^{-2.5}$$

$$t*/ts = (Ms/M*)^{2.5}$$

دوره زندگی یک ستاره کسری از دوره حیات خورشید خواهد بود. نمونه ساده شده‌ی این فرمول به شکل زیر است:

$$t* \sim 10^{10} \text{ x } (Ms/M)^{2.5} \text{ years}$$

حد بالای جرم ستاره را محاسبه کنید، مدت زمان رشته اصلی حداقل ۳ میلیارد سال است.

$$M* = (10^{-10} \text{ x } t)^{-0.4} Ms$$

$$M* = (10^{-10} \text{ x } 3\,000\,000\,000)^{-0.4} Ms$$

$$M* = 1.6 Ms$$

ستارگان با جرم بیشتر از دو برابر جرم خورشید مدت زمان رشته اصلی به یک سال کهکشانی (مدت زمانی که طول می‌کشد تا به مرکز کهکشان برویم ۲۵۰ میلیون سال است) کاهش می‌یابد. بنابراین حتی اگر سیاره‌ای سکونت‌پذیر

اطراف آن وجود داشته باشد، حیات روی آن فرصتی برای تکامل پیدا نکرده‌است.

کتابشناسی:

• Álvarez, C., y otros, Guia Libreciencia Taller Abril, Argentina 2018,

• Anderson, M., Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1, 2018

• Goldsmith, D., Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life, Harvard University Press, 2018

• Prieto, J., Orozco, P., Estudios de Astrobiología, Actas Ciencia en Acción , Viladecans, 2018

• Summers M, Trefil,J., Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System , Smithsonian Books; 2018

• Tasker, E. The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth, Bloomsbury Sigma, 2017

مقدمات یک شب رصدی

فرانسیس برتومیو، ریکاردو مونرو، بئاتریس گارسیا، رزا ماریا رز
اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، CLEA (نیز، فرانسه) مدرسه ری تامر (مادرید، اسپانیا)، دانشگاه ملی مهندسی (مندوزا، آرژانتین)، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)

خلاصه

یک شب رصدی می‌تواند لذت‌بخش و سرشار از یادگیری باشد به ویژه اگر با دوست یا گروهی از دوستانتان این شب را سپری کنید. اگر می‌خواهید رصد خوبی داشته باشید و از ابزار استفاده کنید حتما از قبل برنامه ریزی کنید. اما فراموش نکنید که از تماشای آسمان پرستاره‌ی شب با چشمان غیرمسلح یا یک دوربین دوچشمی نیزلذت ببرید.

اهداف

- نحوه انتخاب مکان، زمان و تاریخ مناسب، وسایل مورد نیاز و چگونگی برنامه ریزی برای شب رصدی
- آموزش برنامه‌ی استلاریوم
- شناسایی معضل آلودگی نوری

انتخاب مکان و زمان

تاثیر نور اتمسفربر دید ما نسبت به آسمان بسیار زیاد است. در آسمان شهرها تنها می‌توان خورشید، ماه، برخی از سیارات، تعدادی از ستارگان درخشان و ماهواره‌ها را دید. مکان‌هایی تاریک برای رصد مناسب هستند و گاهی اوقات ناگزیریم مزیت رصد در خانه یا مدرسه را نادیده بگیریم. اگر می‌خواهید تعداد بیشتری ستاره و سحابی را رصد کنید باید به مکانی دور از جاده‌ها و شهرها بروید. به دلیل این که نور شهرها هاله‌ای از نور ایجاد می‌کنند؛ این پدیده که با نام "آلودگی نوری" شناخته می‌شود باعث اختلال در دید می‌شود. همچنین از تک لامپ‌ها نیز دور شوید. سعی کنید جایی پیدا کنید که از جاده دور باشد تا نور ماشین‌ها چشمانتان را آزار ندهد. همچنین مکان انتخابی پوشیده از درختان بلند نباشد تا مانع دید شما از آسمان نشود.

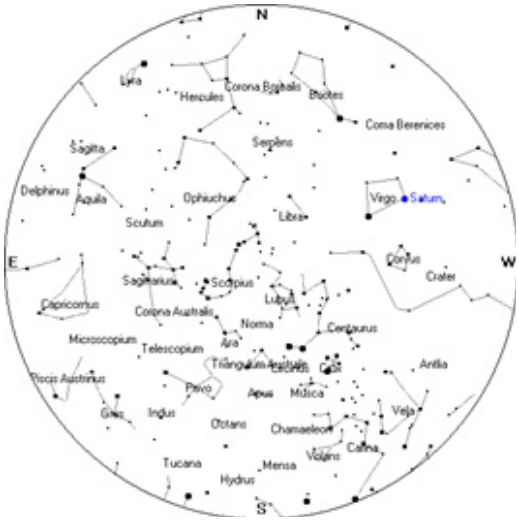
شرط لازم در انتخاب زمان مناسب آسمان صاف و بدون ابر است. بهتر است دمای هوا نیز متعادل باشد (پیشنهاد می‌کنیم به کمک اینترنت این موارد را بررسی کنید). فاز ماه نیز بسیار تعیین کننده است. بدترین زمان شب‌هایی است که ماه در فاز کامل (ماه بدر) قرار دارد زیرا آسمان بسیار پرنور خواهد بود و تنها می‌توان ستارگان پرنور را در آسمان مشاهده کرد. در تربیع آخر، هلال کاهنده ماه نیمه شب طلوع می‌کند و از ابتدای شب تا سپیده‌دم فرصت رصد وجود دارد. احتمالا بهترین زمان برای رصد شب‌های پیش از تربیع اول است؛ ساعات ابتدایی شب می‌توان ماه و دهانه‌های آن را رصد کرد و با غروب ماه، آسمان تاریک شده و فرصت برای رصد سایر اجرام به دست می‌آید.

اگر برای برنامه‌تان تلسکوپ دارید باید پیش از غروب آفتاب در رصدگاه حاضر شوید تا در نور روز ابزار را تنظیم کنید.

وسایل مورد نیاز

برنامه ریزی رصد: در نظر داشته باشید که آسمان با تغییر عرض جغرافیایی تغییر می‌کند. شما می‌توانید برنامه ی استلاریوم را روی گوشی خود نصب کنید یا به مجلات یا کتاب های نجومی رجوع کنید. در اینترنت سایت های بسیاری مانند www.heavens-above.com/skychart یا www.skyandtelescope.com وجود دارد که با تنظیم زمان، تاریخ و موقعیت جغرافیایی می‌توانید نقشه‌ی آسمان را از آن‌ها دریافت کنید.

تصویر ۱: نمونه‌ای از یک نقشه آسمان شب برای عرض‌های نیمه‌شمالی در اواسط ماه جولای و ساعت ۲۲



تصویر ۲: نمونه‌ای از یک نقشه آسمان شب برای عرض‌های نیمه‌جنوبی در اواسط ماه جولای و ساعت ۲۲

چراغ قوه قرمز

در تاریکی چشمان ما به آرامی باز می‌شود تا نور بیشتری وارد آن شود؛ بدین ترتیب در شب راحت‌تر می‌بینیم. به این توانایی "دید در شب" گفته می‌شود. دید در شب مربوط به یکی از سلول‌های حساس نوری در شبکیه چشم است که سلول های استوانه‌ای نام دارد. دو نوع سلول در شبکیه وجود دارد: سلول‌های مخروطی حساس به رنگ و فعال در روشنایی و سلول‌های استوانه‌ای فعال در نور کم. اگر منطقه‌ای که در آن هستیم ناگهان پرنور شود، مردمک چشم تنگ و سلول‌های استوانه‌ای غیرفعال می‌شوند. با تاریک شدن مجدد محیط مردمک چشم باز می‌شود اما نزدیک به ده دقیقه زمان نیاز است تا سلول‌های استوانه‌ای دوباره فعال شوند و دید در شب عمل کند. سلول‌های استوانه‌ای نسبت به نور قرمز حساسیت کمتری نشان می‌دهند، بنابراین استفاده از نور قرمز چشم را فریب می‌دهد که محیط تاریک‌تر است و بدین ترتیب دید در شب نیز به خوبی حفظ می‌شود. برای ساخت چراغ قوه با نور قرمز، یک چراغ قوه‌ی معمولی را برداشته و جلوی آن را با طلق قرمز بپوشانید تا نور چراغ قوه قرمز شود.

غذا: باید در نظر داشت که برنامه از زمان شروع سفر، آماده کردن وسایل، رصد، جمع کردن وسایل و بازگشت چندین ساعت طول می‌کشد. تقسیم غذا و نوشیدنی سرد یا گرم متناسب با دمای فصل، با دیگران رصد را دلنشین‌تر خواهد کرد.

لیزر سبز ابزاری مفید برای نشان دادن صورت‌های فلکی، ستارگان و سایر اجرام است. بسیار مراقب باشید؛ این لیزر را به سمت چشم شرکت کنندگان در برنامه رصد یا هواپیماها نگیرید زیرا باعث آزار و صدمه رسیدن به آن‌ها می‌شود. لیزر سبز تنها باید در اختیار بزرگسالان باشد.

لباس: حتی در فصل تابستان نیز با غروب خورشید دما کاهش یافته و نسیم شروع به وزیدن می‌کند. پس در نظر داشته باشید که برنامه رصد چند ساعت طول می‌کشد و برای تغییرات آب و هوایی در طول برنامه لباس مناسب به همراه داشته باشید.

دوربین دوچشمی، تلسکوپ، دوربین عکاسی: ابزارهای رصدی به برنامه ریزی شما برای رصد بستگی دارند.

اگر هوا ابری شد:

آسمان ابری در طول شب رصدی کل برنامه را تغییر می‌دهد. بنابراین همیشه یک برنامه‌ی جایگزین در نظر داشته باشید مثل بیان داستان‌های صورت‌های فلکی و گفت و گو در مورد موضوعات نجومی. اگر به اینترنت دسترسی دارید، با جستجو در (Google Sky، (Google-Earth و سایر نرم‌افزارهای شبیه سازی به رصد آسمان بپردازید. همچنین می‌توانید فیلم‌هایی با موضوعات نجومی تماشا کنید.

چشم غیر مسلح

شناخت آسمان با چشم غیرمسلح بسیار ضروری است. برای شناسایی صورت‌های فلکی مهم و ستارگان پرنور آسمان تنها به نقشه‌ی آسمان و در صورت امکان لیزر سبز نیاز دارید. همچنین امروزه نرم‌افزارهای بسیاری روی تلفن‌های همراه قابل نصب هستند که به کمک آن‌ها می‌توان خطوط صورت‌های فلکی و مکان سیارات را یافت. این نرم‌افزارها در آب و هوای ابری نیز کار می‌کند؛ پس می‌توان از آن به عنوان یک برنامه‌ی جایگزین در آب و هوای ابری نیز استفاده کرد.

ستاره‌هایی که می‌توانیم ببینیم به مکان ما بستگی دارد. در نزدیکی قطب شمال تنها نیمی از ستارگان آسمان (ستارگان نیم‌کره شمالی آسمان) قابل رویت هستند. ساکنین نواحی استوایی می‌توانند تمام ستارگان آسمان را ببینند البته به زمان رصد در طول سال نیز بستگی دارد. در قطب جنوب نیز تنها نیمی از ستارگان آسمان (ستارگان نیم‌کره جنوبی آسمان) قابل رویت هستند.

پیشنهاد می‌کنیم صورت‌های فلکی زیر را بشناسید:

نیم‌کره‌ی شمالی

صورت‌های فلکی خرس بزرگ، خرس کوچک و ذات‌الکرسی صورت‌های فلکی دورقطبی و همیشه قابل تماشا هستند.

در فصل تابستان می‌توان صورت‌های فلکی قو، عوا، شلیاق، جاثی (برزانو نشسته)، گیسوی برنیکه، شیر، قوس وعقرب را دید.

در فصل زمستان می‌توان صورت‌های فلکی شکارچی، سگ بزرگ، گاو، آندرومدا، اسب بالدار، دوپیکر و خوشه ستاره‌ای پروین را تماشا کرد.

ستارگان ستاره قطبی (واقع شده در نزدیکی قطب شمال سماوی)، شباهنگ، دبران، ابط الجوزا، رجل‌الجوزا، قلب‌العقرب و سماک رامح را تماشا کرد.

نیم‌کره جنوبی

صورت‌های فلکی صلیب جنوبی، قوس، عقرب، شیر، کشتیدم، بادبان، شاه تخته (سه صورت فلکی که در گذشته صورت فلکی قدیمی کشتی را می‌ساختند). همچنین صورت‌های فلکی شکارچی و سگ بزرگ را می‌توان از نیم‌کره

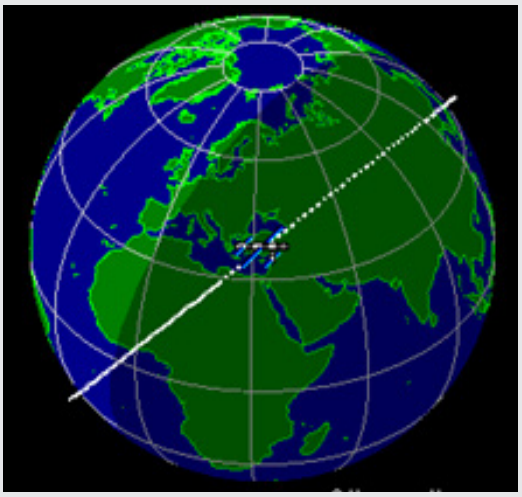
جنوبی نیز تماشا کرد.

ستارگان قلب العقرب، الدبران، شباهنگ، ابط الجوزا و سهیل نیز از آسمان نیم‌کره جنوبی قابل رویت هستند. در آسمان نیم‌کره جنوبی ستاره‌ای برای مشخص کردن قطب جنوب سماوی وجود ندارد.

صورت‌های فلکی دایره البروج از اکثر مناطق نیم‌کره شمالی و جنوبی زمین قابل رویت هستند اما جهت‌گیری آن‌ها در کره سماوی متفاوت است.

دنبال کردن تغییرات فاز ماه و موقعیت آن نسبت به ستارگان پس‌زمینه آسمان در شب‌های مختلف بسیار جذاب است. تغییر موقعیت ماه را می‌توان به نسبت ستارگان یا سیارات نزدیک آن سنجید که نسبت ماه حرکت آهسته‌تری دارند. البته تغییر موقعیت دو سیاره ناهید و عُطارِد در زمان غروب خورشید بیشتر می‌باشد؛ البته گاهی این دو سیاره را می‌توان در زمان طلوع خورشید رصد کرد و با تماشای آن‌ها در شب های پس از برنامه رصد آسمان تماشا کنید.

چند ساعت س از غروب خورشید در هر ساعت می‌توان ۵ تا ۱۰ شهاب در آسمان دید. در زمان‌های خاصی از سال شاهد پدیده‌ی بارش شهابی با تعداد زیادی شهاب خواهیم بود. برخی از برترین بارش‌های شهابی هر سال عبارتند از: بارش شهابی ربعی در ۱۳ دی ماه با ۱۲۰ شهاب در ساعت، بارش شهابی برساووشی (تنها در نیم‌کره شمالی قابل رویت است) در ۲۲ مرداد ماه با ۱۰۰ شهاب در ساعت، بارش شهابی اسدی در ۲۸ آبان ماه با ۲۰ شهاب در ساعت، بارش شهابی جوزایی در ۲۲ تا ۲۴ آذر ماه با ۱۲۰ شهاب در ساعت.



شکل ۳: مسیر عبور ایستگاه فضایی بین‌المللی

ماهواره‌های بسیاری در حال گردش به دور زمین هستند که با بازتاب نور خورشید از سطح آن‌ها می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد. در حالی که معمولا ارتفاع زیادی ندارند و در نبود نور خورشید می‌توان آن‌ها را در آسمان دید. برای مثال ISS بسیار درخشان است و به مدت تقریبی ۲ تا ۳ دقیقه در آسمان دیده می‌شود. زمان رصد ایستگاه فضایی بین‌المللی و بسیاری از ماهواره‌ها را با توجه به مکان جغرافیایی از سایت

www.heavens-above.com

به دست آورد.

شکل ۴: قطر و گشودگی لنز

رصد با دوربین دوچشمی

دوربین دوچشمی، یک ابزار در دسترس و مفید برای رصد است. دوربین دوچشمی با توانایی جمع آوری نور بیشتر نسبت به مردمک چشم و بزرگ‌نمایی نسبتا کم، این امکان را فراهم می‌کند تا دانش آموزان اجرامی مانند خوشه‌های ستاره‌ای، سحابی‌ها و ستارگان دوتایی که در نگاه اول کم‌نور و محو به نظر می‌رسند را با وضوح بهتری مشاهده کنند. همچنین اگر کمی دوربین دوچشمی را از حالت وضوح خارج کنیم، تفاوت رنگ ستاره‌ها بیشتر نمایان می‌شود.

بر روی دوربین‌های دوچشمی معمولا اعدادی مانند ۳۰*۸ یا ۵۰*۱۰ نوشته شده‌است. نخستین عدد به قدرت بزرگ‌نمایی و دومین عدد به قطر عدسی شیئ بر حسب میلی‌متر اشاره دارد. برای فعالیت‌های ما دوربین دوچشمی ۵۰*۷ پیشنهاد می‌شود. از آن‌جا که دوربین‌های دوچشمی با بزرگ‌نمایی‌های بیشتر سنگین‌تر هستند ثابت نگه داشتن آن‌ها سخت بوده و تصویر دچار لرزش می‌شود. از سوی دیگر افزایش قطر دهانه

باعث افزایش قیمت دوربین دوچشمی نیز می‌شود.

جالب‌ترین اجرام برای رصد با دوربین دوچشمی عبارتند از: کهکشان آندرومدا (M ۳۱)، خوشه‌ی هرکول (M ۱۳)، خوشه‌ی دو قلو در برساووش، خوشه‌ی کندوی عسل (M ۴۴)، سحابی شکارچی (M ۴۲)، محدوده‌ی صورت فلکی قوس (M ۸: سحابی مرداب، M ۲۰: سحابی سه تکه ، M ۱۷: سحابی امگا و خوشه های کروی مانند: M ۵۵ و M ۲۲) و انبوه ستارگان کهکشان راه شیری که با دوربین دوچشمی بهتر دیده می‌شوند. در نیم‌کره‌ی جنوبی، خوشه‌های ستاره‌ای امگا-قنطورس و ۴۷-توکان خوشه های کروی زیبایی هستند.

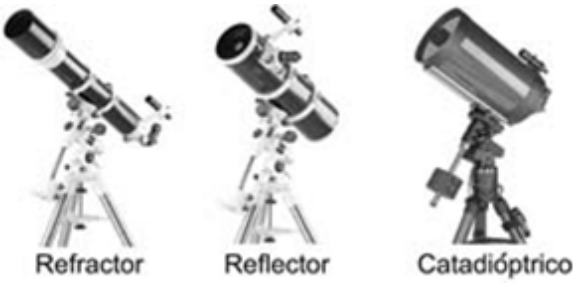
رصد با تلسکوپ

اغلب مردم می‌دانند که کار تلسکوپ بزرگ نشان دادن اجرام دور دست است اما کمتر کسی می‌داند که تلسکوپ وظیفه‌ی مهم جمع آوری نور را نیز بر عهده دارد. دهانه‌ی تلسکوپ نسبت به چشم ما نور بیشتری جمع آوری می‌کند. حتی اگر بزرگنمایی افزایش یابد این توانایی جمع‌آوری نور بیشتر است که به دیدن اجرام کم‌نور کمک می‌کند.

هر تلسکوپ شامل دو بخش اصلی عدسی شیئی و چشمی است. در تلسکوپ‌های شکستی عدسی شئی که قطر بزرگ‌تری دارد باعث شکست نور می‌شود. در تلسکوپ‌های بازتابی این کار بر عهده آینه می‌باشد. آینه در تلسکوپ‌های بازتابی به شکل سهمی است. عدسی چشمی کوچک است و همانطور که از اسم آن پیداست برای رصد اجرام باید چشم را بر روی آن قرار داد. عدسی شئی قابل تغییر است و استفاده از اندازه‌های مختلف آن‌ها در تغییر بزرگ‌نمایی تاثیر به سزایی دارد.

هر چه عدسی شیئی بزرگ‌تر باشد نور بیشتری جمع آوری کرده و اجرام کم‌نورتری می‌توان رصد کرد. قیمت عدسی‌های باکیفیت از آینه‌هایی با همان قطر بسیار بیشتر است به همین دلیل معمولا تلسکوپ‌های بزرگ از نوع بازتابی هستند. رایج ترین نوع تلسکوپ، تلسکوپ نیوتونی است که آینه‌ای مقعر در انتهای لوله آن نصب می‌شود. در این نوع تلسکوپ‌ها پرتوهای نوری بازتاب شده با زاویه ۴۵ درجه به آینه‌ی ثانویه می‌تابند. پس از آن پرتوها به سمت خارج از لوله، یعنی محل قرار گیری عدسی چشمی هدایت می‌شوند. آینه‌ی ثانویه مقدار کمی از نور ورودی را مسدود می‌کند که از آن صرف نظر می‌شود. نوع دیگری از تلسکوپ‌های طراحی شده مدل کاسگرین است که نور ثانویه را به سمت حفره‌ی مرکزی موجود در آینه‌ی اولیه هدایت می‌شود. عدسی چشمی در پس این حفره‌ی مرکزی قرار دارد. در نهایت تلسکوپ‌های کاتادیوپتیک هستند که به مدل کاسگرین شباهت دارند با این تفاوت که در دهانه‌ی ورودی آن‌ها یک عدسی وجود دارد. در این نوع تلسکوپ ضمن کاهش وزن، طول لوله به شدت کاهش یافته است وبه راحتی قابل حمل هستند.

بزرگ‌نمایی تلسکوپ از نسبت فاصله‌ی کانونی عدسی شیئی (عدسی یا آینه) به فاصله‌ی کانونی عدسی چشمی بدست می‌آید. برای مثال اگر در تلسکوپی فاصله ی کانونی شیئی ۱۰۰۰ میلی‌متر باشد و ما یک چشمی با فاصله‌ی کانونی ۱۰ میلی‌متر بر روی آن قرار دهیم بزرگ‌نمایی حاصل از آن ۱۰۰ خواهد بود. اگر بخواهیم بزرگ‌نمایی را دو برابر افزایش دهیم ما به شیئی با فاصله‌ی کانونی بیشتر و یا چشمی با فاصله‌ی کانونی کمتر نیاز داریم. این یک محدودیت عملی است؛ زیرا چشمی با فاصله‌ی کانونی کمتر باعث محو شدن تصویر می‌شود.



شکل۵: انواع تلسکوپ های نوری

سازندگان تلسکوپ‌ها معمولا از نسبت کانونی برای توصیف تلسکوپ‌ها استفاده می‌کنند؛ برای مثال f/۶ یا f/۸. نسبت کانونی، فاصله‌ی کانونی عدسی شیئ یا آینه‌ی اولیه تقسیم بر قطر آن است. با دانستن یکی از این دو مقدار می‌توان مولفه دیگر را با توجه به فاصله کانونی به دست آورد. برای مثال یک تلسکوپ شکستی با نسبت کانونی f/۸ و قطر عدسی شئی ۶۰ میلی‌متر می‌توان فاصله‌ی کانونی را از ضرب آن دو به صورت ۴۸۰= ۸ x ۶۰ به دست آورد. در یک عدسی با قطر مشابه نسبت کانونی بزگ‌تر، بزرگ‌نمایی و میدان دید کوچک‌تری به همراه خواهد داشت.

گشودگی بیشتر دهانه تلسکوپ موجب جمع آوری نور بیشتر شده و اجرام کم‌نور را بهتر می‌توان دید. همچنین سطح توان تفکیک را افزایش داده که به کمک آن جزییات بیشتر از اجرام قابل مشاهده خواهد بود. هنگامی که توان تفکیک کم باشد اجرام محو دیده می‌شوند و زمانی که توان تفکیک زیاد باشد تصویر شفاف و با جزییات بالا دیده می‌شود. عدم وجود نورهای اضافی نیز بر افزایش توان تفکیک موثر است؛ در

شب‌هایی که ماه کامل است یا نور در اطراف محل رصد وجود داشته باشد قادر به تماشای ستارگان کم‌نور نخواهیم بود.

یک مانع دیگر پایداری جو است. همه‌ی ما دیده‌ایم که هوای گرم بیابان چگونه موجب لرزش تصویر در دوربین‌ها با لنز تله می‌شود. کوچکترین اختلات جوی، نیز موجب لرزش تصویر تلسکوپ می‌شود. این پدیده در بین منجمان با نام خطای سیینگ (seeing) شناخته می‌شود. این پدیده همان چیزی است که موجب چشمک زدن ستارگان می‌شود.

تصویر در تلسکوپ وارونه تشکیل می‌شود؛ البته این موضوع چندان مهمی نیست زیرا بالا و پایین بودن در کیهان نسبی است. لوازم جانبی وجود دارد که تصویر را به حالت صحیح خود بر می‌گرداند. البته استفاده از آن‌ها به قیمت صرف هزینه‌ی بیشتر و کاهش روشنایی تصویر خواهد بود.

یکی از مهم‌ترین بخش‌های تلسکوپ مقر می‌باشد. یک مقر بی‌کیفیت با هر بار لمس تلسکوپ می‌لرزد. در نتیجه جدا از حس سرگیجه، تصویر شروع به رقصیدن کرده و جزییات تصویر قابل مشاهده نخواهد بود. بنابراین وجود یک مقر محکم و پایدار ضروری است.

دو نوع مقر وجود دارد: سمتی-ارتفاعی و استوایی. مقرهای سمتی-ارتفاعی بسیارساده و با کمترین مزیت می‌باشند. این مقر می‌تواند حول محور عمودی به چپ و راست و حول محور افقی به سمت بالا و پایین حرکت کند. مقرهای تلسکوپ دابسونی از این نوع هستند که جابه جایی و کارکردن با آن بسیار آسان است. در مقر استوایی دو محور با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. یکی از محورها که محور بُعد نام دارد به سمت ستاره‌ی شمال (قطب شمال سماوی) است و همراه با آن می‌چرخد. محور دیگر میل را نشان می‌دهد. این مقر توسط ستاره شناسان حرفه‌ای و بسیاری از ستاره شناسان آماتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. نصب موتور بر محور استوایی حرکت چرخشی زمین را حذف می‌کند. در صورت نبود موتور مخصوصا در تلسکوپ‌هایی که بزرگ‌نمایی بالا دارند تصویر به سرعت از میدان دید خارج می‌شود.

اگر مقر تلسکوپ شما از نوع استوایی است پیش از استفاده می‌بایست به کمک ستاره ی شمال (یا جنوب) آن را قطبی و تراز کنید. اگرچه این کار فرآیندی زمان‌بر است اما برای مقرهایی با موتور ضروری است و موجب می‌شود جرم مور نظر از میدان دید تلسکوپ خارج نشود. همچین این کار در زمان عکاسی نیز الزامی است. اگر تلسکوپ شما موتور ندارد این کار چندان ضرورتی ندارد اما در صورت انجام دادن این کار برای این که جرم از میدان دید تلسکوپ خارج نشود تنها لازم است یک محور را تنظیم کنید.

آخرین نوع تلسکوپ‌ها رایانه‌ای هستند. این نوع تلسکوپ‌ها پایگاه اطلاعاتی از اجرام سماوی و دو موتور دارند. در ابتدا باید این تلسکوپ‌ها را به صورت صحیح تنظیم کنید. پس از آن استفاده از آن آسان می‌شود. تراز این تلسکوپ به کمک سه ستاره‌ی شناخته شده انجام می‌شود؛ احتمالا انجام این مرحله کمی برای تازه کارها دشوار خواهد بود.

حرکت‌های آسمان

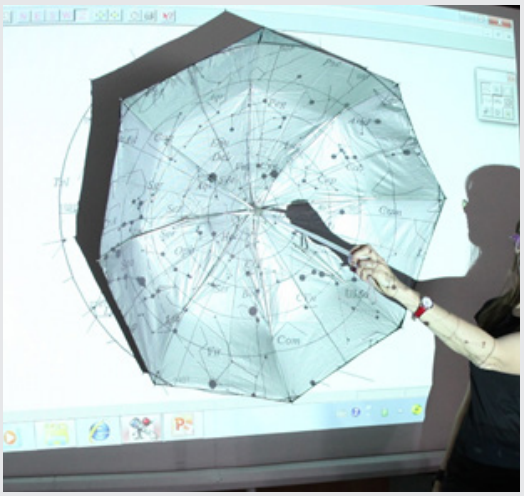
حرکت آسمان یک حرکت نسبی ناشی از حرکت انتقالی و چرخشی زمین است. این امر موجب دو حرکت اساسی آسمان می‌شود: حرکت روزانه و سالانه.

حرکت روزانه از یک سو بسیار مهم و از سویی دیگر بسیار سریع است، به گونه‌ای که به ما اجازه درک حرکت سالانه که بسیار کند است را نمی‌دهد. زمین هر ۲۴ ساعت ۳۶۰ درجه می‌چرخد، یعنی هر ساعت ۱۵ درجه جا به جا می‌شود. با وجود اینکه چندان به این حرکت توجه نمی‌کنیم اما بسیار حائز اهمیت است. حرکت انتقالی موجب می‌شود تا زمین ۳۶۰ درجه را طی ۳۶۵ روز طی کند، یعنی هر روز تقریبا یک درجه (کمی کمتر از یک درجه برای هر روز). اگر از حرکت چرخشی صرف نظر کنیم ستارگان در زمان یکسان در موقعیتی مشابه موقعیت شب قبل خود در آسمان قرار خواهند گرفت و تنها یک درجه جا به جا می‌شوند. تنها زمانی می‌توان متوجه این تغییر شد که یک شاخص مثل آنتن یا تیر برق انتخاب کرده و جا به جایی ستارگان را نسبت به آن بسنجید. درک این حرکت بدون در نظرگرفتن شاخص قابل درک با چشم غیرمسلح نخواهد بود. اگر آسمان یک شب از سال را با آسمان سه یا شش ماه بعد از آن مقایسه کنیم به خوبی متوجه تغییر خواهیم شد. پس از سه ماه آسمان ۹۰ درجه یا به عبارتی ۱/۴ و پس از شش ماه ۱/۲ جا به جا شده و نیمه‌ی مخالف آن آشکار می‌شود. این حرکت به علت جا به جایی ناشی از حرکت چرخشی زمین پنهان می‌ماند اما بعد از سه ماه دیدن صورت‌های فلکی متفاوت با چشم غیرمسلح ما را متوجه آن می‌کند.

فعالیت ۱: گنبد آسمان چتری

به کمک یک چتر ساده می‌توان حرکت‌های گفته شده در قسمت قبل را شبیه سازی کرد. بر روی چتر می‌توان مانند گنبد آسمان که در بالای سر ما قرار دارد صورت های فلکی دلخواه را نقاشی کرد. برای این کار به چتر سیاه و رنگ سفید نیاز است.

در این مدل تنها تعدادی صورت فلکی اصلی به همراه ستاره‌های مهم ترسیم می‌شوند. ما به دنبال زیباترین کار نیستیم. ما به دنبال ساختن مدلی کاربردی با توجه به هدفمان هستیم.



تصویر ۷: نمایش صورت‌های فلکی دلخواه آسمان نیم‌کره شمالی به کمک نرم‌افزار و ویدئوپروژکتور

هر چتر برای شبیه‌سازی آسمان یک نیم‌کره در نظر گرفته می‌شود. محل برخورد میله‌ی اصلی و پارچه به عنوان قطب سماوی و لبه ی چتر به عنوان افق سماوی در نظر گرفته می‌شوند .

بهتر است برای هر نیم‌کره یک چتر فراهم شود.

برای نیم‌کره‌ی شمالی موارد زیر را رسم می‌کنیم:

ستاره‌ی قطبی در محل برخورد میله و پارچه‌ی چتر قرار دارد.

صورت‌های فلکی خرس بزرگ و ذات‌الکرسی در مجاورت آن قرار می‌گیرند.

کمی پایین‌تر و در محدوده لبه‌ی چتر چهار صورت فلکی شاخص به نشانه‌ی چهار فصل رسم می‌شود:

بهار: شیر

تابستان: قو

پاییز: برساووش

زمستان: شکارچی

می‌توانید صورت‌های فلکی دلخواه خود را انتخاب کنید اما در نظر داشته باشید که صورت‌های فلکی را در فاصله‌ی ۹۰ درجه‌ای یکدیگر رسم کنید.

در نیم‌کره‌ی جنوبی:

- اطراف قطب جنوب (در نزدیکی محل برخورد میله و پارچه چتر) صلیب جنوبی و قطب جنوب سماوی دقیقا جایی است که میله ی چتر از پارچه عبور کرده‌است.

بهار: دلو

تابستان: شکارچی

پاییز: شیر

زمستان: عقرب

صورت‌های فلکی بزرگ که معمولا بالای افق هستند به عنوان شاخص هر فصل انتخاب شده‌اند. البته با توجه به مکان رصدگر، می‌توان صورت فلکی دلخواه را ترسیم کرد.

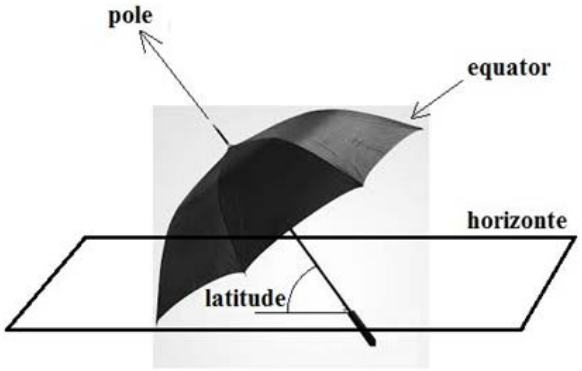
اگر در نزدیکی عرض‌های ۲۰ درجه شمالی یا جنوبی ساکن هستید باید دو چتر بسازید. اما اگر ساکن عرض‌های ۳۰ تا ۹۰ درجه شمالی یا جنوبی هستید تنها به یک چتر نیاز دارید.

برای ترسیم راحت‌تر صورت‌های فلکی بر روی چتر می‌توان از نرم‌افزار استلاریوم یا سایر نرم‌افزارهای مشابه استفاده کرد. برای این منظور از ویدئو پروژکتور استفاده کرده، قطب را دقیقا در محل برخورد میله و پارچه‌ی چتر قرار می‌دهیم و سپس شروع به نقاشی با رنگ سفید می‌کنیم. پس از اتمام کار، چتر نقاشی شده را بالای سر دانش‌آموزان قرار می‌دهیم.

تصویر ۸: استفاده از چتر نیم‌کره شمالی برای دانش‌آموزان

میله‌ی چتر را در راستای محور قطبی نیم‌کره قرار می‌دهیم (مشابه محور چرخش زمین)

تصور کنید که کف اتاق تا گردن ما افق را بسازد، بنابراین بخشی از چتر زیر افق خواهد بود. دو بخش قابل توجه در افق ظاهری خواهیم داشت. بخش اطراف قطب که تقریبا در تمام طول سال کم و بیش بدون تغییر است (ناحیه پیرامون محل تقاطع میله و پارچه چتر). ناحیه استوایی بالاتر از افق و بسیار هیجان‌انگیز است؛ زیرا صورت‌های فلکی این بخش در طول سال تغییر می‌کنند.



تصویر۹: میله اصلی در جهت قطب و براساس عرض جغرافیایی قرار می‌گیرد. صفحه‌ای خیالی نیز برای افق در نظر می‌گیریم

از این مدل برای توصیف حرکت انتقالی استفاده می‌شود. تصور کنید که حرکت چرخشی وجود ندارد و تقریبا موقعیت همه اجرام سماوی هر روز در یک ساعت مشخص یکسان است. همچنین در نظر داشته باشید که این یک مدل ساده برای به تصویر کشیدن جا به جایی ۹۰ درجه‌ای آسمان در طول هر سه ماه است. با توجه به اینکه حرکت آسمان پیوسته و روزانه است این که که گفته می‌شود یک صورت فلکی در فصل خاصی قابل رصد است بدین معناست که این صورت فلکی در ماه‌های همان فصل در مرکز افق قرار دارد.

نحوه استفاده از این چتر

ما از چتر برای فهمیدن حرکت انتقالی استفاده می‌کنیم.

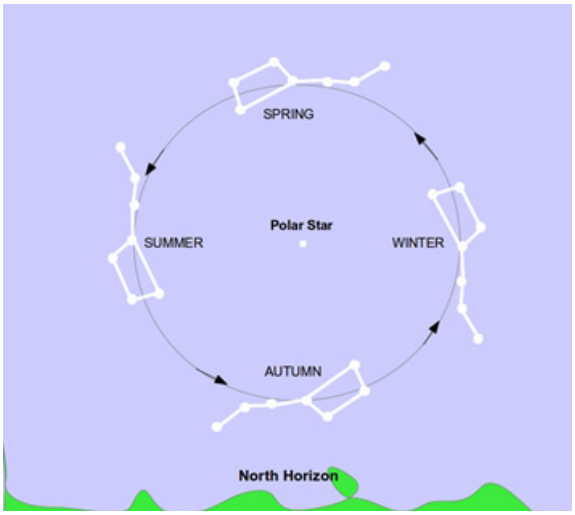
نیم‌کره‌ی شمالی

برای درک بهتر فرض کنید که ساکن عرض جغرافیایی ۴۰ درجه شمالی هستیم؛ چتر را با توجه به این عرض در بالای سر خود قرار می‌دهیم.

در نیم‌کره‌ی شمالی ستاره‌ی قطبی در قطب شمال قرار دارد. شناسایی صورت‌های فلکی خرس بزرگ و ذات‌الکرسی بسیار آسان است. اگر از صورت فلکی خرس بزرگ به اندازه‌ی چهار برابر فاصله‌ی دو ستاره‌ی انتهایی دُم آن ادامه دهیم به محل ستاره‌ی قطبی می‌رسیم. همچنین اگر از محل برخورد دو الگوی ستاره‌ای V شکل صورت فلکی ذات‌الکرسی خطی فرضی رسم کنیم و ادامه به بدهیم به ستاره قطبی خواهیم رسید.

افق شمالی

به محدوده‌ی ستاره‌ی قطبی نگاه کنید. یک چرخش کوچک نشان دهنده چرخش صورت‌های فلکی خرس بزرگ و ذات‌الکرسی پیرامون قطب شمال در طول یک سال است.



تصویر۱۰: موقعیت نسبی صورت فلکی خرس بزرگ در اطراف قطب شمال در طول سال (در زمان یکسان)

حالا شروع می‌کنیم؛ خرس بزرگ را در بالا و ذات‌الکرسی را در پایین قرار می‌دهیم (موقعیت آن‌ها در فصل بهار). چتر را ۹۰ درجه می‌چرخانیم تا خرس بزرگ در سمت چپ و ذات‌الکرسی در سمت راست قرار بگیرد (موقعیت آن‌ها در فصل تابستان). دوباره چتر را ۹۰ درجه می‌چرخانیم. در این حالت ذات‌الکرسی در بالا و خرس بزرگ در پایین قرار می‌گیرد (موقعیت آن‌ها در فصل پاییز) و در پایان با یک چرخش ۹۰ درجه دیگر خرس بزرگ در راست و ذات‌الکرسی در چپ قرار خواهدگرفت (موقعیت آن‌ها درفصل زمستان). اگر دوباره چتر را ۹۰ درجه بچرخانیم به حالت اولیه باز می‌گردد و چهار فصل برای سال جدید آغاز می‌شود. همان طور که توضیح داده شد این قسمت از آسمان مربوط به نیم‌کره‌ی شمالی بوده و صورت‌های فلکی در طول یک سال همیشه مشابه هستند و قطعا نسبت به آنچه بر روی چترترسیم شده تنوع بیشتری دارند.

افق جنوبی

حالا منطقه استوا را در نظر می‌گیریم. صورت‌های فلکی ناحیه افق جنوبی با تغییر فصل تغییر می‌کنند. صورت فلکی اصلی در بهار صورت فلکی شیر است. پس چتر را در حالتی قرار می‌دهیم که شیر در بالاترین ارتفاع نسبت به افق باشد. سپس چتر را ۱/۴ یا همان ۹۰ درجه حول قطب جنوب می‌چرخانیم. صورت‌های فلکی اصلی تابستان صورت‌های فلکی قو، شلیاق و عقاب هستند که مثلث تابستانی را می‌سازند. با چرخاندن ۹۰ درجه‌ای چتر شاهد آسمان پاییز با صورت فلکی بزرگ اسب بالدار و الگوی مربعی آن پدیدار می‌شود. در نهایت با چرخاندن ۹۰ درجه پایانی شکارچی با

سگ‌هایش در افق ظاهر خواهند شد.

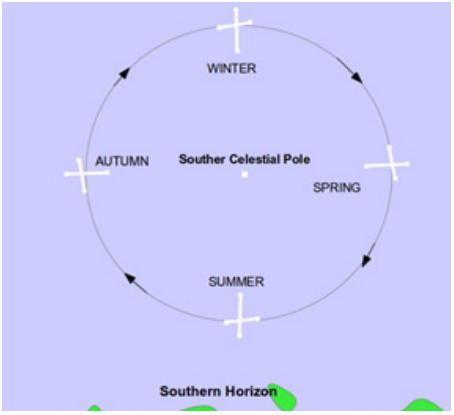
نیم‌کره‌ی جنوبی

در نظر بگیرید که برای عرض جغرافیایی فرضی ۴۰ درجه چتر نیم‌کره‌ی جنوبی را در راستای قطب جنوب (با زاویه ۴۰ درجه نسبت به کف) در دستانمان می‌گیریم.

در نیم‌کره‌ی جنوبی ستاره‌ای برای مشخص کردن مکان قطب جنوب وجود ندارد. از صورت فلکی صلیب جنوبی برای پیدا کردن موقعیت قطب جنوب سماوی استفاده می‌شود؛ محور اصلی صلیب را به اندازه‌ی ۴.۵ برابر به سمت پای آن امتداد می‌دهیم تا به قطب جنوب سماوی برسیم. این صورت فلکی هر ۲۴ ساعت یک دور پیرامون قطب جنوب می‌چرخد. همان طور که در شکل ۱۰ مشخص شده‌است، موقعیت این صورت فلکی در طول یک سال در یک ساعت یکسان متفاوت است. فرض می‌کنیم که در زمان یکسان حرکت چرخشی زمین وجود ندارد و این جا به جایی تنها ناشی از حرکت انتقالی زمین است.

افق جنوبی

به نقطه برخورد میله اصلی چتر و پارچه که قطب جنوب را نشان می‌دهد نگاه کنید. چتر را به آرامی حرکت دهید. توجه کنید که صورت فلکی صلیب جنوبی شروع به چرخش در اطراف قطب جنوب می‌کند. صلیب جنوبی را بالا (موقعیت آن در فصل زمستان) قرار بدهید و چتر را ۹۰ درجه بچرخانید تا صلیب جنوبی در سمت راست قرار بگیرد (موقعیت آن در فصل بهار). دوباره چتر را ۹۰ درجه حرکت بدهید تا صلیب جنوبی در پایین قرار بگیرد (موقعیت آن در فصل تابستان) و حالا اگر چتر را ۹۰ درجه دیگر بچرخانید صلیب جنوبی در سمت چپ قرار می‌گیرد (موقعیت آن در فصل پاییز). کافی است چتر ۹۰ درجه‌ی دیگر حرکت کند تا به موقعیت اولیه خود بازگردد و چهار فصل یک سال دوباره آغاز شود.



تصویر۱۱: موقعیت نسبی صورت فلکی صلیب جنوبی در اطراف قطب جنوب در طول سال (در زمان یکسان)

همان طور که توضیح داده شد این قسمت از آسمان مربوط به نیم‌کره‌ی شمالی بوده و افق شمالی نامیده می‌شود (ناحیه‌ای از افق که مربوط به جهت شمال است) و صورت‌های فلکی در طول یک سال همیشه مشابه هستند و قطعا نسبت به صورت‌های فلکی ترسیم‌شده روی چتر تنوع بیشتری دارند.

افق شمالی

به قسمتی از چتر که استوا یا افق شمالی را نشان می‌دهد بنگرید. تنوع صورت‌های فلکی این ناحیه بسیار زیاد است. برخی از صورت‌های فلکی که در فصل تابستان قابل رویت هستند در فصل سال قابل رویت نیستند. زئوس، خدای خدایان رومی، پس از مرگ شکارچی توسط نیش عقرب، وی را در یک سوی آسمان و عقرب را در گوشه‌ی مخالف آن قرار داد تا دوباره به او آسیب نزند.

صورت فلکی شاخص در بهار صورت فلکی آبریز یا دلو است. اگر ۹۰ درجه چتر را بچرخانیم، بعد از سه ماه صورت فلکی شکارچی به همراه سگ‌های شکاری، صورت‌های فلکی شاخص تابستان خواهند بود. با یک چرخش دیگر به اندازه ۹۰ درجه به سمت پاییز و صورت فلکی شیر حرکت می‌کنیم و با چرخاندن ۹۰ درجه‌ای پایانی صورت فلکی زیبای عقرب در آسمان زمستان خواهد درخشید.

نتیجه کلی از هر دو نیم‌کره

به کمک مدل‌های ساده‌ای که برای هردو نیم‌کره طراحی شد می‌توان دلیل تغییرات آسمان در اثر حرکت انتقالی را درک کرد.

اگر بخواهیم حرکت چرخشی را در این فعالیت بگنجانیم باید در نظر بگیریم که حرکت روزانه ناشی از چرخش زمین به دور خودش است. طی یک روز صورت‌های فلکی خرس بزرگ و صلیب جنوبی یک دور کامل به دور قطب‌هایشان می‌چرخند.

برای ساده شدن این فعالیت از حرکت چرخشی چشم‌پوشی شد و زمان رصدها یکسان در نظر گرفته شده‌است.

آسمان تاریک و آلودگی نوری

برای تماشای ستارگان به آسمان تاریک نیاز داریم و برای دست‌یابی به این آسمان باید از شهرها دور شد. انسان‌ها مدت‌هاست که آسمان پرستاره شب را فراموش کرده‌اند زیرا نمی‌توانند آن را ببینند. از زمانی که میزان زیادی از نورهای غیرضروری و عمومی شهرها به شکل اتلاف انرژی به سوی آسمان رفت، آسمان شب پرنور شد. آلودگی نوری یکی از انواع آلودگی‌های کمتر شناخته شده‌ی محیط زیست است. این آلودگی بر تاریکی شب، تعادل اکوسیستم و سلامت انسان

تاثیر می‌گذارد زیرا ساعت طبیعی را که براساس زمان تاریکی و روشنایی تنظیم شده‌اند را دچار اختلال می‌کند. برای این که در مورد این موضوع هوشیار باشید باید مشکل را شناسایی کنید، در مورد نتایج آن به دیگران هشدار بدهید و راه حل‌ها را بیابید.

سه نوع آلودگی نوری وجود دارد:

الف) آسمان تاب پدیده‌ای است که به صورت عمومی به علت نور شهرها به وجود آمده و ازخارج از شهر قابل تشخیص است. هنگامی که شما در شب سفر می‌کنید در نزدیکی شهر مقصد هاله‌ای نوری پیرامون شهر دیده می‌شود؛ این پدیده آسمان تاب است. آسمان تاب موجب روشن شدن آسمان و هدر رفتن مقدار زیادی نور و انرژی می‌شود. این مشکل را می‌توان با انتخاب لامپ‌های مناسب تا حدودی برطرف کرد.

نورهای نفوذی: نورهای خارجی که در همه‌ی جهت‌ها پراکنده شده‌اند و حتی ممکن است به خانه‌ی ما وارد شوند. اگر نور به اتاق‌ها وارد شود ما مجبوریم که پنجره‌ها را به کمک پرده یا چیزی دیگر در شب بپوشانیم.

تابش خیره کننده: این نوع آلودگی نوری شمال نور لامپ ماشین یا نورپردازی‌های بیرونی شهرها و خانه‌ها می‌شود. روشن شدن ناگهانی یک لامپ مانند ناهموار بودن زمین موجب آزار افراد می‌شود.

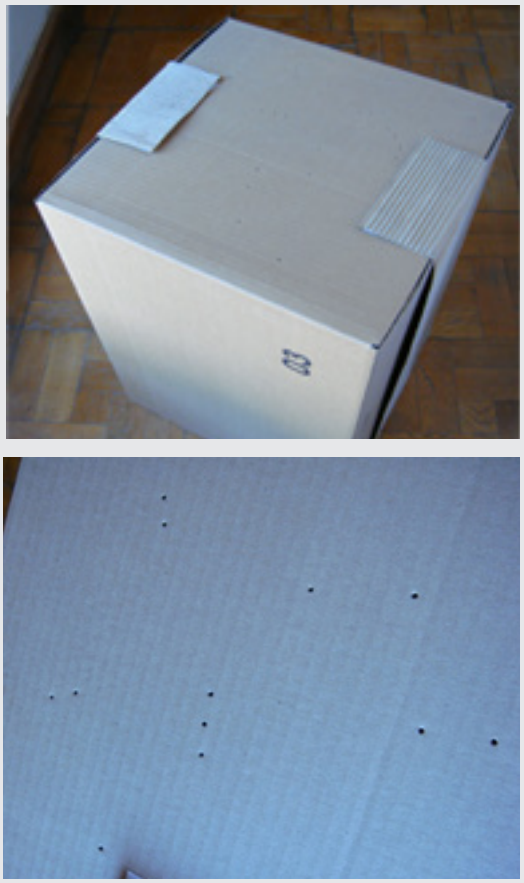
این اواخر لامپ‌های LED چراغ‌های راهنمایی پادشاه این نوع از آلودگی نوری هستند.

برنامه‌های متنوعی بر روی اینترنت برای انجام فعالیت‌های عملی در این زمینه وجود دارد. ما در اینجا تنها یک فعالیت ساده که به راحتی قابل اجرا است را پیشنهاد می‌کنیم.

فعالیت ۲: آلودگی نوری

هدف این آزمایش نشان دادن تاثیر نورهای پوشیده نشده، درک تاثیر مثبت دیدگاه نجومی در این زمینه، انتخاب عایق مناسب برای کنترل آلودگی نوری و مشخص کردن امکان بهبود وضعیت رصد ستارگان در مکان‌هایی است ما نورهای فراوان آسمان آن‌ها را روشن کرده‌ایم، می‌باشد.

برای انجام این آزمایش یک جعبه‌ی کارتنی با ابعاد مناسبی که دانش‌آموز بتواند در آن نگاه کند احتیاج است. صورت فلکی انتخاب شده (در اینجا شکارچی انتخاب شده است) را رسم کنید. برای اینجام این کار ابتدا مکان ستاره‌ها را مشخص کنید و سپس با توجه به میزان قدر هر کدام، حفره‌ی متناسبی ایجاد نمایید (مطابق شکل‌های ۱۲الف و ب). تصویر صورت فلکی در قسمت بیرونی می‌بایست آینه‌ی تصویر اصلی صورت فلکی باشد تا زمانی که دانش‌آموز از درون جعبه به آن نگاه می‌کند تصویری مطابق با آسمان ببیند.



تصویر۱۲ الف و ب: جعبه کارتنی، طراحی صورت فلکی شکارچی در یک سمت آن

فضای داخلی جعبه باید مشکی باشد. اگر کسی به داخل آن نگاه کند صورت فلکی را باید مانند «تصویرهای ۱۲الف و ب» ببیند. ستارگان یا همان نقاطی که نشان‌دهنده آن‌ها هستند براثرورود نور بیرونی به درون جعبه دیده می‌شوند.

تصویر۱۳: نمای شکارچی از داخل جعبه. هر حفره نشان دهنده یک ستاره است

دو توپ تنیس برداشته و یک سوراخ به اندازه‌ی چراغ قوه در آن‌ها ایجاد کنید. نیمی از یکی از توپ‌ها را به عنوان سپر حفاظتی که مانع از پخش نور شود، رنگ کنید (تصاویر ۱۴الف و ب).

تصویر۱۴ الف: توپ تنیس ساده/ تصویر

۱۴ ب: توپ تنیسی که نیمی از آن رنگ شده است

برای انجام این آزمایش نیاز است که قسمت سر چراغ قوه را باز کنید و سپس مانند «تصویرهای ۱۵الف و ب» آن را در محل مورد نظر در توپ قرار دهید.

تصویر۱۵ الف: سر چراغ قوه را باز کنید/ تصویر۱۵ ب: توپ تنیس بر روی چراغ قوه قرار می‌گیرد تا شبیه لامپ‌های توی خیابان شود

تصویر۱۶ الف: لامپ بدون سپر محافظتی

تصویر۱۶ ب: لامپ با سپر محافظتی

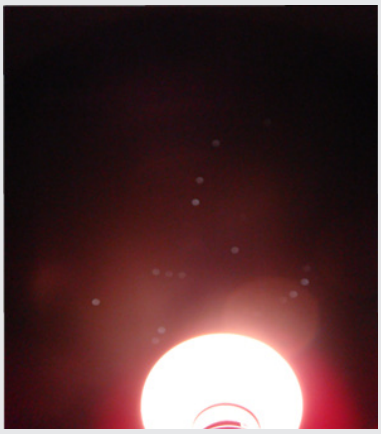
این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله ی اول فقط باکارتن است. چراغ‌ها را در طول آزمایش خاموش کنید. به منظور جلوگیری از تغییرات شدت نور هر دو مدل را با چراغ قوه‌ی یکسان بررسی کنید. نور را در هر دو حالت پوشیده شده و پوشیده نشده را بر روی یک سطح مثل دیوار یا تکه‌ای کارتن رسم کنید.

حالا ببینید که در داخل جعبه چه رخ می‌دهد. این حالت در "تصویرهای ۱۷ الف و ب" برای هر دو حالت نور پوشیده شده و پوشیده نشده نشان داده شده است. اگر امکان مشاهده انفرادی تمام شرکت کنندگان وجود ندارد می‌توانید با استفاده از یک دوربین دیجیتال از اتفاقات درون جعبه عکس بگیرید. در حین انجام آزمایش لامپ‌های اتاق باید روشن باشد.

شما به وضوح متوجه اتفاق رخ داده خواهید شد. در آزمایش نخست نور بیرونی به کمک سپر حفاظتی کنترل می‌شود؛ بدین شکل نر منتشر شده به سمت آسمان کاهش می‌یابد.

در آزمایش دوم وقتی از دو نوع چراغ قوه درون جعبه استفاده کنیم (نور پوشیده شده و پوشیده نشده) موقعیتی را شبیه‌سازی می‌کنیم که نور اضافی به سمت آسمان می‌رود و آسمان تاب ایجاد می‌شود و ستارگان به صورت محو دیده می‌شوند. در این حالت دوربین عکاسی که نوردهی آن خودکار باشد نمی‌تواند به درستی بر روی ستارگان فوکوس کند. در مقابل نور پوشیده

شده باعث تاریکی بیشتر آسمان می‌شود و دوربین نیز می‌توان به خوبی تصویر صورت فلکی شکارچی را ثبت کند.



تصویر ۱۷ الف: نمایی از آسمان با نورهای پوشیده نشده

تصویر ۱۷ ب: نمایی از آسمان با نورهای پوشیده شده

منابع:

• Berthier, D., Descubrir el cielo, Larousse, Barcelona, 2007.

• Bourte, P. y Lacroux, J., Observar el cielo a simple vista o con prismáticos, Larousse, Barcelona, 2010.

• García, B., Ladrones de Estrellas, Ed. Kaicron, ColecciónAstronomía, BsAs, 2010.

• Reynolds, M., Observación astronómica con prismáticos, Ed. Tutor, Madrid 2006.

• Roth, G.D. Guía de las estrellas y de los Planetas. Omega. Barcelona 1989.

پیوست: راهنمای استفاده از نرم‌افزار استلاریم، نسخه ۰.۱۰.۶.۱

	تنظیم نوار ابزار (جا به جایی نشانگر به گوشه پایینی سمت چپ)
	مکان؛ می‌توانید نام شهر یا مختصات جغرافیایی را وارد کنید و یا با مشخص کردن بر روی نقشه
	زمان و تاریخ که نشانگر موقعیت آسمان هستند
	تنظیم نمای آسمان؛ چهار گزینه وجود دارد که در زیر توضیح داده خواهد شد.
	تعداد ستارگان، سیارات و . . . یا نبود جو
	خطوط جهت‌گیری آسمان یا صورت‌های فلکی. نمای خطوط میان ستارگان پیشنهاد می‌شود.
	نمای منظره، زمین، مه
	نام و تصویر هر کدام از صورت‌های فلکی و ستارگان در هر فرهنگ. بهترین گزینه نمونه غربی آن است
	جست و جوی اجرام (برای مثال سیاره، M۱۳ NGC 4123 الطیر، زحل،
	تنظیمات زبان و اطلاعات اجرام نشان داده شده
	راهنما (کلیدهای
	سرعت گذر زمان در حالت عادی
	افزایش سرعت گذر زمان
	کاهش سرعت
	بازگشت به زمان کنونی

	خطوط صورت‌های فلکی
	نام صورت‌های فلکی
	شمایل صورت‌های فلکی
	شبکه استوایی
	شبکه سمت + افق
	زمین/افق
	نمایش جهت‌های جغرافیایی
	جو
	سحابی‌ها و نام آن‌ها
	نام سیارات

	سمت استوایی
	نمای نزدیک جرم انتخاب شده
	حالت شب
	نمای کامل صفحه/پنجره
	حالت چشمی (شبیه‌سازی جرم از درون چشمی تلسکوپ)
	ماهواره در حال حرکت
←,→,↑,↓	جا به جایی در تصویر
Repág	بزرگ‌نمایی
Avpág	خارج شدن از بزرگ‌نمایی
CTRL G	انتخاب یک سیاره به عنوان مبدا و تماشای یک سیاره دیگر به عنوان مقصد . برای بازگشت به زمین دوباره همین روند را طی کنید
May+T	
CTRLS	ضبط تصویر
	خروج

علم نجوم باستانی و پتانسیل آموزشی آن

خوان آنتونیو بل مونته آویس
موسسه اخترفیزیک جزایر قناری (اسپانیا)

مقدمه

علم نجوم باستانی، باستان شناسی نجومی، نجوم فرهنگی، قوم شناسی نجومی، تاریخچه‌ی نجوم و...

در سال‌های اخیر جهان علم با گسترش مخاطبان دانشگاهی شروع به شناسایی زیرشاخه‌هایی کرده‌است که بتوان به کمک آنها میان علم نجوم و علوم انسانی سنتی یا همان علوم اجتماعی (باستان شناسی، تاریخ، قوم شناسی، مردم شناسی، تاریخ هنر یا فلسفه و...) ارتباط برقرار کند.

از اواسط دهه ی ۱۹۸۰میلادی اصطلاح علم نجوم باستانی با ضمیمه‌ی علم نجوم باستانی که توسط مایکل هوسکین در مجله‌ی تاریخ نجوم منتشر می‌شد (و متاسفانه دیگر منتشر نشد) رواج یافت.(علی‌رغم این که اصطلاح معتبر علم نجوم باستانی به ارتباط میان نجوم و باستان شناسی اشاره دارد گاهی تلاش شده از این اصطلاح برای ارتباط سایت‌های باستان شناسی و بازدید موجودات فرازمینی از آن‌ها استفاده شود. متاسفانه اشتباه در نظر گرفتن اصطلاحات علمی به جای شبه علم یک سنت دیرینه است؛ به همین دلیل است که ستاره شناسان ترجیح می‌دهند برای معرفی خود به جای استفاده از اصطلاح ستاره شناس، خود را نام‌گذاران ستارگان بنامند. درست همانطور که زیست شناسان، بوم شناسان، مردم شناسان و سایر پژوهشگران برای معرفی خود از اصطلاح درمانگران آن علم استفاده می‌کنند.

علم نجوم باستانی چیست؟

در کتاب "تاریخچه ی نجوم: دانشنامه"، نوشته منجم باستان شناس و مدیر رصد خانه‌ی گریفیت در لس‌آنجلس، ادوین کروپ، تعریف زیر از این اصطلاح ارائه شده‌است:

علم نجوم باستانی مطالعه‌ی بین رشته‌ای از نجوم ماقبل تاریخ، باستانی و سنتی در قالب زمینه ی فرهنگی آن در سراسر جهان است. در این پژوهش هر دو منبع مکتوب و باستان شناسی ذکر شده که شامل عناوین زیر است:

تقویم‌ها، رصد کاربردی، فرقه‌ها و اسطوره‌های آسمانی، نمایش نمادین وقایع، مفاهیم واجرام نجومی، جهت‌گیری نجومی گورها، معابد، اماکن مقدس و مراکز شهری، کیهان شناسی سنتی و اعمال تشریفاتی سنت های نجومی.

مسلماً این تعریف به اندازه‌ای گسترده است که موضوعات متنوعی را پوشش دهد. با این حال مفهوم علم نجوم باستانی که بدین گونه بیان شده‌است از دو حوزه بسیار مهم که نجوم به طور کامل با علوم اجتماعی، تاریخ نجوم و نجوم باستانی ارتباط دارد، چشم پوشی می‌کند. اولین حوزه مطالعاتی که یک سنت کهن است به خوبی تاریخچه پیشرفت نجوم به عنوان یک رشته علمی و تکامل اندیشه و نجوم کاربردی را از زمان یونان قدیم شرح می‌دهد. قوم شناسی نجومی با دنبال کردن نشانه‌های نجوم در سنت‌های شفاهی فرهنگ‌هایی که در حال حاضر وجود دارند و براساس نظرات برخی محققان و منابع مکتوب فرهنگ‌هایی که از بین رفته‌اند (تاریخچه فتوحات و پژوهشات انسان شناسی باستان) طیف وسیعی از موضوعاتی که با نجوم باستانی در ارتباط هستند را به خوبی پوشش می‌دهد. در واقع تعاریف مرزهای بین این سه رشته بسیار نادرست است و مطالعاتی که مربوط به این دسته بندی‌ها می‌باشد اغلب شبیه قوانین هستند تا استثنا.

به همین دلیل اصطلاح نجوم فرهنگی برای پژوهشات نجومی که با علوم اجتماعی در ارتباط اند بسیار مناسب است.

و از این رو متخصصان در این زمینه خود را «انجمن نجوم فرهنگی اروپا (SEAC) می‌نامند».

علم نجوم باستانی در کجا قرار دارد؟

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های میان علم نجوم باستانی وعلوم فیزیکی سخت جایگزینی زبان "نجومی" با زبانی سازگارتر از منظرعلوم اجتماعی است. باید به خاطر داشت که علم نجوم باستانی شاخه‌ای از اخترفیزیک مدرن نیست و هدف اساسی آن نیز پیشرفت دانش فیزیکی جهان نیست؛ بلکه علم نجوم باستانی یک تخصص نزدیک و مرتبط با مطالعات انسان شناسی است که در رشته‌هایی مانند باستان شناسی دورنما (شامل همه ی معانی اصطلاح دورنما میشود)، تاریخچه ی ادیان و یا باستان شناسی نیرو به کار گرفته می‌شود. بنابراین ممکن است برای یک منجم که در درجه اول در علوم کمی آموزش دیده است پاسخ دادن به پرسش‌هایی که باستان شناسان به آن‌ها علاقه مندند یا خود منجمان مطرح می‌کنند دشوار باشد. با این حال برای افراد علاقه مند به نجوم مهم است که با ریشه‌های خود آشنا شوند و درک کنند که چگونه افراد در فرهنگ‌های مختلف با استفاده از رصدهای خود از آسمان چشم اندازشان نسبت به جهان پیرامون به یک جهان‌بینی منسجم و معنادار تبدیل شده‌است.

برای انجام پژوهش‌های اساسی در زمینه علم نجوم باستانی همکاری نزدیک بین باستان شناسان و ستاره شناسان ضروری است. این همزیستی میان رشته‌ای نتیجه طبیعی نیاز باستان

شناسان، قوم شناسان و مورخان نجوم به تسلط برفنون نجومی مانند نجوم موضعی یا مکانیک سماوی و ابزارهای ریاضی مانند مثلثات کروی است که فراتراز آموزش عادی آن‌ها است.

با این حال به عقیده من پس از دو دهه تجربه در این زمینه، ستاره شناسان و انسان شناسان باید خود را به دانشمندی متفاوت تبدیل کنند. یک دانشمند منجم باستان شناس که بسیاری از عادات سال‌های طولانی آموزش تربیتی را فراموش کرده و الگوهای فکری جدیدی را ایجاد کند. اگرچه ممکن است یک رویکرد چند رشته‌ای خاص لازم باشد اما لزوما نمی‌توان هر آنچه را که درعلم نجوم باستانی مطالعه می‌شود را میان رشته ای تلقی کرد. به طور خلاصه این ذاتا یک زمینه قانونی است.

علم نجوم باستانی یک اشکال اساسی دیگر نیز دارد: نجوم باستانی برای منجمان و اخترفیزیکدانان مانند سرزمینی ممنوعه است که در آن احساس می‌کنند از موقعیت پیشین خود فاصله گرفته‌اند (خوشبختانه این وضعیت در حال تغییر است) و باستان شناسان و مورخان اغلب چیزی در آن نمی‌یابند که به درک آن‌ها از گذشته کمک کند. این مسئله در تقابل با سایر تقاطع‌های علوم انسانی با علوم تجربی است. به عنوان مثال استفاده از C^{14} در قدمت‌گذاری که به طور گسترده‌ای توسط دانشمندان، مورخان و باستان شناسان پذیرفته شده‌است. این مسئله زمانی پیچیده می‌شود که دانشمندانی که علاقمند به استفاده از دانش خود در زمینه موضوعات تاریخی هستند و کسانی که از ابزارهای فیزیکی و ریاضی برای تئوری‌های غیرمعقول استفاده یا سواستفاده می‌کنند باعث ترس و وحشت هر دو گروه باستان شناسان و قوم شناسان می‌شوند. گاه در این میان تلاش دانشمندان مسیئولیت‌پذیری که سعی می‌کنند به درجه‌ای از شناخت رویکردهای نجومی در باستان شناسی برسند توسط افرادی که به گفته دانشمندان بریتانیایی افراد افراط گرا هستند، بی‌نتیجه می‌ماند.

مرز بین آنچه علم است و آنچه نیست باید مبتنی بر استفاده از قوانین اساسی مانند تیغ اوکام، ساده ترین فرمول اصل اقتصاد، باشد (در مواجهه با دو پاسخ ممکن برای یک مسئله علمی ساده‌ترین پاسخ اغلب درست است). با این حال باید بدانیم که این قوانین به طور جهانی قابل اجرا نیستند.

نجوم باستانی و NASE

پتانسیل علم نجوم باستانی در آموزش نجوم این است که می‌تواند به قلب و وجدان کارآموزان جوان القا کند که فرهنگ خود را در نحوه درک اجدادشان از کیهان منعکس کنند. از این منظر اگرچه آسمان و جهان از لحاظ ظاهری دور هستند اما علم نجوم باستانی می‌تواند ارتباط مستقیمی میان آن‌ها و محیط اطراف‌شان ایجاد کند.

اگر اینطور باشد انجام پژوهشاتی در زمینه تأثیرات آموزش هر دو علم نجوم باستانی یا قوم شناسی نجومی یا حتی ترکیبی از هر دو جالب خواهد بود.

این رویکردها فرصتی برای دانش آموزان فراهم می‌کند تا به گفت و گو با بزرگ‌ترها برای یادگیری دانش سنتی آسمان بپردازند؛ به ویژه اگر در جوامعی که به کشاورزی یا شکار مشغول‌اند زندگی می‌کنند. در جوامع مدرن شهری دانش به صورت رسمی از طریق مدارس و رسانه‌ها منتقل می‌شود. برای دانشجویان علاقه‌مند به این روش یک طرح کلی مصاحبه که می‌تواند به عنوان یک راهنما باشد پیوست شده است (به پیوست ۱ مراجعه کنید).

از سوی دیگر تقریباً واضح است که در محیط اطراف یک کارآموز جوان نجوم (ساکن هرکجا که باشد) مجموعه‌ای از ساختمان‌هایی که دارای یک ویژگی نمادین مشخص با نشانه‌هایی مذهبی یا غیرمذهبی هستند، وجود دارد. این ساختمان‌ها یا طراحی‌های وسیع شهری اهداف بالقوه آزمایش های باستان شناسی نجومی هستند.

چند مثال بیان می‌کنیم:

کلیساها در یک جامعه مسیحی.

- مساجد در یک جامعه اسلامی.
- معابد در یک جامعه هندو، بودایی یا شینتو (بت‌کده‌ها یا گوپورام‌ها)
- برنامه های شهری، به ویژه آن‌هایی که دارای یک چارچوب متعامد منظم (بسیار معمول در سراسر جهان) هستند.
- پناهگاه های جوامع بومی (پلی‌نزی یا آمریکا)
- عبادتگاه های دیگر در جوامع قبیله‌ای.
- آثار باستانی (اگر وجود داشته باشد)

شمایل‌نگاری نجومی موجود در این مکان‌ها نیز می‌تواند مورد بررسی قرار بگیرد. به عنوان مثال تجزیه و تحلیل ایستگاه‌های سنگ‌تراشی که اغلب نمایش‌های نجومی مفصلی را نشان می‌دهد. بنابراین نجوم فرهنگی می‌تواند به رویکردی مؤثر و ارزشمند تبدیل شود که نجوم را برای عموم مردم به ویژه جوانان به ارمغان می‌آورد.

پیوست ۱ (برگرفته از "کتاب بهشت جادوها")
شیوه مصاحبه میدانی در قوم شناسی نجومی

مجموعه پرسش‌های ارائه شده عمومی و در بیشتر موارد قابل استفاده است. با این حال تجربه نشان می‌دهد در این نوع تحقیقات به محض شروع یک مکالمه سوالاتی مشخص مرتبط با موضوع به وجود خواهد آمد. بدین ترتیب اگر چه این طرح کلی می‌تواند یک راهنما باشد اما انتظار می‌رود که بیشترمصاحبه‌ها چارچوب بازتری داشته باشند.

۱- ابتدا مصاحبه را با پرسش‌های کلی مانند سوالات زیر شروع کنید و از مصاحبه شونده بخواهید آنچه که می‌داند و دلیلش را شرح دهد.

- آیا اخیرا به رصد آسمان پرداخته‌اید تا چیزی در آن بیابید؟
- آیا از از آن به عنوان راهنمای چیزی، علامت یا نماد استفاده کرده‌اید؟

۲- سپس به طور دقیق در مورد هر جرمی که می‌تواند برای اهداف پیش بینی استفاده شود بپرسید:

الف) پرسش‌های مربوط به ستارگان:

- آیا در شب از ستارگان به عنوان راهنما استفاده کرده‌اید؟
- چه ستاره‌هایی را در آسمان می‌شناسید؟
- آیا این ستاره یا آن ستاره را می‌شناسید؟ (*)
- برای مشخص شدن ستاره‌های مورد نظر مصاحبه‌شونده در رابطه با مکان و زمانی که به رصد می‌پردازید و ستارگانی که رصد می‌کنید سوال بپرسید.
- آیا نام سایر گروه‌های ستاره‌ای را به یاد دارید؟
- آیا این چیزی در مورد ستارگان را به خاطر شما می‌آورد؟
- آیا هیچ یک از ستارگان با باران ارتباط دارد؟
- رصدها معمولا شب انجام می‌شود یا صبح خیلی زود؟
- آیا برای تصمیم‌گیری راجع به زمان و مکان کارهای کشاورزی از رصد ستاره‌ها استفاده می‌کنید؟
- چگونه تصمیم می‌گیرید که برخی کارها را انجام دهید؟ زمانی که یک ستاره در زمان معین در آسمان باشد یا نباشد؟ زمانی که یک ستاره در موقعیت خاصی قرار داشته باشد؟ و غیره . . .
- چگونه زمان را در شب تشخیص می‌دهید؟
- آیا طلوع یک ستاره خاص اهمیتی دارد؟
- آیا گاوها اتفاقی رقم زده‌اند که باعث ارتباطشان با ستارگان شده‌است؟
- آیا گاوها از موقعیت و یا رفتار ستارگان بی‌قرار یا عصبی می‌شوند؟

(*) توجه: مقایسه با توجه به مصاحبه پیشین یا اطلاعاتی که از موضوع داریم با هر ستاره‌ای انجام می‌شود.

ب) پرسش‌های مربوط به ماه:

- تاکنون به ماه نگاه کرده‌اید؟
- آیا از ماه به عنوان راهنمای چیزی استفاده می‌کنید؟
- آیا به مکان غروب ماه دقت کرده‌اید؟
- آیا اخیرا به موقعیت، فرم یا فاز ماه توجه کرده‌اید؟
- آیا موقعیت ماه چیزی را نشان می‌دهد؟
- آیا در کارهای کشاورزی از ماه کمک گرفته‌اید؟
- آیا نکته خاصی درباره ماه فهمیده‌اید؟
- آیا فازی از ماه وجود دارد که نسبت به بقیه مهم‌تر باشد؟
- آیا ماه تاثیری بر باران دارد؟
- آیا ماه تاثیری بر حیوانات دارد؟

ج) پرسش‌های مربوط به خورشید:

- تاکنون به خورشید نگاه کرده‌اید؟
- از خورشید به عنوان راهنمای چیزی استفاده می‌کنید؟
- آیا به مکان غروب خورشید دقت کرده‌اید؟
- از خورشید برای تشخیص زمان استفاده می‌کنید؟ چگونه؟
- آیا در کارهای کشاورزی از خورشید کمک گرفته‌اید؟
- آیا در مورد "دیدن رقص خورشید" چیزی شنیده‌اید؟

د) پرسش‌های مربوط به پدیده‌های هواشناسی:

- چگونه متوجه می‌شوید که ممکن است باران ببارد؟
- آیا شانه‌ای می‌شناسید که مشخص کند ممکن است باران ببارد؟
- چه علائم شناخته شده دیگری مربوط به وزش باد، ابر یا پدیده‌های آسمانی را می‌شناسید؟
- آیا نشانه‌ای برای این یا آن کوه وجود دارد؟
- آیا راهی برای دانستن وضعیت هوا در دریا (برای ماهی گیری) می‌شناسید؟
- اگر قرار باشد باران ببارد،آیا می‌توانید با نگاه کردن به آسمان بگویید چه زمانی انفاق می‌افتد؟ (*)
- چه زمانی آن را مشاهده می‌کنید؟ (*)

توجه (*): هدف از طرح دو پرسش آخر این است که متوجه شویم آن فرد بدون این که نام Caba uelas را ذکر کنیم،

اطلاعی از آن دارد یا خیر. در غیر این صورت . . .

ه) پرسش‌های مربوط به Caba uelas و Aberruntos (روش‌های سنتی برای پیش‌بینی هوا)

- آیا در طول سال برای جستجوی علائم هواشناسی زمان خاصی وجود دارد؟
- آیا Caba uelas را می‌شناسید؟
- در مورد Caba uelas چه می‌دانید؟
- در چه تاریخی؟
- این روش شامل چه چیزهایی می‌شود؟
- آیا شما Aberruntos را می‌شناسید؟
- معنای آن چیست؟
- آیا این روش‌ها کارآمد هستند یا خیر؟
- آیا Caba uelas از سایر روش‌ها دقیق‌تر است؟
- آیا Caba uelas با خورشید و ماه در ارتباط است؟

و) پرسش‌های مربوط به تعطیلات و روزهای مقدس:

- در این‌جا چه جشن‌هایی دارید؟
- این جشن‌ها در چه زمانی برگزار می‌شوند؟
-کدام یک از این جشن‌ها به نسبت سایر جشن‌ها مهم‌ترند؟
- امام یا شخص مقدس شما کیست؟
- اعمال شخص مقدس شما در این روز چیست؟
- اعمال شما در این روز خاص چیست؟
- آیا در این روز کاری مرتبط با آسمان انجام می‌دهید؟

۳- پرسش‌های عمومی برای در تنگنا قرار دادن مصاحبه شونده در طول مصاحبه:

- آیا آهنگ، موسیقی یا سخنی در رابطه با چیزهای آسمانی به یاد دارید؟
- آیا کسی را می‌شناسید که بتواند وضعیت هوا را پیش بینی کند؟
- اسم او چیست؟
- آیا پیش بینی‌های او دقیق هستند؟
- چه علائم دیگری می‌شناسید؟
- آیا به همه نشانه‌ها اعتقاد دارید؟
- در این ایام نیز این نشانه‌ها را دنبال می‌کنید؟
- در این ایام مردم همچنان به دنبال این نشانه‌ها هستند؟
- گمان می‌کنید این نشانه‌ها قابل اعتمادند؟
- چه کسی این دانش را به شما آموخت؟
- او اهل کجا بود؟ کجا بزرگ شده بود؟ (پدر، پدر بزرگ و . . .) او اهل کجا بودند؟

پیوست دو (برگرفته شده از "جهت گیری به عنوان نشانه ای از هویت فرهنگی: کلیساهای تاریخی لانزاروته")

خلاصه

موقعیت کلیساهای مسیحی یک عنصر متمایز از معماری مسیحیت است که الگوهای زمان مسیحیت در آن‌ها تکرار شده‌است. طبق یک روند کلی جهت‌گیری محراب کلیسا در نور خورشید، به سمت شرق جغرافیایی (نزدیک به اعتدال نجومی) می‌باشد. با وجود اینکه جهت‌گیری محراب کلیسا در جهت مخالف (رو به غرب) خلاف قوانین شرعی است اما گاهی اوقات کلیساهایی با چنین ساختاری دیده می‌شوند.

ساختار کلیساهای شمال‌غرب آفریقا پیش از ظهور اسلام نمونه بسیار خوبی از احترام و بازتاب این سنت‌های کهن است. جزایر قناری به خوبی نمایشگر اتمام غربی فرهنگ کوین در شمال آفریقا است؛ می‌توان برای مطالعه وضعیت کلیساها در یکی از این جزایر، جزیره لانزاروته را انتخاب کرد. جهت‌گیری ۳۰ کلیسا که تا پیش از سال ۱۸۱۰ میلادی ساخته شده‌اند و برخی که پس از آن ساخته شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی این نمونه‌ها الگوهای موثری که در آن جزایر استفاده می‌شدند را نشان داد اما برخلاف تمام استانداردهایی که تاکنون در دنیای مسیحیان دیده شده تاثیر این نمونه اولیه دوچندان است. از سویی با وجود استانداردهایی در مورد جهت شرق (یا غرب) نمونه‌های بررسی شده در جزیره لانزاروته رو به شمال- شمال‌غرب قرار دارند. در بخش پیوست با در نظر گرفتن چندین احتمال که اغلب حذف شده‌اند به تشریح این قانون عجیب پرداخته شده‌است. ممکن است این توضیحات عادی به نظر برسند اما گاهی اوقات نیازهای زمین بیش از تصمیم‌گیرهای فرقه‌ها اهمیت دارد.

مقدمه: پیشگفتار

مطالعه چیدمان و جهت‌گیری کلیساهای مسیحی از زمان‌های بسیار قدیم مورد توجه بوده و اخیراً رونق تازه‌ای در متون تخصصی پیدا کرده است. این یکی از فاکتورهای مهم معماری آن‌ها می‌باشد. با مراجعه به متون نویسندگان و مدافعان ابتدایی مسیحی، کلیساها باید جهت‌گیری مشخصی

را دنبال می‌کردند. به عنوان مثال کشیش باید در حین مراسم مذهبی به سمت شرق می‌ایستاد. شورای نیقیه (۳۲۵) و بومیان (کلمنت اسکندریه و ترتولیان) این رسم را در الویت قرار دادند. در قرن چهارم میلادی آتناسیوس از اسکندریه نیز معتقد بود که کشیش و شرکت‌کنندگان باید به سوی شرق، مکانی که مسیح خورشید عدالت در آخرالزمان می‌درخشد، بایستند. (و وضعیت کلیساها چنین بود که مومنان محراب با صورت‌های برگردانده شده به سمت شرق‌اند، سمتی که خورشید نماد حقانیت مسیح و نور جهان طلوع خواهد کرد . . .). برای تجزیه و تحلیل عمیق منابع اولیه و روش های جهت‌یابی می‌توانید از "وُگل (۱۹۶۲)" استفاده کنید.

اما این دستورات کاملاً واضح نیستند و امکان انتخاب بین تعابیر مختلف وجود دارد:

آیا روزی که ساخت کلیسا را شروع می‌کنند جهت‌گیری به سمت طلوع خورشید است؟ یا جهت‌گیری رو به شرق را در یک روز مهم دیگر مانند روز قدیس حامی کلیسا در نظر می‌گرفتند؟ جهت‌گیری رو به شرق اهمیتی دارد؟ جهت‌گیری کلیساها هنگام اعتدال رو به طلوع خورشید بود؟ در این صورت به سمت کدام یک از اعتدالین؟

در ابتدا کلیساهایی که سالن‌های مستطیل شکل داشتند بدون محراب (قسمت جلویی کلیسا) و رو به شرق ساخته می‌شدند.

در این مورد تحقیقات دلگادو گومز(۲۰۰۶) نشان می‌دهد که از ۲۰ کلیسای ابتدایی که با سالن‌های مستطیل شکل در دوران کنستانتین و جانشینان او در رم، اورشلیم، قسطنطنیه و شمال آفریقا ساخته شده‌اند ۱۸ مورد از آن‌ها تقریبا برروی خط شرق-غرب قرار داشتند اما محراب ۱۱ مورد از آن‌ها رو به غرب بود. جالب است بدانید که با این حال جایگاه کشیش رو به شرق و محراب نیز میان او و شرکت‌کنندگان قرار داشته‌است.

بین قرن های ۳ و ۷ توصیه هایی اعمال شد و بنابر قانون اساسی کلیساها باید رو به شرق ساخته می‌شدند (نامه. ۲:۷).

در قرن ۵ سیدونیوس آپولینار و پائولینوس از نولا اظهار داشتند که محراب باید به سمت شرق باشد، یعنی رو به اعتدال. این مورد بعدها توسط پاپ ویرجیل و ایسیدور سویل در ریشه‌یابی لغت‌هایشان تایید شد (۴، XV) (مک کلاسکی ۱۹۹۸). این مورد طی قرون وسطی نیز مورد تایید هونوریوس اگوستدونسیس (قرن یازدهم تا دوازدهم) نیز قرار گرفت؛ (هنگامی که خورشید در شرق کلیسا طلوع میکند [...]). مورخانی مانند ویلیام دوراندو (قرن دوازدهم تا سیزدهم) این موضوع را تایید کردند:

به سمت شرق، به سمت طلوع خورشید در استوا که در برابر انقلاب تابستانی قرار دارد[...]. این جملات به وضوح مسیر را نشان می‌دهند؛ اعتدالین، منع استفاده از انقلابین. همانطور که پیش‌تر بیان کردیم جهت‌گیری به سمت شرق دارای یک نمادشناسی خاص است. سمت شرق همان جایی است که خورشید طلوع می‌کند و مسیح نیز به عنوان خورشید عدالت در آخرت ظهور خواهد کرد (مک کلاسکی ۲۰۱۰, ۲۰۰۴).

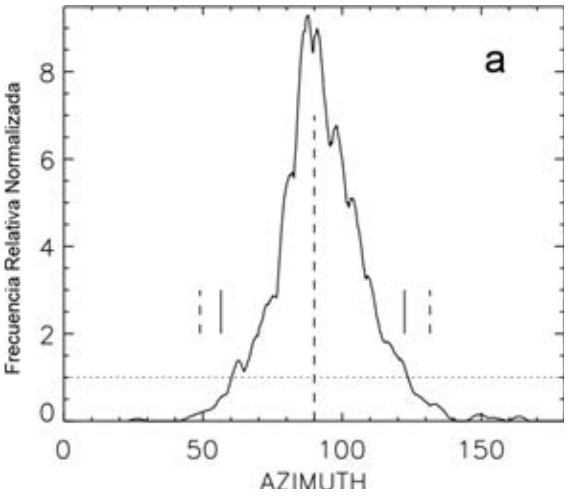
از سوی دیگر منع استفاده از زمان انقلابین می‌تواند به اهمیت این زمان‌ها در ادوار پیشین و معابد بی‌شمار بت پرستانی که در این مسیر قرار داشته‌اند، ارتباط داشته باشد (برای مثال بلمونته ۲۰۱۲ را بررسی کنید).

با وجود این نسخه‌ها همچنان ابهام پابرجاست. کدام اعتدال باید در نظر گرفته شود؟ براساس پژوهشات مک کلاسکی (۲۰۰۴) احتمالات مختلفی وجود دارد: اعتدال بهاری رومی ۲۵اُم ماه مارس اتفاق افتاد. در حالی که در یونان ۲۱اُم ماه مارس اتفاق افتاد، این تاریخ مورد پذیرش شهورای شهر نیسا نیز بود. شما می‌توانید از تعاریف دیگری برای بیان این رویداد استفاده کنید؛ مانند زمان ورود خورشید به برج حمل یا اعتدال پاییزی. هرکدام از این تعاریف مربوط به تاریخ‌های مختلفی می‌باشند و از این رو جهت‌گیری‌هایشان اندکی تفاوت دارند (سجاده ۱۹۹۹، گنزالس- گارسیا و بلومنت ۲۰۰۶).

نکته مهم دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد استفاده از تقویم ژولیانی در قرون وسطی و بخشی از تقویم مدرن است. ماهیت این امر به این واقعیت منجر می‌شود که اگر به تقویم اعتدال نگاه کنیم -یعنی در یک تاریخ مشخص- چنین تاریخی در گذر زمان جا به جا می‌شود و اگر براساس رصد طلوع خورشید در همان روز در نظر گرفته شود بر تغییرات سیستم جهت‌گیری نیز تاثیر می‌گذارد.

بررسی اهرام مصر، مگالیت‌های اروپا و جهت‌گیری کلیساهای اروپا در قرون وسطی یکی از قدیمی ترین پژوهشاتی است که در زمینه باستان شناسی انجام شده است. گنزالس-گارسیا (۲۰۱۳) اخیرا فعالیت‌هایی در این زمینه انجام داده و همانطور که در تصویر۱ مشخص شده‌است نسخه‌های جهت‌گیری رو به سمت شرق در طول قرون وسطی از یک الگوی منظم پیروی می‌کردند. همه مناطق مورد مطالعه گنزالس-گارسیا (۲۰۱۳) از این الگوی جهت‌گیری پیروی می‌کنند که جهت‌گیری حداکثریشان رو به شرق است؛ در اروپای غربی بر این الگو تاکید بیشتری بود تا جایی که بسیاری از موارد به سمت شمال نجومی بوده‌اند که نشانگر تاریخ‌های خاص اعتدال (۲۵

مارس) در گذر زمان می‌باشد؛ البته همانطور که پیش‌تر بیان شد مشخصات هر منطقه متفاوت است.



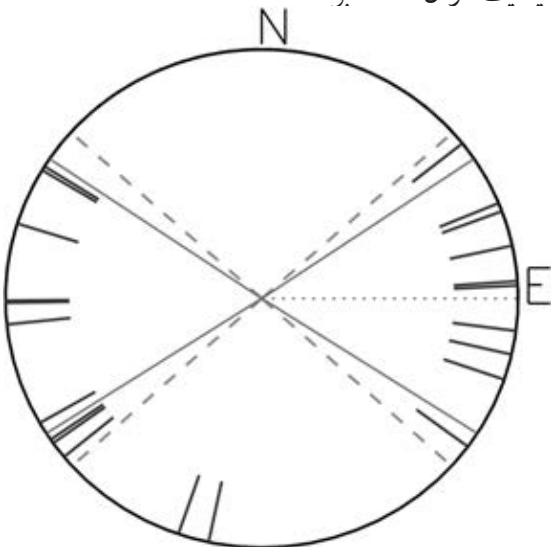
تصویر۱: نمودار سمت مربوط به ۱۲۷۴ کلیسای اروپایی در دوران قرون وسطی

جالب است به این نکته اشاره کنیم که در متون مرتبط با جهت‌گیری کلیساها ذکر شده که در یادداشت‌های روزانه حامی شهر آمده که جهت‌گیری آن‌ها رو به طلوع خورشید بوده‌است (کلیساهای لانزاروته به هیچ‌وجه این ویژگی را نداشتند).

با این حال در متون ابتدایی و حتی تا قرون وسطی، تاییدی کتبی برای چنین ادعایی وجود نداشته‌است. فعالیت‌های انجام شده توسط گنزالس- گارسیا (۲۰۱۳) نشان می‌دهد که برخی روحانیون مقبره‌های مناطق آلمان، فرانسه و احتمالا انگلیس به این موضوع علاقه نشان داده‌اند. اگرچه این ساختمان‌ها عموما کلیساهای رومی یا کلیسای جامع گوتیک بودند و برای انجام این کار کمی دیربوده است. کاوال (۲۰۰۹) تحقیقاتی انجام داد و یک مورد مستند و جالب در اسلوونی یافت؛ جایگاه پیتر مقدس در جهتی بود که نشان دهنده جهت‌گیری کلیساها رو به طلوع خورشید در آن دوران بود. مک‌کلاسکی (۲۰۰۴) موردی مشابه در انگلیس یافت که در کلیساهای رومی، کلیساهایی که در آن‌ها پیش‌کش‌های مریم مقدس انجام می‌شد و برخی مکان‌های مقدس دیگر از این استانداردها پیروی می‌شد تا این نشانه‌ها تکمیل‌کننده نظریه جهت‌گیری رو به شرق باشد.

در این پژوهش و با توجه به هدف آن جالب است به این مورد توجه داشته باشید که به جز تعداد کمی از فعالیت‌هایی که در خصوص برخی کلیساهای مشخص شده در انگلیس و اروپای مرکزی انجام شده‌است هیچ پژوهش منظمی در زمینه جهت‌گیری معابد طی دوران پس از قرون وسطی همانند امروزه وجود ندارد. طیف گسترده‌ای از کلیساها و کلیساهای کوچک لانزاروته دهه‌ها پس فتح و استعمار این جزیره توسط نورمان‌ها که در خدمت حکومت کاستیل در قرن ۱۵ بودند، برپا شده‌اند.

نکته جالب قانون جهت‌گیری کلیساها در آفریقای شمالی است که از این قاعده مستثنا می‌باشند. کلیساهای آفریقای شمالی در جهت مخالف ساخته شده‌اند. اطلاعاتی که در نمودار ۲ نشان داده شده‌است توسط استبان (۲۰۰۱) و بلمونته (۲۰۰۷) گردآوری شده‌اند و از برخی تحقیقات منتشرنشده گنزالس گارسیا (۲۰۱۳) استفاده شده‌است؛ اطلاعات ۲۳ کلیسا مخصوصا کلیساهای مناطق پروکونسلاریس و تریپولیتانیای آفریقا را منتشر کردند. این مناطق احتمالا مبدا پیدایش جمعیت بومیان جزایر قناری می‌باشند (بلمونته ۲۰۱۰). جهت‌گیری این کلیساها که مانند جهت‌گیری کلیساها در دوران ابتدایی مسیحیت رو به غرب است بسیار جالب می‌باشد؛ این کلیساها در محدوده نور خورشید و براساس اعتدالین و انقلابین ساخته می‌شدند که نشان از تاثیر مسیحیت در آن منطقه بود.



تصویر۲: نمودار جهت‌گیری ۲۳ کلیسای دوران ابتدایی مسیحیت در شمال آفریقا

در شبه جزیره ایبریا و دو مجمع الجزایر در اسپانیا گزارش‌هایی از رویدادهایی در مورد وجود نور و سایه در کلیساهای رومی در زمان‌های خاصی مانند روز اعتدال وجود دارد (مانند سانتامارتا د ترا یا در سان‌خوان د اورتخا در استان‌های زامورا و بورخوس) اما به مسئله جهت‌گیری کلیساها از نظر آماری چندان پرداخته نشده‌است که منجر به ادعای مذهبیون در خصوص انحراف

احتمالی برخی کلیساها از جهت‌گیری شرعی شد (به عنوان مثال گدوی-فرناندز را ببینید، ۲۰۰۴).

پرز-وارکالسل (۱۹۹۸) جهت‌گیری ۱۸۷ کلیسای رومی کامینو دی سانتیاگو را بررسی کرده‌است. اطلاعات او نه تنها اندازه گیری ارتفاع زاویه‌ای افق، موضوعی که در پژوهشات اروپایی بسیار رایج است، را در برنمی‌گیرد بلکه او موفق نشده است رابطه‌ای میان جهت‌گیری کلیساها و طلوع خورشید در روز عبادت حامی مقدس کلیسا بیابد.

تیم ما قصد دارد پروژه‌ای را در مقیاس بزرگ در شبه جزیره ایبری و قناری آغاز کند. آنچه در اینجا بیان می‌شود اولین پژوهش اصولی است که تاکنون انجام شده‌است. البته گنزالس گارسیا (۲۰۱۳) به بررسی جهت‌گیری کلیساهای پیش از رومیان در نواحی شبه جزیره و همچنین به کلیساهای دوران آستاریایی و رابطه‌ی آن با قدرت غالب مسلمان‌ها در جنوب شبه جزیره پرداخته‌است. ۱۳ مورد از کلیساهای آن دوران در آستاریا باقی مانده‌است که براساس شرع جهت‌گیری کرده‌اند و محراب آن‌ها رو به شرق است؛ البته چند درجه از سمت شرق به سمت شمال منحرف شده‌اند. پژوهشگران متوجه شدند که جهت قبله مسجد آندلس نیز که باید به سمت مکه باشد طبق جهت‌گیری کلیساها، جهت‌گیری شده‌است. با این حال دیده می‌شود که مساجد از جهت‌های احتمالی که باعث اشتباه گرفتن آن‌ها با کلیساها می‌شود اجتناب می‌کنند. از طرفی نیز به نظر می‌رسد که کلیساهای آستوری و متعاقبا موزاراب‌ها نیز تمایل دارند که از موقعیت‌های مشابه با مساجد دوری کنند که این نمونه‌ای از روابط متقابل دین، قدرت و نجوم است. بدین ترتیب می‌بینیم که در شرایط خاصی الگوهای شرعی نیز دچار تغییر می‌شوند.

در نهایت گارسیا کوییتلا (۲۰۱۳) با استفاده از تحلیل جهت‌گیری کلیساها، مسیحیت محیط اطراف آن‌ها و خلق افسانه‌هایی که گروه‌های بت پرستی را هدایت، اصلاح، یا جایگزین کردند موضوعاتی را بررسی کرده است؛ نظیر معرفی مسیحیت در شمال‌غربی شبه جزیره، جایگزینی احتمالی عناصر هندو-اروپایی (سلتیک) توسط عوامل مسیحی با معرفی یک نوع "دیدگاه شهادت". بدین ترتیب بررسی و تحلیل پدیده‌های مشابه در جزایر قناری می‌تواند جالب باشد؛ مخصوصا جزیره لانزاروته که اولین موردی است که مستعمره اروپا شد و تعداد هسته‌های جمعیتی آن امکان بررسی یک نمونه خیلی مهم آماری که در آن جمعیتی بسیار متراکم در فضایی کوچک جمع شده‌اند را به ما می‌دهد.

مثال: کلیسا ها و نمازخانه‌های لانزاروته و نتایج :

پس از فتح و استعمار جزیره لانزاروته توسط اروپاییان در اوایل قرن ۱۵ استعمارگری در مقیاس وسیع آغاز شد و بلافاصله پس از آن مزارع کوچک و دهکده‌های بدون کلیسا همراه با مکان‌های قدیمی‌تری مانند روستای فمز (Femes) و تگایز (Teguise) و همچنین تعداد قابل توجهی معابد مسیحی ساخته شد. آغاز این ساخت و سازها بیانگر وضعیت جدید اجتماعی و دینی بود. در تعداد کمی از مکان‌ها امکان این وجود داشت که ساختمان‌ها با توجه به الگوهای پرستشی بومی جهت‌گیری کنند. در این مکان‌ها جهت‌گیری شرعی (استاندارد) معابد رو به سمت شرق و برخی رو به سمت غرب بودند و آزادی نسبی بیشتری رعایت شده بود. در این رابطه لازم به ذکر است که فقط کلیسای مالا جهت‌گیری سازگاری با طلوع خورشید در روز (ماریایی) دارد و فراخوان کلیسا را نشان می‌دهد. (تصویر۳)

تصویر۳: کلیسای نترا. سنیور دل لاس مرسدس در مالا

تعداد قابل توجهی از کلیساهای لانزاروته به سمت شمال و شمال‌شرق هستند. این تعداد نمونه‌ای جالبی است که بر خلاف عرف سایر کلیساهایی که در این منطقه ساخته شده‌اند. احتمالات متعددی برای توجیه این تفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند و به این نتیجه ختم شده‌اند که قابل قبول‌ترین پاسخ، عاقلانه‌ترین پاسخ است. به نظر می‌رسد که الگوی جهت گیری آن‌ها تمایل زیادی به دوری از بادهای سهمگین جزیره دارد، باد هایی که دقیقا درهمان جهت هستند. البته بطور دقیق این الگو به گونه‌ای است که بناها از شن و ماسه‌هایی که توسط بادها به بناهای نزدیک جابل می‌رسند دوری کنند؛ جابل یک منطقه ماسه‌ای در شمال جزیره است.

این اولین آزمایش از پروژه‌ایست که ما امیدواریم در سال‌های

آتی با بررسی جهت‌گیری قدیمی‌ترین کلیساهای سایر جزایر مجمع‌الجزایر قناری آن را تکمیل کنیم. احتمالا بررسی جزیره‌ی فورتونترا که جریان بادی مشابه اما شدیدتری را دارد مورد جالبی برای مقایسه با جزیره همسایه لانزورته می‌باشد.

آیا کلیساهای فورتونترا نیز استثنائاتی دارند؟ آیا سازنده‌های آن نیز جرئت شکستن رسوم شرعی برای برطرف کردن نیازهای انسانی را داشته‌اند؟ فقط با گذشت زمان می‌توان فهمید!

کتابشناسی:

• Belmonte J.A., Pirámides, templos y estrellas: astronomía y arqueología en el Egipto antiguo, Crítica, Barcelona, 2012

• Belmonte, J.A. y Sanz de Lara M., El Cielo de los Magos, La Marea, La Laguna, 2001.

• Belmonte J.A., Tejera A., Perera M.A. y Marrero R., "On the orientation of pre-Islamic temples of North-west Africa: a reaprisal. New data in Africa Proconsularis", Mediterranean Archaeology and Archaeometry6, 3: 77-85. 13, 2007

• Belmonte J.A., Perera Betancort M.A. y González García A.C., "Análisis estadístico y estudio genético de la escritura líbico-bereber de Canarias y el norte de África", en VII Congreso de patrimonio histórico: inscripciones rupestres y poblamiento del Archipiélago Canario, Cabildo de Lanzarote, Arrecife, (2010)

• Čaval, S. (2009). "Astronomical orientations of Sacred Architecture during the Medieval period in Slovenia", en J.A. Rubiño-Martín, J.A. Belmonte, F. Prada and A. Alberdi (eds.), Cosmology Across Cultures, 209-19. San Francisco. Astronomical Society of the Pacific.

• Estéban, C., Belmonte, J.A., Perera Betancort, M.A., Marrero, R. y Jiménez González, J.J., "Orientations of pre-Islamictemples in North-West Africa", Archaeoastronomy26, S65-84, (2001).

• Gangui A.; González García A.C.; Perera Betancort M.A. y Belmonte, J.A., La orientación como una seña de identidad cultural: las iglesias históricas de Lanzarote, Tabona en prensa, 2015

• García Quintela, M.V., González-García, A.C. y Seoane-Veiga, Y. , "De los solsticios en los castros a los santos cristianos: la creación de un paisaje mártir en Galicia", Madrider Mittelungen, 2013

• González-García, A.C., "A voyage of christian medieval astronomy: symbolic, ritual and political orientation of churches", en F. Pimenta, N. Ribeiro, F. Silva, N. Campion, A. Joaquinito, L. Tirapicos (eds.): Stars and stones. British Archaeology reports, 2013

• González-García, A.C. y Belmonte, J.A., "Which Equinox?" Archaeo-astronomy, The Journal of Astronomy in Culture20. 97-107, 2006.

• González-García, A.C., Belmonte J.A. y Costa-Ferrer, L., "The orientation of pre-Romanesque churches in Spain: Asturias, a case of power re-affirmation", en M.A. Rappenglueck, B. Rappenglueck and N. Campion (eds.), Astronomy and Power. British Archaeology Reports, 2013.

• Godoy Fernández, C. , "A los pies del templo. Espacios litúrgicos en contraposición al altar: una revisión", Antigüedad Cristiana 21, 473-89, 2004

• Krupp E.C., Echoes of the Ancient Skies, Harper & Row, Nueva York, 1983

• Krupp E.C., En busca de las antiguas astronomías, Pirámide, Barcelona, 1989.

• Krupp E.C., Beyond the Blue Horizon, Oxford University Press, Oxford, 1991

• McCluskey, S.C., Astronomies and cultures in early Medieval Europe. Cambridge University Press. Cambridge, 1998.

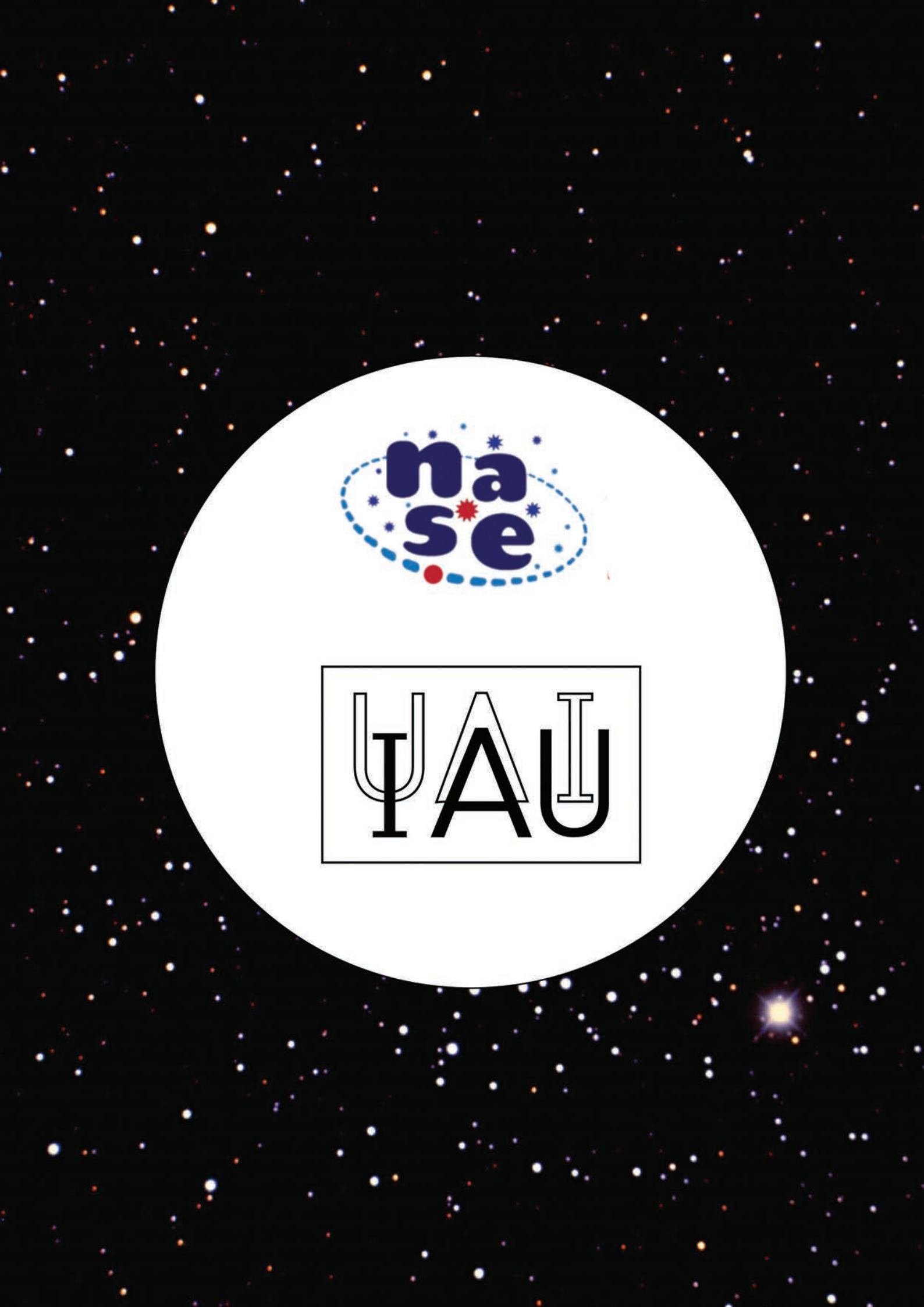
• McCluskey, S.C. , "Astronomy, Time, and Churches in the Early Middle Ages", in M.-T. Zenner, Villard's legacy: Studies in Medieval Technology, Science and Art in Memory of Jean Gimpel. Ashgate, Aldeshot: 197-210, 2004

• McCluskey, S.C. , "Calendric cycles, the eighth day of the World and the orientation of English Churches", en C. Ruggles and G. Urton (eds.), Skywatching in the Ancient World, New Perspectives in Cultural Astronomy, 331-353. University Press of Colorado. Bolder, 2010.

• Pérez-Valcárcel, J., "La orientación de las iglesias románicas del Camino de Santiago", en F. Bores, J. Fernández, S. Huerta, E.Rabasa, Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. La Coruña, Servicio de Publicaciones Universidad de La Coruña: 391-396, 1998.

• Ruggles, C.L.N., "Whose equinox?" Archaeo-astronomy 22:S45-50, 1999.

• Vogel, C., "Sol aequinoctialis. Problemes ettecnique de l'orientation dans le 15 culture chretien". Revue Sciences Religieuses36, 175-211, 1962.


nase
ΨΑΩ