



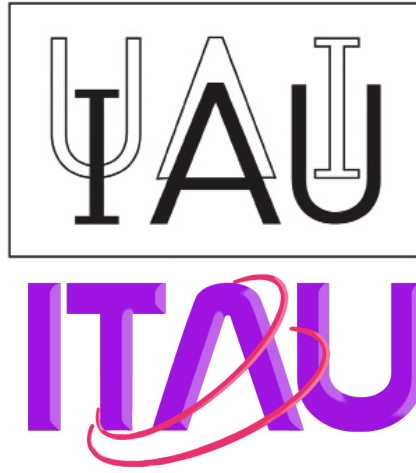


# ۱۴ گام به سوی کیهان

روش‌های آموزشی  
ویژه معلمان  
و دانش‌آموختگان رشته‌های علوم

شبکه آموزش ستاره‌شناسی مدارس  
اتحادیه ستاره‌شناسی بین‌المللی  
اتحادیه ستاره‌شناسی معلمان ایران

ویرایش: رزا ماریا رزو و بتاتریس گارسیا



سال انتشار: ۲۰۲۰-۱۳۹۹

ویرایش سوم: دسامبر ۲۰۲۰

NASE:2020-12-25

**نویسندگان:** فرانسس برتومئو، الکساندر داکاستا، هانس دیگ، سوسانا دیوستوا، جولیتا فیرو، بتاتریز گارسیا، ماری کای همنوی، ریکاردو مورنو، جی م. پاساخوف، جان پرسبی، 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 م. رز و بتاتریس 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

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

۳۲	آفریقا
۳۲	ستاره‌شناسی اسلامی
۳۲	قاره ی آمریکا
۳۲	آمریکای شمالی
۳۲	ستاره‌شناسی مایان
۳۳	ستاره‌شناسی آزتک
۳۳	نجوم اینکا
۳۴	هند
۳۴	چینی
۳۵	اروپای غربی
۳۵	نبوغ ریاضی: نیکلاس کوپرنیک هلندی
۳۶	نبوغ رصدی: تیکو براهه دانمارکی
۳۶	استفاده از ریاضیات: یوهانس کپلر آلمانی
۳۷	جستجوهای تلسکوپی: گالیله از ایتالیا
۳۹	فیزیک جدید: ایزاک نیوتن
۳۹	مطالعات نجومی ادامه دارد
۴۱	<b>منظومه شمسی و سیارات فرا خورشیدی</b>
۴۱	منظومه شمسی
۴۲	پیدایش و سیر تکامل منظومه ی شمسی
۴۳	چرخه ی زندگی خورشید
۴۳	سیارات
۴۴	تیر
۴۵	حرکت تقدیمی حضیض تیر
۴۵	ناهید
۴۶	گذر ناهید
۴۶	زمین
۴۶	بهرام
۴۸	مشتری
۴۹	زحل
۵۰	اورانوس
۵۱	نپتون
۵۱	سیارات کوتوله
۵۱	پلوتو - چارن و آیریس
۵۱	سایر اجرام منظومه شمسی
۵۱	محیط میان ستاره ای
۵۲	دنباله دارها
۵۲	دنیاهای خارجی
۵۳	<b>افق محلی و ساعت آفتابی</b>
۵۳	زمین می چرخد و می گردد

۵۴.....	زمین موازی .....
۵۶.....	رصد .....
۵۷.....	مدل افق محلی .....
۶۰.....	ساعت آفتابی .....
۶۳.....	زمان خورشیدی و زمان در ساعت مچی .....
۶۳.....	تنظیم طول جغرافیایی .....
۶۳.....	تنظیم ساعت تابستانه / زمستانه .....
۶۳.....	تنظیم معادله زمان .....
۶۴.....	جهت یابی .....
۶۵.....	<b>نشانگر ماه، خورشید و ستارگان</b> .....
۶۵.....	هدف ساخت نشانگر .....
۶۵.....	نشانگر ستاره‌ای: چرا برخی از ستاره‌ها ناپیدا هستند؟ .....
۶۵.....	هدف اصلی نشانگر .....
۶۶.....	ساخت نشانگر .....
۶۸.....	نشانگر برای نیم‌کره‌ی جنوبی .....
۶۸.....	نحوه استفاده از نشانگر .....
۶۹.....	خمیدگی (انحراف) مسیر ستارگان نسبت به افق .....
۶۹.....	نشانگر خورشیدی: چرا خورشید هر روز از یک مکان مشابه طلوع نمی‌کند؟ .....
۷۰.....	ساخت نشانگر .....
۷۰.....	دستور العمل ساخت .....
۷۰.....	نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی .....
۷۲.....	نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی جنوبی .....
۷۲.....	استفاده از نشانگر خورشیدی .....
۷۷.....	نشانگر خیلی بزرگ .....
۷۷.....	نشانگر ماه: چرا ماه در برخی مناطق لبخند می‌زند؟ .....
۷۸.....	ساخت نشانگر .....
۷۸.....	استفاده از نشانگر ماه .....
۸۱.....	<b>سیستم زمین - ماه - خورشید: فازها و گرفت‌ها</b> .....
۸۱.....	موقعیت‌های نسبی .....
۸۱.....	مدل‌های ماسک .....
۸۱.....	مدل صورت‌های پوشیده شده .....
۸۲.....	مدل زمین - ماه .....
۸۲.....	شبیه‌سازی فازهای ماه: .....
۸۲.....	شبیه‌سازی ماه گرفتگی .....
۸۳.....	شبیه‌سازی خورشید گرفتگی .....
۸۳.....	رصد .....
۸۴.....	مدل خورشید - ماه .....
۸۴.....	محاسبه قطر خورشید .....
۸۵.....	اندازه‌ها و فواصل در سیستم زمین - ماه - خورشید .....

۸۵.....	تکرار آزمایش آریستاخوس .....
۸۵.....	رابطه میان زمین - ماه و زمین - خورشید .....
۸۵.....	رابطه میان شعاع ماه و خورشید .....
۸۶.....	خلاصه نهایی .....
۸۶.....	محاسبه دانش آموزان .....
۸۶.....	تکرار آزمایش اراتوستن .....
۸۷.....	جزر و مد .....
۸۹.....	<b>کیف یک منجم (ستاره شناس) تازه کار (آماتور) .....</b>
۸۹.....	رصد .....
۸۹.....	محتویات (ابزارها) .....
۹۰.....	ارتفاع سنج ساده: ارتفاع سنج تفنگی .....
۹۱.....	چگونگی کار با ابزار: .....
۹۱.....	سمت یاب .....
۹۲.....	چگونگی کار با ابزار .....
۹۲.....	گردونه آسمان .....
۹۲.....	نیم کره ی شمالی .....
۹۲.....	نیم کره ی جنوبی .....
۹۲.....	چگونگی کار با ابزار: .....
۹۹.....	طیف سنج .....
۹۹.....	چگونه طیف سنج بسازیم: .....
۹۹.....	چگونگی کار با ابزار: .....
۹۹.....	نقشه ی ماه .....
۹۹.....	ساختن نقشه ی ماه .....
۹۹.....	چگونگی کار با ابزار: .....
۱۰۰.....	مرتب کردن کیف .....
۱۰۰.....	نتیجه گیری .....
۱۰۱.....	<b>طیف خورشید و لکه های خورشیدی .....</b>
۱۰۱.....	تابش خورشید .....
۱۰۲.....	قطبش نور .....
۱۰۲.....	فعالیت ۱: قطبش نور .....
۱۰۳.....	ساختار خورشید در یک نگاه .....
۱۰۳.....	فعالیت ۲: مدل ساده از لایه های خورشید .....
۱۰۴.....	لکه های خورشیدی .....
۱۰۴.....	فعالیت ۳: تعیین دوره حرکت چرخشی خورشید .....
۱۰۶.....	تابشی که از خورشید می آید .....
۱۰۶.....	فعالیت ۴: تعیین درخشندگی خورشید .....
۱۰۷.....	کدری (در فارسی در این موقعیت هسته خورشید را مات می گویند) .....
۱۰۷.....	فعالیت ۵: شفافیت و کدری .....
۱۰۷.....	طیف .....



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

۱۳۴.....	فعالیت ۲: کش آمدن فوتون ها
۱۳۴.....	قانون هابل
۱۳۵.....	فعالیت ۳: جهان بروی یک کش
۱۳۶.....	فعالیت ۴: جهان بروی بادکنک
۱۳۶.....	فعالیت ۵: محاسبه ی ثابت هابل
۱۳۸.....	انفجار بزرگ
۱۴۰.....	فعالیت ۶: هیچ مرکزی برای انبساط وجود ندارد.
۱۴۰.....	سیر تکاملی عالم
۱۴۲.....	تابش زمینه ی کیهان
۱۴۳.....	فعالیت ۷: شناسایی تابش زمینه ی کیهان
۱۴۳.....	چرا شب تاریک است؟
۱۴۴.....	عدسی گرانشی
۱۴۵.....	فعالیت ۸: شبیه سازی عدسی گرانشی با لیوان پایه دار
۱۴۷.....	<b>سیارات و فراخورشیدی ها</b>
۱۴۷.....	منظومه شمسی
۱۴۷.....	مدل های منظومه شمسی
۱۴۷.....	مدل قطر
۱۴۷.....	مدل فاصله
۱۴۸.....	مدل قطر و فاصله
۱۴۸.....	مدلی بر روی نقشه شهر
۱۴۹.....	مدل فاصله ی نور
۱۵۰.....	مدل چگالی
۱۵۱.....	مدل صاف کردن سیارات
۱۵۱.....	مدلی برای دوره ی سیارات
۱۵۲.....	مدل گرانش سطحی
۱۵۲.....	مدل ترازوی عقربه ای
۱۵۳.....	مدل دهانه ها
۱۵۳.....	مدل سرعت فرار
۱۵۴.....	محاسبه ی سرعت فرار با استفاده از فرمول های انرژی جنبشی و پتانسیل:
۱۵۴.....	مدل موشک با قرص جوشان
۱۵۷.....	فراخورشیدی
۱۵۷.....	معرفی فرا خورشیدی ها
۱۵۸.....	شناسایی سیستم های فراخورشیدی
۱۵۸.....	مقدمه سیارات فراخورشیدی
۱۵۹.....	روش گذر (ترانزیت)
۱۵۹.....	فعالیت ۵: اثر داپلر
۱۵۹.....	فعالیت ۶: شبیه سازی گذر
۱۶۰.....	روش عدسی میکرو گرانشی
۱۶۰.....	شبیه سازی ریزعدسی

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

۱۸۹.....	پیوست: راهنمای استفاده از نرم افزار استلاریم، نسخه ۱.۰.۶.۰
۱۹۱.....	علم نجوم باستانی و پتانسیل آموزشی آن
۱۹۱.....	مقدمه
۱۹۱.....	علم نجوم باستانی چیست؟
۱۹۱.....	علم نجوم باستانی در کجا قرار دارد؟
۱۹۲.....	نجوم باستانی و NASE
۱۹۲.....	کلیساهای در یک جامعه مسیحی
۱۹۳.....	پیوست ۱ (برگرفته از "کتاب بهشت جادوها")
۱۹۳.....	شیوه مصاحبه میدانی در قوم شناسی نجومی
۱۹۴.....	پیوست دو (برگرفته شده از "جهت گیری به عنوان نشانه ای از هویت فرهنگی: کلیساهای تاریخی لانزاروته")

## 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 برگزیده 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 دانش‌آموزان از مفاهیم علمی به کمک مدل‌سازی‌های گوناگون می‌شود. تمامی مدارس حیات دارند؛ از حیات 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 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

ویراستاران: رزا ام. رز و بیاتریس 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 جودر 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 سبک‌تر 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 دانش آموزان است.

### ویژگی‌های خورشید و ستارگان

اولین قدم برای درک منشأ و تکامل خورشید و ستارگان، درک خصوصیات آنهاست. دانش آموزان باید با چگونگی تعیین این خصوصیات آشنا شوند. خورشید نزدیک‌ترین ستاره به ما است. خورشید در سایر بخش‌های این کتاب مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش، خورشید را از منظر تکاملی مورد بررسی

قرار می‌دهیم. دانش آموزان 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، به صورت عمده از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده و فاصله متوسط آن از زمین  $1.495978715 \times 10^{11}$  متر است؛ بنابراین ما این فاصله را یک واحد نجومی می‌نامیم. شعاع زاویه‌ای مشاهده شده آن ( $959/6$  قوس در ثانیه) است که به کمک محاسبات هندسی، می‌توان آن را به شعاع خطی تبدیل کرد، که برابر با:  $6,96265 \times 10^8$  متر یا  $696,265$  کیلومتر خواهد بود. شار مشاهده شده آن  $1370 \text{ W/m}^2$  که در فاصله زمین، کل توان آن برابر با  $3.85 \times 10^{26}$  وات است. با استفاده از قوانین حرکت و گرانش نیوتن میزان جرم آن  $1.9891 \times 10^{30}$  کیلوگرم محاسبه شده است. دمای سطحی آن برابر با  $5780$  کلوین است و دوره چرخش آن حدود  $25$  روز است؛ البته این دوره حرکت چرخشی کمی در عرض‌های مختلف خورشید با یکدیگر متفاوت است. در فعالیت ۲، دانش آموزان با خورشید بیشتر آشنا می‌شوند.

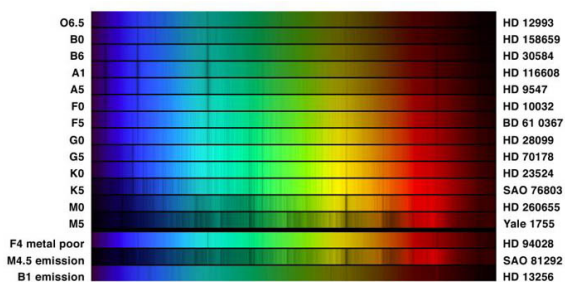
### ستارگان

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 فروغ‌تر، دارای قدر مثبت‌تر و بیشتر هستند. بعدها رابطه‌ی لگاریتمی قدر کشف شد. این رابطه نشان داد که هر یک تغییر در قدر از نسبت ثابت  $2.512$  پیروی می‌کند. یعنی ستاره‌ای با قدر ۱ نسبت به ستاره‌ای با قدر ۲، به میزان  $2.512$  روشن‌تر است. بعدها این سیستم تکامل پیدا کرد و اعداد منفی نیز به آن وارد شد. پر نورترین ستاره آسمان، ستاره شباهنگ با قدر  $-1.44$  و کم نورترین ستاره‌ای که با یک تلسکوپ بزرگ قابل مشاهده است، قدری حدود  $30$  دارد.

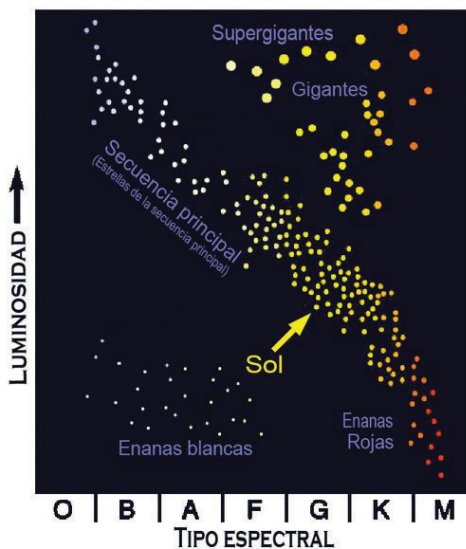
میزان روشنایی ظاهری،  $B$ ، یک ستاره به توان آن،  $P$ ، و فاصله‌ی آن،  $D$ ، بستگی دارد. طبق قانون مربع معکوس، میزان روشنایی به طور مستقیم متناسب با توان و به صورت

به دمای آن پی برد.



شکل ۲: مجموعه‌ای از طیف ستاره‌ها، از داغ‌ترین (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 آن‌ها - هرچه توان ستاره بیشتر، درجه حرارت نیز بیشتر است. بعدها عامل کنترل‌کننده این امر را (جرم) تشخیص دادند: هرچه ستاره پرجرم‌تر، توان آن بیشتر و در نتیجه داغ‌تر 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 رده طیفی را توصیف می‌کنند که براساس دما است. ستارگان بزرگ (غول‌ها و ابرغول‌ها) در سمت راست و بالا و ستاره‌های کوچک‌تر (کوئوله‌ها) 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.

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، دانش‌آموزان 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 رنگ‌های گوناگونی هستند. ستاره‌های صورت فلکی شکارچی، یک مثال خوب برای این تفاوت رنگ هستند. در شکل ۱ این تفاوت را بین ستاره‌های ابط الجوزا و رجل الجوزا به راحتی می‌توان دید. در فعالیت ۳، دانش‌آموزان با رفتن زیر آسمان شب و مشاهده 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 اندازه‌گیری کرد؛ در نتیجه دمای ستاره را با توجه به رنگ می‌توان تعیین کرد.



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

دمای ستاره را می‌توان از طریق طیف آن تعیین کرد (شکل ۲). این تصویرزیا طیف‌های 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 اتم‌ها یا ترکیب آن‌ها با مولکول‌ها شود، بنابراین با بررسی وضعیت اتم‌ها در طیف هر ستاره، می‌توان

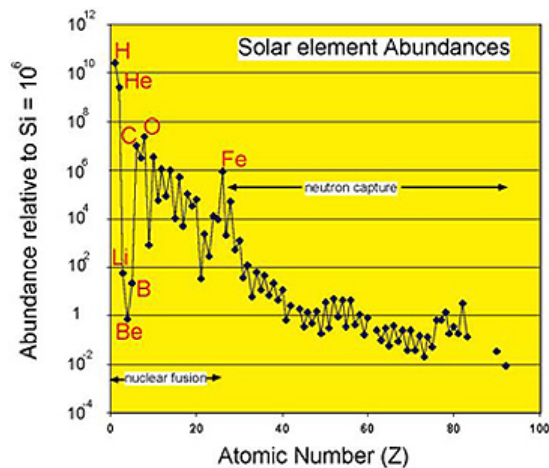


منبع: دانشگاه کالیفرنیا برکلی.

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 شده‌اند.



شکل ۴: فراوانی عناصر موجود در خورشید و ستاره‌ها. هیدروژن و هلیوم فراوان‌ترین هستند. لیتیم، برلیوم 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.

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، رابطه‌ی 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، رابطه جرم و روشنایی گفته می‌شود.

جرم ستاره‌ها در حدود ۰٫۱ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از خورشید است. در نتیجه توان آن‌ها از حدود ۰٫۰۰۱ 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 ستاره‌ها

گرانش، نقش اصلی را در تعیین ساختار ستارگان و کهکشان‌ها برعهده دارد. کروی شکل بودن خورشید نیز ناشی از گرانش آن است. به علت وزن لایه‌های 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، لایه‌های 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.

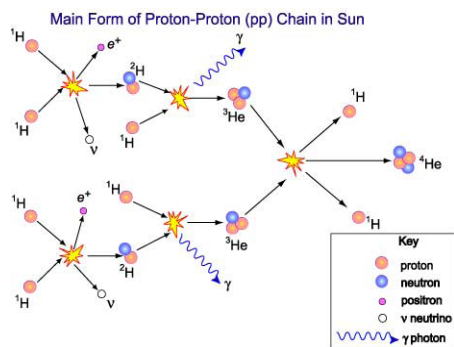
حدود نیمی از ستاره‌های همسایه خورشید ستاره‌های دوتایی هستند - دو ستاره که حول مرکز جرم مشترک در حال گردش هستند. ستاره‌شناسان به کمک ستاره‌های دوتایی قادر به تعیین جرم ستاره‌ها خواهند بود. به همین علت این سیستم‌های دوگانه بسیار حائز اهمیت هستند. جرم یک ستاره را می‌توان با مشاهده حرکت ستاره دوم اندازه‌گیری کرد و برعکس. شباهنگ، شعرای شامی و عیوق نمونه‌هایی

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 در نتیجه خورشید بیش از این‌ها باشد. بنابراین دانشمندان با یک سؤال اساسی روبه‌رو بودند: منبع انرژی خورشید چیست؟

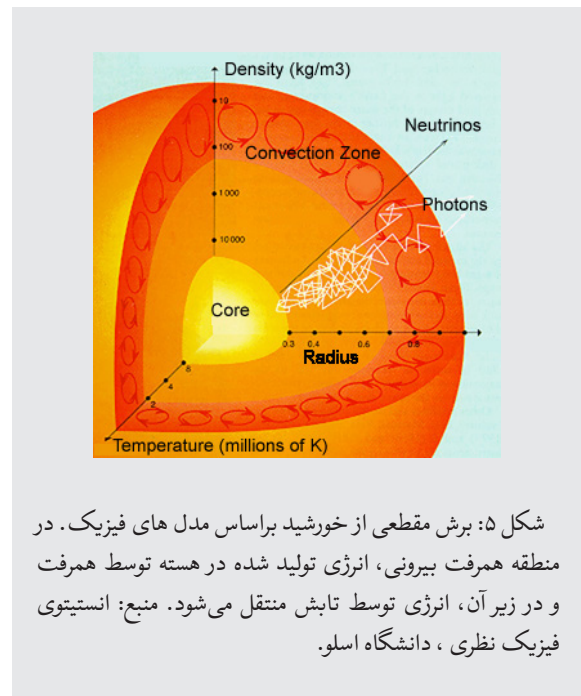
در اواخر قرن نوزدهم بود که دانشمندان مواد رادیواکتیو و شکافت هسته‌ای را کشف کردند. با این وجود، عناصر رادیواکتیو در خورشید و ستاره‌ها بسیار نادر هستند و نمی‌توانند انرژی میلیاردها سال تابش آن‌ها را فراهم کنند.

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، هیدروژن فراوان‌ترین عنصر موجود در خورشید و ستارگان است.

در ستاره‌های کم‌جرم مانند خورشید، همجوشی هسته‌ای در چرخه‌ای به نام پروتون - پروتون 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 کم‌جرم) 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 ۵: برش مقطعی از خورشید براساس مدل‌های 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 ویژگی‌های قابل مشاهده ستاره را پیش‌بینی کنند.

اخترشناسان اخیراً روشی بسیار کارآمد را برای آزمایش مدل‌های 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 ستاره‌ها

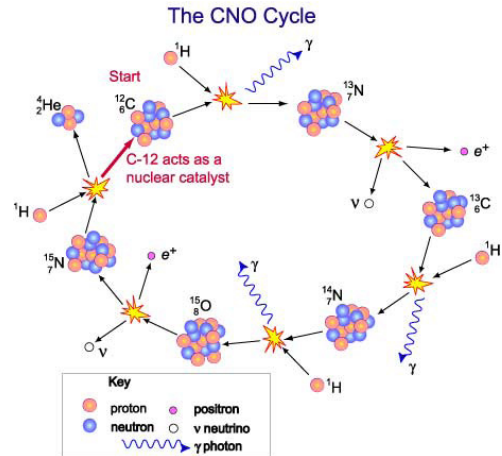
منبع انرژی خورشید برای بشر همیشه جای سؤال بود، دانشمندان قرن‌ها از این منبع انرژی اسرارآمیز پایان‌ناپذیر خورشید و ستارگان در شگفت بودند. از آنجا که سوخت‌های شیمیایی مانند: نفت یا گاز طبیعی معمول و در دسترس بود، گمان‌ها بر این بود که منبع انرژی خورشید از این نوع است. اما به دلیل توان بسیار زیاد خورشید ( $4 \times 10^{26}\text{ W}$ )، 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.

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 نوترینوز بدن ما عبور می‌کند. "رصدخانه‌های نوترینو" می‌تواند تعدادی از این نوترینوها را تشخیص دهند. اولین رصدخانه‌های نوترینو، تنها یک سوم از تعداد پیش‌بینی شده 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 پیش‌بینی شده است.

### زندگی خورشید و ستاره‌ها:

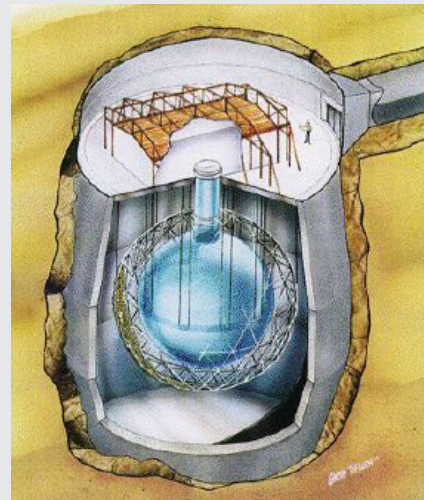
بر اساس روش علمی، در ابتدا به اینکه دانشمندان چگونه به تکامل ستارگان پی برده‌اند، پاسخ می‌دهیم. در این جا چند روش اصلی مورد استفاده دانشمندان را بیان می‌کنیم: استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، بر اساس قوانین فیزیک (همانطور که در پیش از این توضیح داده شد)

- 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 کهکشان ما هزاران خوشه ستاره‌ای وجود دارد، که حدود ۱۵۰ خوشه آن، خوشه‌های کروی هستند. خوشه‌های کروی از قدیمی‌ترین اجرام در کهکشان ما هستند. خوشه‌های قلائص (در صورت فلکی ثور)، خوشه پروین (در صورت 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 تقریباً بسیار نادر است؛ زیرا این مراحل، بخش کوچکی از زندگی ستاره‌ها



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 نتیجه این چرخه، چهار هسته هیدروژن با هم 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 غالباً 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 دوتریم (متن را ببینید) گاهی اوقات با نوترینو برخورد می‌کند تا یک نور به صورت فلش ایجاد کند. منبع: رصدخانه سادبری نوترینو

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 مهارت‌های ریاضی توسعه دهند.

## زندگی و مرگ خورشید و ستاره‌ها

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 بزرگ‌تر 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 کاملاً 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 - میلیون‌ها 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 لایه‌های بیرونی یک غول قرمز بسیار کم بوده و هر چرخه تپش آن، به دلیل بزرگی غول سرخ، ماه‌ها یا سال‌ها زمان نیاز دارد. بر اثر این تپش‌ها (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 کم جرم، این انتقال آهسته‌تر و تدریجی‌تر است.

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

## 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 ستاره ها به اندازه ای داغ و چگال هستند که می تواند عناصر را تا آهن تشکیل دهند (همجوشی تا عنصر آهن اتفاق می افتد). هسته آهن انرژی لازم برای همجوشی یا شکافت هسته ای ندارد. از آنجا که هیچ منبع انرژی برای گرم نگه داشتن هسته وجود ندارد، هسته نمی تواند در برابر نیروی گرانش مقاومت کرده و گرانش، هسته ستاره را در یک ثانیه در خود می رمباند و آن را به یک توپ نوترون (یا حتی ماده ناشناس) تبدیل می کند. در نتیجه این اتفاق یک انفجار ابرنواختری رخ می دهد و این باعث می شود که لایه های بیرونی ستاره سرعت حداکثر ۱۰،۰۰۰ کیلومتر در ثانیه به بیرون پرتاب می شوند (شکل ۱۰).

ابرنواخترها، در حداکثر حالت درخشش خود، می توانند 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، «ستاره ها 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 غیر مسلح مشاهده شد.

اگر جرم هسته ستاره ابرنواختر از حد چاندرا سخر بیشتر باشد. پروتون ها و الکترون های موجود در هسته در حال فروپاشی، نوترون و نوترینو تولید می کنند. 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 روبره داخل گرانش با فشار کوانتومی روبره بیرون نوترون ها در تعادل است. جرمی با این ویژگی ها را ستاره نوترونی می نامند که قطر آن حدود ۱۰ کیلومتر و چگالی آن بیشتر از  $۱۰^{۱۴}$  برابر آب است. اگر ستاره نوترونی هنوز گرم باشد با یک تلسکوپ اشعه X می توان آن را رصد کرد. اما ستاره های نوترونی به روشی بسیار غیرمنتظره ای کشف شدند - به عنوان منبع پالس های امواج رادیویی به نام پ تپ اختر - دوره پالس آن ها تقریباً یک ثانیه و گاه بسیار کمتر است. پالس ها توسط میدان مغناطیسی قوی ستاره نوترونی تولید می شوند و با چرخش سریع ستاره تقریباً با سرعت نور به گردش در می آیند.

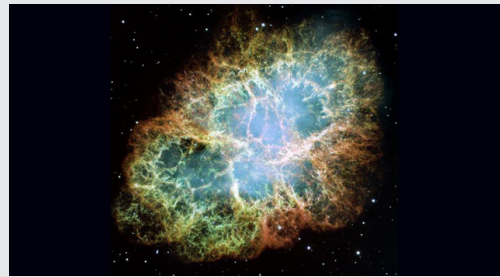
نوع دوم ابرنواختر در سیستم های ستاره دوتایی که یکی از ستاره های آن به کوتوله سفید تبدیل شده، رخ می دهد.

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

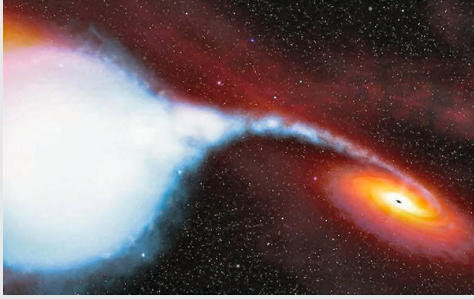
## ستاره های متداول اما کم جرم

ستارگانی با جرم اولیه کمتر از هشت برابر بیشتر از خورشید، در پایان عمر خود با از دست دادن جرم، هسته ای با جرم کمتر از  $۱٫۴$  خورشید برجا می گذارند. این هسته فاقد سوخت حرارتی است. کشش درونی گرانش با فشار بیرونی الکترون ها در آن در حال تعادل هستند و بنابراین اصل طرد پائولی آن ها در مقابل هرگونه انقباض بیشتر مقاومت می کنند. به این هسته های برجا مانده از ستاره، کوتوله سفید گفته می شود. همانطور که گفته شد کوتوله های سفید جرمی کمتر از  $۱٫۴۴$  برابر خورشید دارند. به این مقدار، حد چاندرا سخر گفته می شود، زیرا سوبرامانیان چاندرا سخر، ستاره شناس هندی-آمریکایی و برنده جایزه نوبل، نشان داد که کوتوله سفیدی سنگین تر از این حد، می تواند از هم فروپاشد.

کوتوله های سفید پایانی طبیعی تکامل ستاره ای هستند. تعداد بسیار زیادی از این کوتوله ها در کهکشان ما وجود دارند. اگرچه این ستاره ها داغ هستند اما، توان آن ها هزاران برابر کمتر از خورشید بوده و از زمین نیز کوچکتر هستند، به همین علت دیدن آن ها بسیار دشوار است. در واقع کوتوله های سفید به مانند زغال در حال سوختن در یک شومینه هستند که به تدریج سرد و خاموش می شوند. این کوتوله ها بعد از میلیارد ها سال، گرمای خود را از دست داده و سرد و تاریک می شوند. 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 ستاره شناسان آسیایی ثبت شد. هسته این ستاره منفجر شده یک ستاره نوترونی در حال چرخش یا تپ اختر در دل سحابی است. بخش کوچکی از انرژی چرخشی آن به سحابی منتقل می شود و باعث درخشش آن می شود. منبع: ناسا.



شکل ۱۱: تصویر هنری از ستاره دوتایی با اشعه X در دجاجة X-۱. این سیستم شامل یک ستاره عادی بزرگ (سمت چپ) و یک سیاهچاله (راست)، با جرمی 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 کوچک 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 دست خوش 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 پرنرژی 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.

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 تراز آهن به میزان کم در این انفجار تولید می‌شوند.

### ستاره‌های 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 آن‌ها 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 راه شیری خود ما، سیاهچاله‌های 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؟

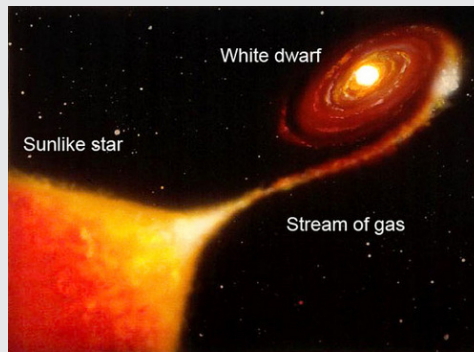
آن باشد. با شروع انقباض گرانشی و ادامه آن، نیمی از انرژی آزاد شده از برهمکنش‌های گرانشی، موجب گرم شدن ستاره و نیمی دیگر به صورت تابش منتشر می‌شود. با رسیدن دمای هسته به  $1,000,000$  کلوین، همجوشی حرارتی هسته‌های دوتریوم آغاز می‌شود، با ادامه این روند و گرم‌تر شدن ستاره، همجوشی هیدروژن آغاز می‌شود. با 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 مشاهده می‌شود. وقتی اسکیت باز 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 تراکم 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 شکل‌گیری ستاره‌ها را در این سحابی بررسی کنند. آن‌ها در این سحابی دیسک‌های پیش سیاره‌ای مشابه با شکل‌گیری منظومه شمسی را مشاهده کرده‌اند. جستجو همچنان ادامه داشته و در سال ۱۹۹۵، ستاره‌شناسان سیارات فراخورشیدی را کشف کرده‌اند. حواستان را جمع کنید ممکن است سیارات زیادی مانند زمین در جهان وجود داشته باشد!



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 شعله‌ور شود یا منفجر شود. منبع: ناسا.

### تولد خورشید و ستاره‌ها

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. سحابی‌ها، به صورت عمده از گازهای هیدروژن 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 (شکل ۱۳) ستاره‌های داغ سحابی، موجب برانگیخته شدن اتم‌های گازی آن و تولید پرتوهای فلئوئورسنت می‌شوند. غبار گرم شده آن امواج فرسوخ‌نشر 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 نزدیک‌تر میشوند و انقباض رخ می‌دهد. این انقباض ممکن است در اثر موج ناشی از یک انفجار ابرنواختری و یا فشار پرتوهای یک ستاره پرجرم در نزدیکی

- 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/](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](http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution)



## کیهان شناسی

جوئیت فی یرو، بئاتریس گارسیا، سوسانا دیوستیا  
اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه خودمختار  
ملی مکزیک (مکزیک DF)، 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 دربارۀ 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: خوشه‌های ستاره‌ای، تشکیل کهکشان‌ها و ساختار جهان. اکنون سن و تاریخ مبداء 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.

### کهکشان‌ها

کهکشان‌ها 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 (۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰) ستاره دارد. در جهان میلیاردها کهکشان این‌چنینی وجود دارد.

کهکشان ما یک کهکشان مارپیچی بزرگ، همچون کهکشان آندرومدا است (شکل ۱.الف) خورشید با سرعت ۲۵۰ 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 کهکشان‌ها به صورت غیرمستقیم و به کمک اطلاعات به دست آمده 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.)



شکل ۱. 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). شکل ۱. ب: ابر بزرگ 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 هم چسبیده یا شل و آویزان از قسمت مرکزی به نام (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 ماده بین ستاره‌ای است، تشکیل می‌شوند.

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.



شکل ۳: خوشه کهکشان Abell ۲۲۱۸. قوس‌هایی را می‌توان مشاهده کرد، که ناشی از اثر عدسی گرانشی است. (عکس: ناسا، ایسا، ریچارد ایس (کلتج) 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.

### کیهان‌شناسی

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.

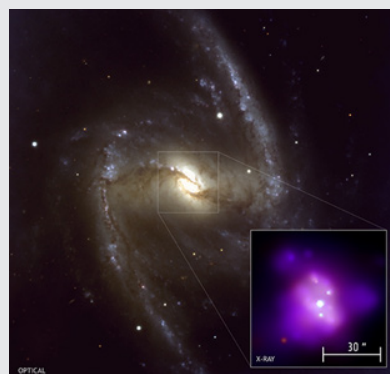
کیهان‌شناسی در پی یافتن پاسخ سؤالات بنیادین ما در مورد عالم است: ما از کجا آمده‌ایم؟ آینده جهان چیست؟ کجا هستیم؟ جهان چند سال قدمت دارد؟

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 آن را 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، حتماً باید به وسیله اندازه‌گیری‌ها و داده‌های مختلف پشتیبانی شود، تا درستی آن مشخص شود.

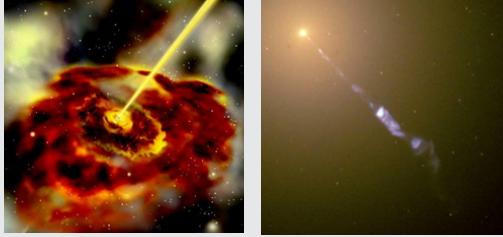
هنگامی که سیاهچاله‌های موجود در هسته کهکشان‌ها، ابرهای گاز یا ستارگان را به خود جذب می‌کنند، ماده شروع به گرم شدن می‌کند، اما قبل از افتادن به دام سیاهچاله، بخشی از آن در جت‌های گازی ظاهر شده و به فضا وارد می‌شود و محیط بین کهکشانی را گرم می‌کند. این دسته از کهکشان‌ها، با نام کهکشان‌های فعال شناخته می‌شوند 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). شکل ۲. 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)).

## ابعاد جهان



شکل ۴. الف: تصویر خیالی از سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان. (عکس: ناسا E / PO - 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 نزدیک 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 تقریباً 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 نمی‌توان یک مرکز مشخص قائل شد.

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 (۱۰۰۰۰۰۰۰۰) 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 به وجود 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.

## اندازه‌گیری 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.

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، مثلاً 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 لحظه ساطع شدن نورشان خواهد بود. هر ناظری در هر گوشه عالم، تجربه‌ای مشابه ما را خواهد داشت.

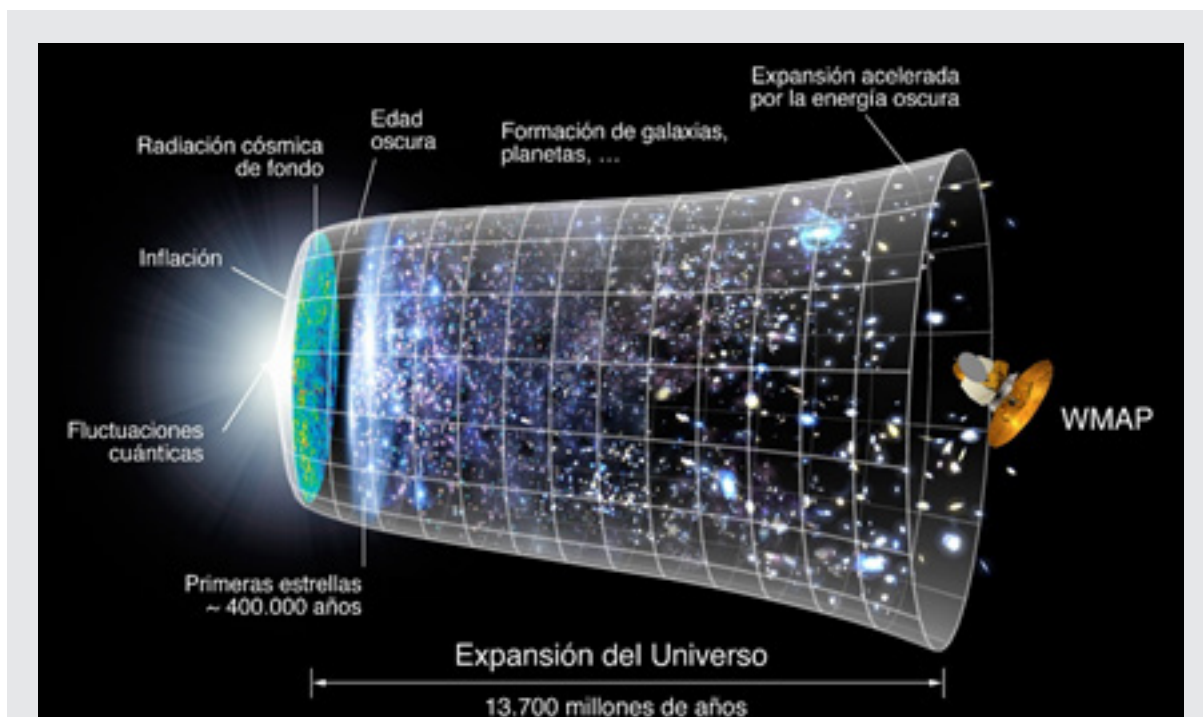
دقیقاً مانند همه علوم، در ستاره‌شناسی و اخترفیزیک هر چه بیشتر درباره جهان خود بیاموزیم، با سؤالات بیشتری نیز مواجه خواهیم شد. در ادامه به بررسی ماده و انرژی تاریک می‌پردازیم.



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



شکل ۶: انبساط عالم. (عکس: ناسا).

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 دوباره 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.

از آن 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.

<http://www.cpepweb.org> or <http://www.seadventure.org/>

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

### 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.univer->



## تاریخچه ستاره‌شناسی

جی پاساچوف، ماگدا استیوانچی، مری کی همین وی، اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، 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 بوده است.
- 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 کرده است. در دوران باستان، ستارگان دیگر با قطب شمال زمین همسو بودند؛ یا گاهی اوقات، هیچ ستاره‌ای در مجاورت قطب وجود نداشت.

از زمانی که انسان‌ها به مشاهده‌ی آسمان پرداختند، به مرور متوجه شدند که برخی اجرام پرنور، همراه با ستارگان طلوع و غروب نمی‌کنند؛ صد البته، ماه درخشان‌ترین جرم آسمان شب یکی از آن‌ها بود. ماه هر شب یک ساعت دیرتر طلوع میکرد، در زمینه‌ی ستارگان جابه‌جا می‌شود و البته 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 جهت‌گیری 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

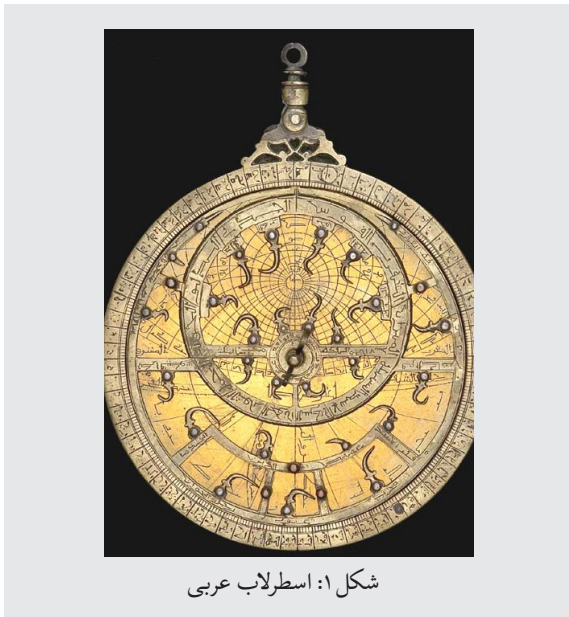
بیشتر یونانیان باستان از جمله ارسطو (۳۲۲ قبل از میلاد مسیح ۳۸۴ قبل از میلاد مسیح) گمان می‌کردند که زمین در مرکز عالم قرار دارد و جهان از چهار عنصر: زمین، آب، آتش و هوا تشکیل شده است و بعد از زمین عنصر پنجمی با نام اتر وجود دارد که منشأ نقاط نورانی در آسمان است.

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 باز ایستاده، و در جهت خلاف با ستاره‌ها شروع به حرکت می‌کنند. این حرکت که در جهت خلاف حرکت مستقیم بود، حرکت برگشتی یا رجعی نامیده شد.

ستاره‌شناس یونانی، بطلمیوس، در قرن دوم میلادی (حدود ۹۰-۱۶۰) 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 دایره‌های کوچک، سرعت حرکت آنها به عقب بیشتر از حرکت مراکز این دایره‌ها 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 بر روی زمین، آسمان را نظاره کرده‌اند و اجرام سماوی را برای خود نام‌گذاری کردند. آن‌ها از این



شکل ۱: اسطرلاب عربی

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 نورانجام 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

### قاره‌ی 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 تراز شده با آسمان، شواهدی از استفاده‌ی آسمان در زندگی روزمره آن‌ها را ارائه می‌دهد.

#### ستاره‌شناسی مایان

مایا، تمدنی در آمریکا مرکزی است، که نه تنها به علت زبان مکتوب پیشرفته پیش از دوران کلمبی، بلکه به علت هنر، معماری و سیستم‌های 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 تا ۹۰۰ 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 زینت 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 زینت دو بار در سال به فاصله مساوی از انقلاب می‌رسند.



شکل ۲: ناهید در تمدن مایان، از خورشید نیز مهم تر 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 سرزمین ها 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 آرتک‌ها، تقویم مایان، بهترین مستند است و به صورت کامل فهمیده شده است.

### ستاره‌شناسی آرتک

آرتک‌ها، 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 آرتک، در ابتدا از طریق یافته‌های باستان‌شناسی در حفاریات 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 آرتکی توسط کشیش اسپانیایی و ادبیات آرتکی به زبان اسپانیایی یا ناهواتلی برجای مانده است.

تقویم آرتکی یا همان سنگ خورشید، نخستین چیزی است که از فرهنگ پیش اسپانیایی در مرکز و آمریکای جنوبی باقی مانده است. اعتقاد بر این است که حدود ۱۴۷۹ حک شده‌اند. این اثر شامل یک دایره‌ی یکپارچه با چهار دایره‌ی متحد‌المركز است. در مرکز چهره‌ی توناتیو (خدای خورشید) با چاقویی در دهان و پشم تزئین شده است. چهار خورشید

یا جهان‌های اولیه، در شکل‌های مربع‌گونه، در کنار خورشید پنجم در مرکز قرار گرفته‌اند. 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 در نظر گرفته می‌شد.

به مانند بسیاری از تمدن‌های قدیم، آرتک‌ها نیز برای ستارگان پرنور نام‌هایی انتخاب کرده بودند. مانند: مامالهورتلی (کمر بند شکارچی)، تینکویتلی (خوشه‌ی پروین)، سیتلاتاچتلی (دوپیکر)، سیتلاکولوتا (عقرب). دنباله‌دارها را ستاره‌های دودی می‌نامیدند.

دوره‌های بزرگ در کیهان‌شناسی آرتکی 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 ورشته 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 می‌توانستند 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 شدن ۳۶۵ روز سال خورشیدی، مربوط به زمانی است که خوشه ی پروین از این شهر دیده 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 قرن ها ستاره شناسان هند، جنبه های مختلف علم نجوم را مطالعه کردند و با سایر فرهنگ ها ارتباط برقرار نمودند. ذات الحلق (اسطرلاب گوی شکل) و اشاره گر از ابزارهای پر کاربرد آن ها بود.

تقویم هندی، از زمان های قدیمی مورد استفاده قرار می گرفته است و تغییرات بسیاری را در تحولات منطقه ای تحمل کرده است، امروزه همراه با تقویم ملی هند، تقویم های محلی مختلفی نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در تقویم هندی، روز با طلوع محلی خورشید آغاز می شود.

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

## چینی

چینی ها یکی از دقیق ترین و پیوسته ترین رصدگرهای آسمان قبل از مسلمانان هستند. ثبت جزییات رصد از دوران جنگ ها (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 سلسله ی تانگ (۶۱۸ تا ۹۰۷) رخ داد. ستاره شناسی، با ورود تکنولوژی و نجوم غربی توسط راهبان

مسیحی، دوباره در چین زنده شد. تلسکوپ در قرن ۱۷ به آن جا وارد شد. برخی از ابزارهایی که توسط چینی ها ساخته شده اند، عبارتند از: ذات الحلق، کره ی سماوی، قطب نما. چینی ها بیشتر تمرکز خود را معطوف به جنبه های رصدی آسمان کرده بودند تا مباحث نظری. با توجه به نوشته های جسیوس، کسی که در قرن ۱۷ از پکن دیدن کرده است، چینی ها تاریخ کاملی از انفجار ابرنواخترها، گرفت ها و دنباله دارها را، از ۴۰۰۰ سال پیش از میلاد، در اختیار دارند.

در ۲۳۰۰ پیش از میلاد، آن ها 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 لکه های خورشیدی را تشریح کردند و آن ها 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 سال های ۲۴۰ و ۱۶۴ پیش از میلاد مسیح، دنباله دار هالی را رصد نمودند. در سال ۱۰۰ پیش از میلاد مسیح، چینی ها قطب نما را برای تعیین جهت شمال اختراع نمودند.

بعدها، جابه جایی 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 می شد. این درخشان ترین ابرنواختر ثبت شده است. در سال ۱۰۵۴ ابرنواختر دیگری مشاهده شد؛ که امروزه سحابی خرچنگ حاصل آن است.

آسمان چینی ها با غربی ها تفاوت داشت. استوای سماوی را به ۲۸ قسمت تقسیم و هر بخش را یک خانه نامیده بودند. آسمان آن ها شامل ۲۸۴ صورت فلکی با نام هایی 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 می کند نیست؛ اما به خوبی توانست اندازه گیری دقیقی بین ستاره ی قطبی و شمال واقعی انجام دهد که در دریاوردی نیاز بود. شن خو و وی پو پروژه ای برای رصد شبانه تهیه و پنج سال متوالی به رصد آسمان پرداختند، کار عظیمی که با مشاهدات بعدی تیکو براهه رقابت می کند. آن ها، مکان دقیق سیارات را بر روی نقشه ی ستارگان مشخص کردند. برای حرکت سیارات از جمله حرکت بازگشتی، نظریه هایی مطرح نمودند.

## اروپای غربی

بطلمیوس نبود.

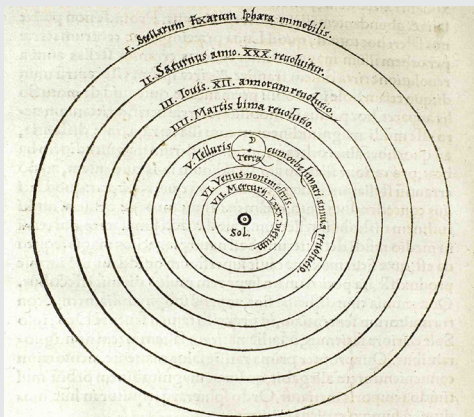
پس از سقوط رم، دانش جمع شده توسط یونانیان به سختی از طریق کار کپی برداری راهبان منتقل می شد. (نسخه های خطی برای راهبان مفهومی نداشت.) سرانجام، با ظهور مدارس کلیسای جامع و اولین دانشگاه ها، دانشمندان شروع به حل معماهایی کردند که علم ارائه می داد. از طریق تجارت (و غارت)، نسخه های خطی جدیدی از شرق، طی جنگ های 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 آن ها باشد، استخراج کنند.

### نبوغ ریاضی: نیکلاس کوپرنیک هلندی

در ابتدای سال های 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 می دهد. حرکت برگشتی در واقع یک خطای دید است که به هنگام عبور سیاره ی دیگر رخ می دهد. مانند زمانی که شما در ترافیک ایستاده اید و به ماشین سمت راست خود نگاه می کنید، با اولین حرکت شما، ممکن است احساس کنید که سایر ماشین ها حرکت می کنند.

کوپرنیک ایده ی خود را با ریاضیدانان به اشتراک گذاشت، اما آن ها را منتشر نکرد، تا این که دانشمند جوانی به نام جورج رتیکوس، او را متقاعد به انتشار کرد و هماهنگی های لازم برای چاپ آن در شهر دیگری را فراهم آورد. نسخه ای از کتاب Revolutionibus Orbium Celestium در سال ۱۵۴۳ زمانی به دست کوپرنیک رسید که او در بستر مرگ بود. او احتمالاً هرگز پیش گفتار بدون امضا ناشر، که پیشنهاد می کرد 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 نظر گرفت. کتاب او از ساختار کتاب بطلمیوس پیروی می کرد، اما تحت تاثیر فیثاغورث نیز بود.

کتاب کوپرنیک، احتمالاً حاوی مهم ترین تصویر تاریخ علم است. او خورشید را در مرکز و سایر دایره ها را به دور آن ترسیم کرد. کوپرنیک سرعت حدود سیارات را به دور خورشید، از روی میزان سریع جابه جا شدن آن ها در آسمان محاسبه کرد. بنابراین سیارات را در مکان و فاصله های نسبی صحیح خود قرار داد: تیر، ناهید، زمین، بهرام، برجیس، کیوان. اما محاسبات او در مورد پیش بینی موقعیت سیارات، بهتر از روش



شکل ۳: نمودار کوپرنیک ابتدا خورشید را در مرکز آنچه اکنون سیستم خورشیدی می نامیم نشان می دهد. این نمودار از چاپ اول De Revolutionibus Orbium Celestium (در مورد انقلاب های گوی های آسمانی) است که در سال ۱۵۴۳ منتشر شده است.

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 می دهد (شکل شماره ۴). دیگس همچنین نشان داد که ستاره ها در فاصله ی متفاوتی از منظومه شمسی قرار دارند و تنها روی یک فلک قرار نمی گیرند.



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، تیکو براهه، در جزیره ای 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، دقیق ترین رصدها از موقعیت سیارات و ستارگان تا آن زمان را انجام داد.

خانه ی تیکو براهه، به عنوان پیشگام دانشگاه های امروزی، محل حضور دانشمندان و کار کردن آن ها با او بود. او ابزارهای دقیقی برای اندازه گیری دقیق موقعیت ستارگان و سیارات ساخت و نتایج را ثبت نمود.

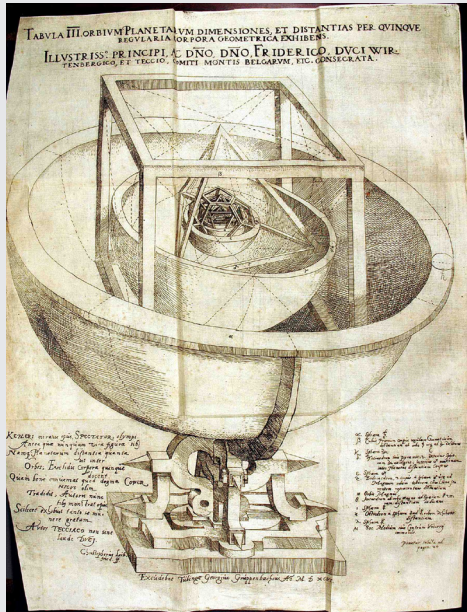
اما تعصب علمی او موجب شد تا برخی از فرمان های پادشاه را نادیده بگیرد. با روی کار آمدن شاه و ملکه ی جدید، او مجبور به ترک جزیره شد. او تصمیم گرفت که به پراگ در اروپا مهاجرت کند و صفحات چاپ شده، یادداشت ها و ابزارهای قابل حمل را با خود ببرد.

براهه، موفق به ارتقاء دقت در مشاهدات علمی شد. رصدهای دقیق او از یک دنباله دار 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 می گردند. تیکو براهه همچنان از فلک ها استفاده کرد، اما او اجازه داد که فلک ها 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 دنباله دار و ماه گرفتگی و علاقمند شدن به نجوم بود را به یاد می آورد. او دریافت شش سیاره را می توان با پنج شکل با اضلاع برابر که تو در تو قرار گرفته اند و با کره هایی جدا می شوند، 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 کاملاً 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 معتبرنگه داشته ایم.

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 داده های او، اقدام به محاسبات نمود. سپس براهه به یک مهمانی رسمی دعوت شد و بیش از حد نوشید. چنان که در روایت آمده، آداب معاشرت مانع از آن می شود که میز را ترک کند و مثانه ی او آسیب می بیند. او مرگ سریع و دلخراشی داشت که در گزارش های روزانه به دقت آمده است.

اما کپلر به اطلاعات به سرعت دست نیافت. اطلاعات، یکی از معدود موارد ارزشمندی بود که فرزندان تیکو به ارث می بردند، 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 آن ها را بهینه کند. برای این منظور او حتی جدول لگاریتمی خاص خود را بدست آورد.

داده های دریافتی کپلر، یادداشت های تیکو از جابه جایی 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 دایره ای 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

برحسب واحد نجومی، که در رابطه با میانگین فاصله‌ی زمین تا خورشید برابر با ۱۵۰ میلیون کیلومتر است، بدست آورند.

Mercury	۰,۳۸۷ AU	۰,۲۴۰ year
Venus	۰,۷۲۳ AU	۰,۶۱۵ year
Earth	۱ AU	۱ year
Mars	۱,۵۲۳ AU	۱,۸۸۱ years
Jupiter	۵,۲۰۳ AU	۱۱,۸۵۷ years
Saturn	۹,۵۳۷ AU	۲۹,۴۲۴ years

جدول: ستون اول را مربع و ستون دوم را مکعب کنید. شما میبینید که تقریباً 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 بین‌المللی ستاره‌شناسی به عنوان سال جهانی نجوم انتخاب شد. گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲) پروفیسوری در پدوا، 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 آمریکا، 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 می‌داد. (عکس از Jay M. Pasachoff).

از دستاوردهای 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 ستاره‌شناسی 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 فاصله‌ی 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 هم‌مانگ 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

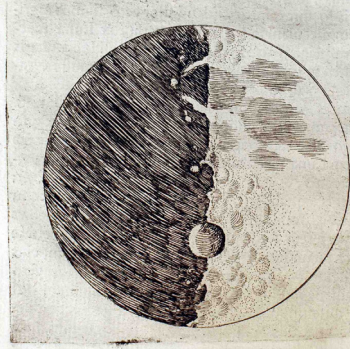
۱۶۱۰ منتشر نمود. از زمان ارسطو و بطلمیوس، فرض بر این بود که زمین در مرکز عالم قرار دارد و ارسطو معصوم است. اما کشف قمرهای مشتری نشان داد که ارسطو نیز خالی از اشتباه نیست و ضربه‌ای محکم به نظریه زمین مرکزی و دلیل محکمی برای اثبات نظریه کوپرنیک بود.

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 می‌چرخند.

ستاره‌شناسان حتی به کمک یک تلسکوپ بزرگ زمینی، نمی‌توانند تصویر واضحی از سطح قمرهای گالیله‌ای بدست آورند. تنها با عبور ماهواره‌های پایونر ۱۰ و ۱۱، و بعدها ویجر ۲ و 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 محدودیگر 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 می‌کرد و از آزادی کمتری نسبت به جمهوری ونیز برخوردار بود. گالیله به نوشتن در زمینه‌های مختلف مثل لکه‌های خورشیدریال دنباله دارها، اجرام شناور و... ادامه داد. برخی از کارهای او برخلاف دیدگاه‌های 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 نمی‌کرد، با وجود این که مدل ترکیبی تیکو می‌توانست فازه‌های 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

tur magna macula, quam clariore plaga; in illa enim tam crescente, quam decrecente semper in lucis tenebrarumque confusio, prominente hinc inde circa ipsas magnas maculas contermini partis lucidioris; veluti in describendis figuris obseruauimus; neque depresso tantummodo sunt dictarum macularum termini, sed aequabiliores, nec rugis, aut asperitatibus interrupti. Lucidior vero pars maxime prope maculas eminet; adde ut, & ante quadraturam primam, & in ipsa ferme secunda circa maculam quandam, superiorem, borealem nempe Lunę plagam occupantem valde attollantur tam supra illam, quam infra ingentes quaedam eminentiæ, veluti apposite præferunt, delineationes.



شکل ۷ ب: تصویری از کتاب Sidereus Nuncius (پیام رسان ستاره‌ای گالیله) که در سال ۱۶۱۰ منتشر شد طرحی از ماه که توسط گالیله ترسیم شده است را نشان می‌دهد. این کتاب به زبان لاتین، زبان دانشمندان اروپایی نوشته شده است و شامل بررسی گسترده‌ای از حرکات نسبی چهار قمر 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 بخش‌هایی از ماه را رصد کند و از عوارض سطحی آن آگاه شود. به علت آموخته‌های خود در نقاشی، متوجه شد که آن ارتفاع‌ها و سایه‌ها در واقع کوه‌ها و دهانه‌های ماه هستند. به کمک طول سایه و تغییرات 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 علاقه‌ای 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

شد و تا پایان عمر در خانه به سر برد.

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 شده است، 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 چند سال بعد نتایج آن را در مشهورترین کتاب خود با عنوان "اصول ریاضی 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



شکل ۸: 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)، درونیز قرار گرفت. در این جا بزرگداشت مربوط به نمایش تلسکوپ گالیله به نجیب زادگان و نیز 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)



شکل ۹: خود گالیله از دیدن آنچه فضایی‌های 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 شده است. دومین اروپا است، مظنون اصلی یافتن حیات فرازمینی به دلیل اقیانوس زیر لایه یخی صاف است که می‌بینیم. سومین گانیمید 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 (۱۶۴۲-۱۷۲۷)،

است. نظریه نسبییت انیشتین نشان داد که نه تنها کهکشان ما در مرکز عالم قرار ندارد، بلکه مفهوم مرکزیی معنا است. کشف صدها فراخورشیدی که به دور ستارگان دیگر در حال چرخش هستند نشان داد که منظومه‌ی ما چقدر غیر عادی 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.solarcorona.com)
- <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>
- <http://www2.astronomicalheritage.net>



## منظومه شمسی و سیارات فراخورشیدی

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

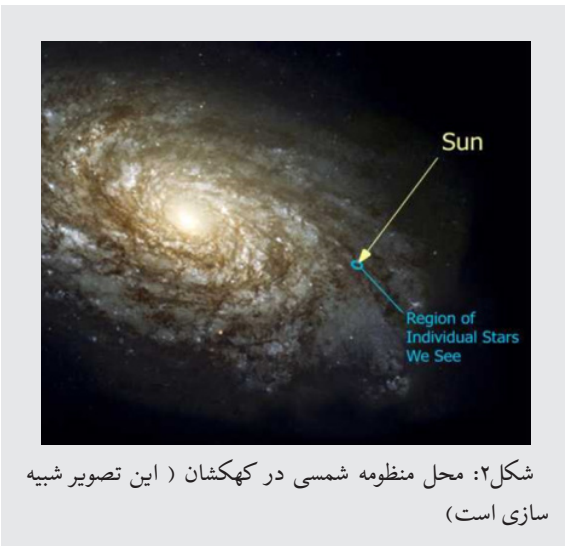
برهمکنش دارند، تعریف می‌شود.

منظومه ی شمسی به صورت مجموعه ای متشکل از یک ستاره ی 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 نسبتاً کم است.



شکل ۲: 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 (تقریباً 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

### 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 کویپر و ...
- به صورت گسترده، هر ستاره 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 ..) که براساس یک سری از اصول یا قوانین با هم

چرخش هستند. این کوتوله با نام پروکسیما قنطورس، در فاصله ۴٫۲۵ سال نوری، نزدیک ترین ستاره به خورشید است. ککهکشان ما، بخشی از گروه ککهکشانی با نام گروه محلی است. گروه محلی از سه ککهکشان بزرگ و ۳۰ ککهکشان کوچک تر تشکیل شده است. ککهکشان ما شکلی مارپیچی و بسته دارد. بازوهای مارپیچی از انتهای میله خارج شده و از مجموعه ای از ستاره ها تشکیل شده اند، میان سایر اجرام، ماده ای میان ستاره ای، سحابی و ستارگان جوانی وجود دارند که به صورت پیوسته در حال تشکیل هستند. مرکز ککهکشان شامل مجموعه ای از ستارگان پیر در گروه های کروی شکل است. در ککهکشان ما حدود ۲۰۰ گروه از این نوع وجود دارد که تا کنون ۱۵۰ عدد از آن ها شناسایی شده اند. این گروه ها به صورت عمده پیرامون مرکز ککهکشان متمرکز هستند. منظومه شمسی در حدود ۲۰ سال نوری بالاتر از صفحه ی استوایی ککهکشان و در فاصله ۲۸٫۰۰۰ سال نوری از مرکز ککهکشان قرار دارد. مرکز ککهکشان راه شیری در امتداد صورت فلکی قوس و در فاصله ی ۲۵٫۰۰۰ تا ۲۸٫۰۰۰ سال نوری از خورشید قرار دارد.

### پیدایش و سیر تکامل منظومه ی شمسی

بر اساس نظریه استاندارد، منظومه شمسی ۴٫۶ میلیارد سال پیش بر اثر برهم کنش های گرانشی بین گاز میان ستاره ای 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.

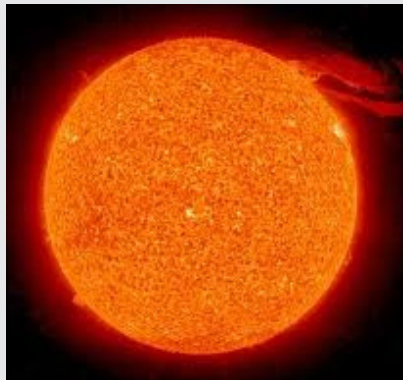


شکل ۳: طرحی از شکل گیری منظومه شمسی با توجه به نظریه استاندارد، بر اساس فرضیه سحابی که نخستین بار توسط کانت و لاپلاس در قرن ۱۷ پیشنهاد شد.

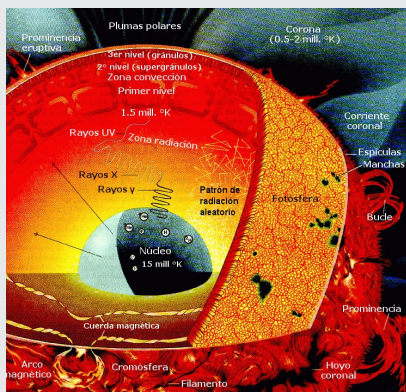
پایستگی اندازه حرکت زاویه ای موجب شد که سحابی سریع و سریع تر چرخیده و در مرکز آن پیش ستاره و در پیرامون آن دیسک های گاز و غبار پیش سیارات شکل بگیرند. در دیسک پیش سیاره ای، خرده سیاره های کوچک به خورده، طی فرایند جمع شدن، سیاره را شکل داد. (؟) فرضیه سحابی اولیه، در سال ۱۷۵۵ توسط امانوئل کانت و به صورت جداگانه توسط پیرسایمون لاپلاس پیشنهاد شد. نظریه استاندارد (بر پایه فرضیه پیشنهادی توسط کانت و لاپلاس) پیش سیاره و مدار شبه دایره ای را توصیف می کند و با مشاهدات حاصل از چندین سیستم سیاره ای پیرامون ستاره های دیگر نیز انطباق دارد.

خورشید ستاره ای با جرم متوسط و عمری نزدیک به ۴٫۶ میلیارد سال است. هم اکنون خورشید در میانه ی چرخه ی تکامل خود قرار دارد؛ یعنی در هسته ی آن بر اثر فرایند هم جوشی هسته ای، هیدورژن به هلیوم تبدیل می شود. در هر ثانیه، در هسته ی خورشید، بیش از ۴ میلیون تن ماده به عناصر سنگین تر و انرژی، نه تنها هلیوم، هم چنین نوترینو و امواج الکترومغناطیس تبدیل می شود.

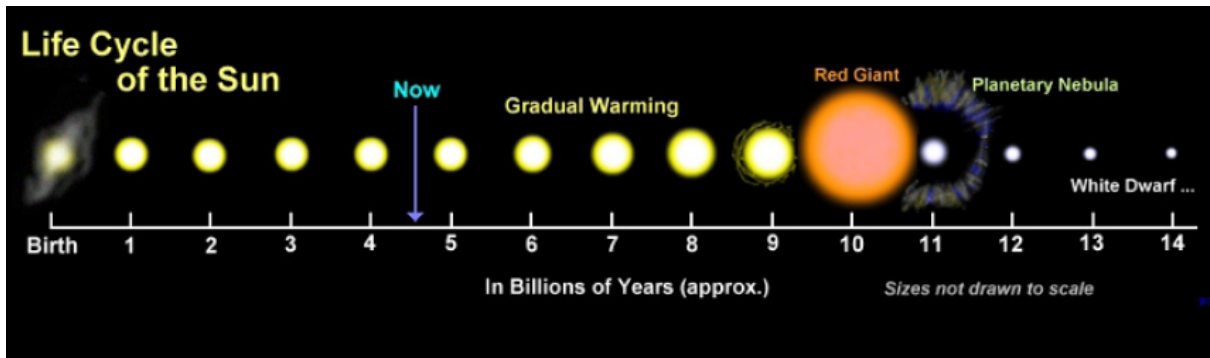
خورشید به صورت عمده از هیدورژن (۷۴٪)، هلیوم (۲۵٪) و به مقدار اندکی عناصر سنگین تشکیل شده است.



شکل ۳: خورشید در بخش فروسرخ



شکل ۴: ساختار داخلی خورشید



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

## چرخه ی 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 می کنیم.

در پروژه های ابتدایی باز آرایشی منظومه شمسی، سیارات کوتوله به عنوان زیر مجموعه ی سیارات در نظر گرفته شد، اما به دلیل اینکه باعث افزودن ده ها سیاره ی جدید به منظومه می شد، 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 شده اند.

تعریف مطرح شده برای سیارات و اجرام کوچک، در خارج از منظومه شمسی، جایی که اجرام کوچک را با تکنولوژی فعلی نمی توان شناسایی کرد، کاربرد ندارد. سیارات فراخورشیدی با توجه به راهبرد پروژه تکمیلی تعریف سیارات در سال ۲۰۰۳ که باعث تشخیص آن ها از ستاره های کوتوله که بزرگ تر و پر جرم تر هستند، شد.

**هشت سیاره منظومه شمسی را به صورت های زیر می توان دسته بندی کرد:**

چهار سیاره ی زمین مانند در ناحیه ی داخلی منظومه شمسی (تیر، ناهید، زمین و بهرام).

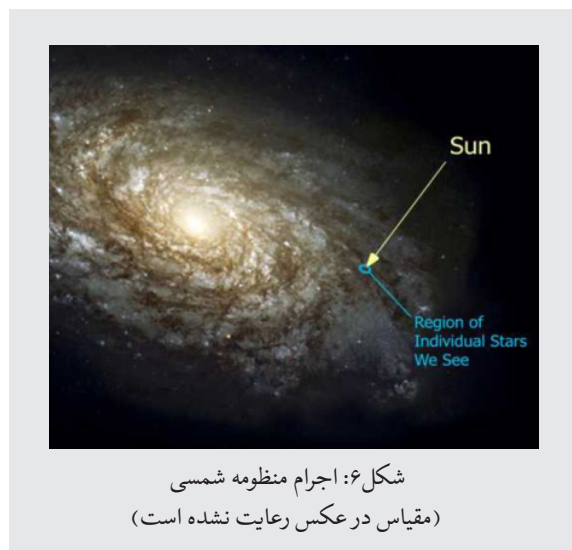
- سنگی با چگالی تقریب ۴ تا ۵ گرم بر سانتی متر مکعب .  
۴ سیاره ی گول پیکر در قسمت بیرونی منظومه شمسی، که به صورت زیر تقسیم بندی می شوند.

گول های گازی: مشتری و کیوان. به صورت عمده از هیدروژن و هلیوم و ترکیباتی شیمیایی مشابه خورشید.

گول های یخی: اورانوس و نپتون. یخ تشکیل شده از گازهای غالب. ترکیب شیمیایی متفاوت با خورشید.

سیارات گول پیکر بسیار سبک تر از سیارات زمین مانند بوده. چگالی آن ها بین ۰٫۷ (زحل) تا ۲ گرم بر متر مکعب است.

سیارات گازی، در بازه ی زمانی ده میلیون سال تشکیل شدند (سیارت زمین مانند در طی ۱۰۰ میلیون سال). آن ها یک جا ساخته نشدند، بر اثر تغییر اندازه حرکت زاویه ای بین گول های سیاره ای در حال شکل گیری و پیش سیاره ها، رخ



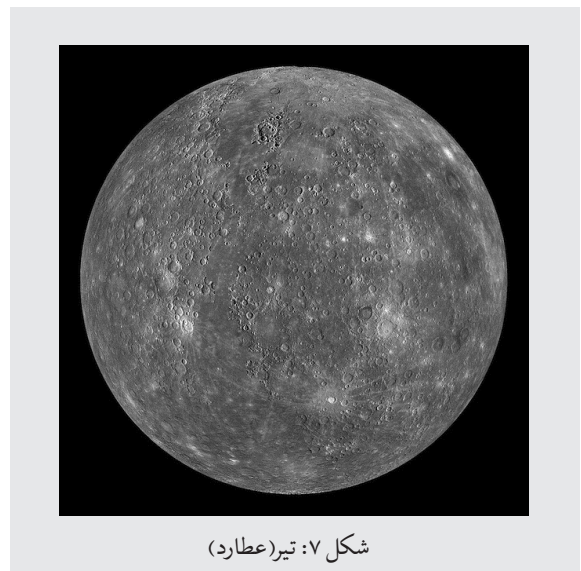
شکل ۶: اجرام منظومه شمسی (مقیاس در عکس رعایت نشده است)

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

۱. در یک مدار به دور خورشید بچرخد.
  ۲. دارای جرم کافی برای برقراری تعادل هیدرواستاتیک و تقریباً 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 می شوند.
- بر اساس تعریف اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، سیارات و سیارات کوتوله دو نوع متفاوت از اجرام می باشند. اجرام غیر قمری که تنها اولین ویژگی را داشته باشند، به عنوان اجرام کوچک منظومه شمسی شناخته می شوند، مانند: سیارک ها.

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 (شبهانه روز)، دوره حرکت انتقالی (سال)، ترکیب شیمیایی 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 در ناحیه 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 غیر مسلح آن را می‌توان دید. در قرن ۱۷ با تلسکوپ رصد شد و دو کاوشگر ماریتر ۱۰ (سه بار در سال‌های ۱۹۷۴-۱۹۷۵) و مسنجر (دو بار در سال ۲۰۰۸) به سمت آن پرتاب شده‌اند.

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: کوچکترین و نزدیک سیاره به خورشید. بیشترین خروج از مرکز ( $e=0.047$ )، انحراف نسبت به دایره البروج ۷ درجه. دوره سیینودیک 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، ستاره ی عصرگاهی نامیده می‌شود). در هر کدام، کشیدگی بیشتر از ۲۸ درجه نخواهد بود.

شعاع کوچک ۲۴۴۰ کیلومتری موجب می‌شود که نه تنها کوچکترین 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 (۵/۵ گرم 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 غیر عادی و بسیار نازک متشکل از اکسیژن ۴۲٪، 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 فراگرفته است.

تیر، داری میدان مغناطیسی قابل توجه ای در حدود ۱/۱۰۰ میدان مغناطیسی زمین است. این میدان موجب پیدایش مغناطیس کره با شعاع ۱/۵ برابر سیاره شده است، در مورد زمین این مقدار ۱۱/۵ 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 غیر معمول است. به هنگام عبور از حضیض در استوا دما به حدود ۴۲۷ سانتی گراد می‌رسد، دمایی که فلز روی در آن ذوب می‌شود. هر چند 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 تابش های 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.

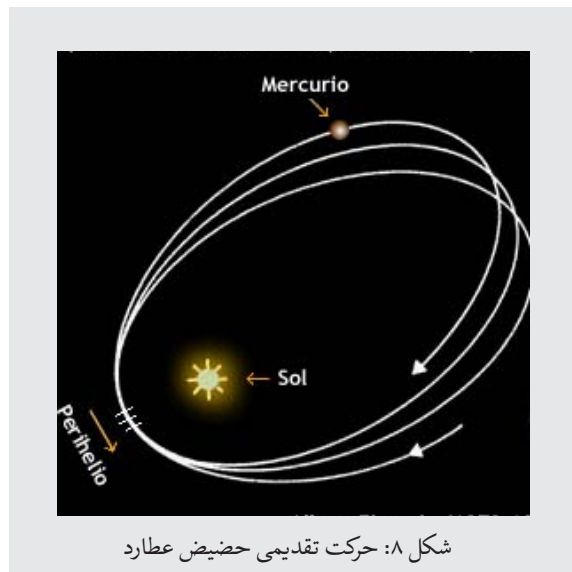
دهانه‌های تیر، از لحاظ ریخت شناسی بسیار شبیه به

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

تاثیرات ناشی از برخورد حوضه، فاجعه بارتین 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 قطر ۱۵۵۰ کیلومتر ایجاد کرد.

### حرکت تقدیمی حضيض تیر

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



شکل ۸: حرکت تقدیمی حضيض 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 سیاره‌ای است که دوره‌ی حرکت چرخشی آن از دوره‌ی حرکت انتقالی آن بیشتر است. این سیاره پرنورترین جرم آسمان بعد از خورشید و ماه

است.

مسیر ناهید به دور خورشید، تقریباً 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.

اندازه‌ی سیاره ناهید، تقریباً مشابه زمین است. اتمسفر بسیار غلیظ دارد. ترکیبی از دی اکسید کربن و ابرهای غلیظ دی اکسید سولفور موجب ایجاد بزرگ ترین اثر گلخانه‌ای منظومه شمسی روی آن با دمای ۴۶۰ درجه سانتی گراد شده است. هرچند که فاصله‌ی 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 تقریباً یکنواخت است. اگرچه میدان مغناطیسی آن بسیار ضعیف است، اما در سال ۱۹۹۷، فضانپیمای 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.

و گذر بعدی در ۱۱ دسامبر 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. نظریه های 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 می شود.



شکل ۱۱: 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 می گذارد. همه ی اجرام کره ی زمین، به وسیله زمین جذب شده اند. نیروی جذب کننده، با نام جاذبه و شتابی که موجب سقوط اجرام در میدان مغناطیسی می شود، شتاب جاذبه نامیده می شود ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) یک اعتقاد عمومی برای تشکیل اقیانوس ها بارش دنباله دارها 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 می شود.

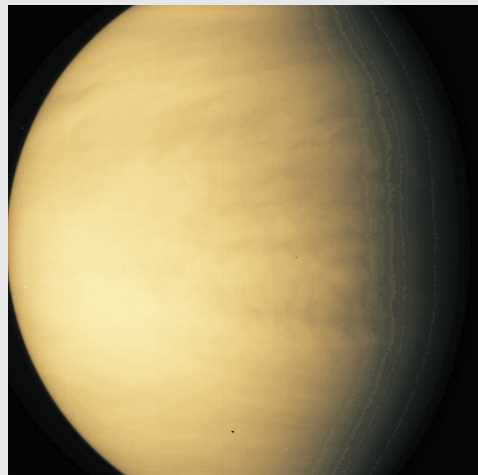
فشار اتمسفر در سطح ۱۰۱,۳ kPa است. اتمسفر به صورت عمدتاً از ۷۸٪ نیتروژن، ۲۱٪ اکسیژن، ۰,۹۳٪ آرگون، ۰,۰۴٪ کربن دی اکسید و ۱٪ بخار آب تشکیل شده است.

### بهرام

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



شکل ۹: عکس از سطح ناهید (ماموریت مازلان)



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

ناهید، خواهر دو قلوبی زمین، مقایسه:

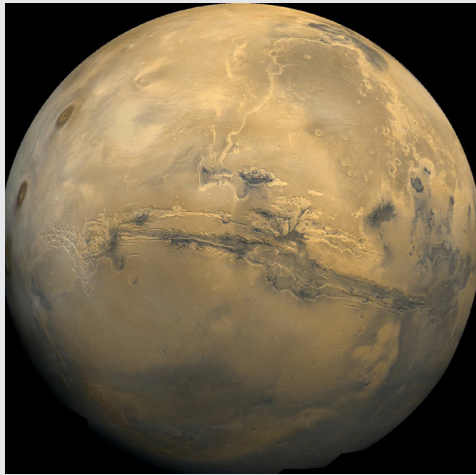
هر دو سیاره در یک زمان و از گاز و ابر غبار مشابه در ۴,۶ میلیارد سال پیش ساخته شده اند  
هر دو در دسته ی سیارات داخلی قرار می گیرند.  
سطح هر دو دارای عوارض متنوعی همچون: کوه ها، دشت ها، دره ها، آتش فشان ها، دهانه های برخوردی هستند.  
هر دو تعداد کمی گودال دارند، که نشان دهنده ی سطح جوان و اتمسفر غلیظ است.  
دارای ساختار شیمیایی یکسان می باشند.

### گذر ناهید

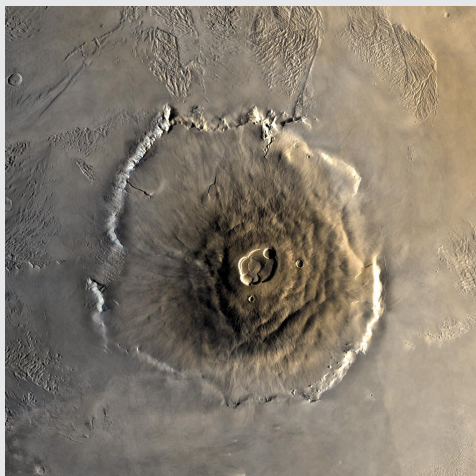
به هنگام گذر ناهید از بین خورشید و زمین، سایه ی ناهید از مقابل قرص خورشید رد می شود، این پدیده گذر نامیده می شود. به علت انحراف محور ناهید در مقایسه با زمین این پدیده دوبار در هر قرن و به فاصله ی هشت سال رخ می دهد (۱۰۵,۵ و ۱۲۱,۵ سال). آخرین گذرها در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۲ رخ داد

زمینی طولانی تراست. 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 می رسد.



شکل ۱۲: مریخ



شکل ۱۲: کوه المپیوس

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

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 ماموریت های فضایی متعددی به قصد شناسایی جغرافیا، آب و هوا، ساختار زیرین، وجود آب و شاید نشانه هایی 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 می شود به علت ترکیبات سازگاری که دارد از مشتری پیشی می گیرد. (تناقض) در میان اجرام منظومه شمسی، سیاره ی سرخ بیش از همه مورد توجه نویسندگان داستان های علمی تخیلی قرار دارد. مهم ترین دلیل آن، وجود کانال هایی است که اولین بار در سال ۱۸۵۸ توسط حیوانی شیپرلی نام گذاری شدند. اگرچه امروزه می دانیم که آن دیدگاه ها 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 کنیون ها (دره ی مانیرها)، به عمق ۶ کیلومتر.

هسته ی 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. احتمالاً 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- کیلو پاسکال، از ۹۵،۷۲٪ دی اکسید کربن، ۲،۷٪ نیتروژن، ۱،۶٪ آرگون، ۰،۲٪ اکسیژن، ۰،۷٪ کربن موناکسید، ۰،۳٪ بخار آب، ۰،۱٪ نیتریک اسید و مقادیر ناچیزی از نئون، کریپتون، فرمالدهید، زنون، اوزون و متان تشکیل شده است.

دو قمر طبیعی مریخ، با نام های فوبوس و دیموس، سیارک های جذب شده توسط سیاره هستند. قطر مریخ دو برابر کمتر از زمین، و سطح آن برابر با قاره ها است. جرم آن یک دهم زمین است. اگرچه جرم مریخ دو برابر تیراست، اما جاذبه ی آن کمتر از تیراست.

یخ های 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 کلاهک های قطبی آن در طول فصل ها می شود. روز مریخی ۳۹ دقیقه از روز

## 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 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 و کالیستو (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، ۱۶ فقط قمر برای مشتری کشف شده بود، البته در حال حاضر ۶۰ قمر برای این سیاره ثبت شده و همچنان در حال افزایش است.

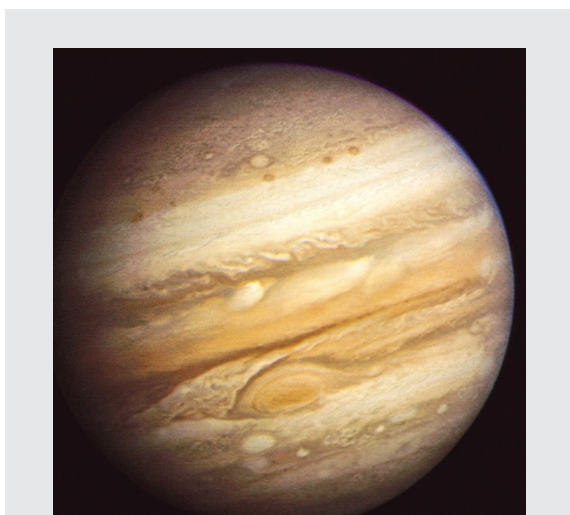
به مانند سایر سیارات این سیاره هسته‌ای جامد با جرمی بیش از ۱۰ تا ۱۵ برابر جرم خورشید دارد. بر روی هسته، قسمت مهم سیاره، که از هیدروژن مایع فلزی است، قرار داد. به علت دما و فشار داخلی مشتری، هیدروژن به صورت گاز وجود ندارد. این ماده هادی الکتریکی و منشا میدان مغناطیسی مشتری است. این لایه شامل مقداری هلیوم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

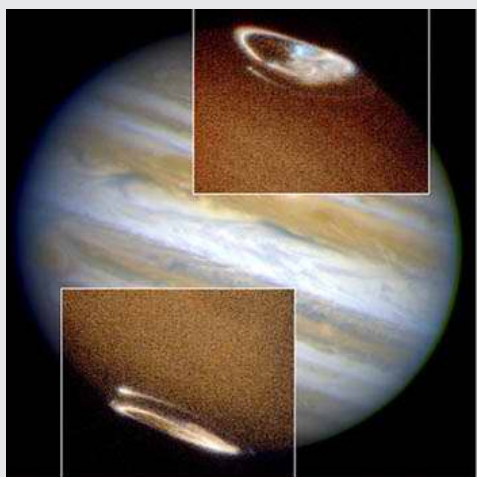
لکه سرخ یا چشم مشتری، یکی از بازرترین ویژگی‌های مشتری است که از مشاهده‌ی آن با تلسکوپ‌های زمینی بیش از ۳۰۰ سال می‌گذرد. این پدیده، یک بیضی با ابعاد ۲۵۰۰۰ در ۱۲۰۰۰ کیلومتر است و می‌تواند دو زمین را در دل خود جای دهد. در این ناحیه فشار بالاتر و ارتفاع ابرهای بیشتر و رنگ‌ها نسبت به پیرامون بسیار شاخص تر 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 بادهای در هر نوار با نوار مجاور مخالف است. تفاوت دما یا ترکیب شیمیایی موجب تفاوت در رنگ نوارها است. اتمسفر مشتری بسیار آشفته است. وزش بادهای به مانند زمین ناشی از گرمای درونی سیاره و نه خورشید است. فشار سطحی اتمسفر ۲۰-۲۰۰ است (لایه‌های ابر) و ترکیب شیمیایی آن از ۹۰٪ هیدروژن، ۱۰٪ هلیوم، ۳٪ متان، ۰٫۳۶٪ آمونیوم، ۰٫۰۰۳٪ دیوتریوم، ۰٫۰۰۰۶٪ اتان، ۰٫۰۰۰۴٪ آب است. همچنین یخ‌های: آمونیوم، آب و آمونیوم هیدروسولفید.



شکل ۱۳: مشتری

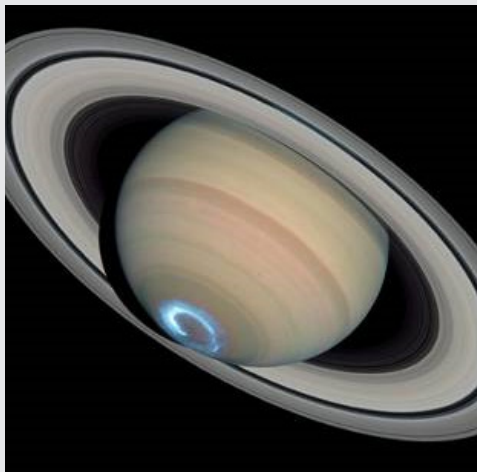


شکل ۱۳: شفق‌های قطبی بر روی مشتری (عکس از تلسکوپ فضایی هابل)

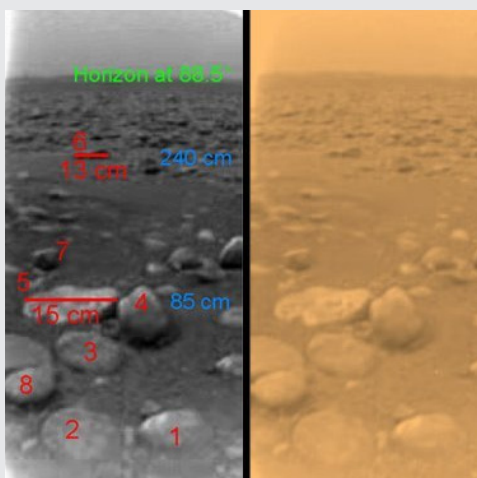
مغناطیس‌کره سیاره، بسیار شدید است و بیش از ۱۴ برابر زمین بوده و تا ۶۵۰ میلیون کیلومتری سیاره کشیده شده است (بعد از زحل). قمرهای مشتری در محدوده‌ی این اتمسفر قرار دارند و فعالیت‌های آیونیز با توجه به آن توضیح داده می‌شود. یک



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.



شکل ۱۴: شفق‌های قطبی زحل



شکل ۱۴: 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 اندازه‌ی کافی بزرگ بوده تا تحت تاثیر گرانش خود داری شکل کروی شوند. تیتان، بزرگ‌ترین آن‌ها، از تیرو پولوتون نیز بزرگ‌تر است و تنها قمر دارای اتمسفر غلیظ در منظومه

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 افتاده‌اند. این تابش‌ها مشابه تابش‌های کمربند وان آلن زمین هستند و می‌تواند موجب مرگ انسان‌های بی حفاظ شود. کاوشگر گالیله، تابش‌های جدیدی بین حلقه‌ی مشتری و لایه‌های بالایی اتمسفر آن کشف کرده است. این کمربند جدید ۱۰ برابر از کمربند وان آلن زمین قوی‌تر است و جالب است بدانید که شامل یون‌های هلیوم با انرژی بالا با منشأ ناشناخته است. مشتری به مانند کیوان دارای یک حلقه کوچک و تاریک است. احتمالاً از ذرات کوچک سنگی تشکیل شده است. به نظر نمی‌آید که دارای یخ باشد. احتمالاً 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 ریزشهاب‌ها با قسمت داخلی تغذیه می‌شوند.

## زحل

زحل یکی از غول‌های گازی منظومه 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 بزرگ‌تر 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 هسته‌ی آن چگال‌تر است.

این سیاره دارای شکل کروی مسطح است، در قطب‌ها تخت شده و در استوا کشیده‌تر. تفاوت قطر استوایی و قطبی تقریباً 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 مسطح‌شدگی دارند.

به مانند مشتری، جو زحل نیز از نوارهای موازی تشکیل شده است، البته این نوارها محوتر بوده و در استوا بزرگ‌تر هستند. سیستم ابری زحل، برای نخستین بار توسط ماموریت ویجر رصد شد. ابر مشاهده شده در سال ۱۹۹۰، نمونه‌ای یک لکه سفید بزرگ است که پدیده‌ای زودگذر بوده و هر سی سال رخ می‌دهد. طبق پیش‌بینی‌ها، 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.

شمسی است، که طی ماموریت کاسینی، کاوشگر هویگنس در سال ۲۰۰۴ به سمت آن پرتاب شد. این ماموریت نشان داد که چرخه ای مشابه آب بر روی زمین، در سطح تیتان برای متان رخ می دهد 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 و چهارمین 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 می توان 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.

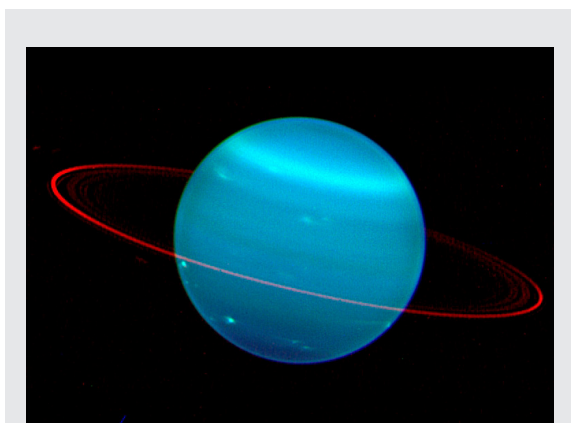
ساختار داخلی و اتمسفر اورانوس و نپتون در مقایسه با غول های گازی؛ مشتری و زحل متفاوت است. به همین دلیل، ستاره شناسان، برخی اوقات؛ آن ها را در دسته متفاوت غول های یخی یا ریزغول ها قرار می دهند.

اتمسفر اورانوس به صورت عمده از هیدروژن، هلیوم، مقادیر زیادی یخ آب، آمونیوم، متان و مقدار ناچیزی هیدروکربن تشکیل شده است. اورانوس سردترین دمای اتمسفر با حداقل ۲۲۴- درجه سانتی گراد را در منظومه شمسی دارا است. ابرهای این سیاره ساختار ترکیبی دارند، به طوری که لایه های پایین از آب و لایه های بالایی از متان تشکیل شده اند. به مانند سایر سیارات گازی، دارای حلقه، مغناطیس کره و تعدادی قمر طبیعی است. سیستم اورانوس در منظومه شمسی به علت قرار گیری محور چرخش بر صفحه ی حرکت انتقالی بسیاری نظیر است. در نتیجه قطب های شمال و جنوب این سیاره، در محل استوای سایر سیارات قرار داد. در سال ۱۹۸۶ ویجر ۲ عکس هایی از اورانوس تهیه کرد که در آن ها ویژگی های شاخصی در نور مرئی، لایه های ابریا سیستم ابری مانند آنچه در سایر سیارات گازی وجود داشت، دیده نمی شد. با این حال، با نزدیک شدن اورانوس به اعتدال خود در دسامبر ۲۰۰۷، مشاهدات جدید، آثاری از تغییرات فصول و افزایش فعالیت های آب و هوایی را نشان داد. سرعت باد در سطح این سیاره به ۲۵۰ متر بر ثانیه می رسد.

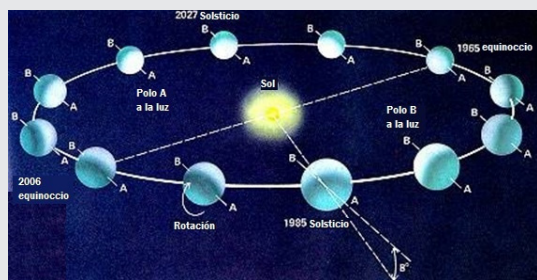
برخلاف سایر سیارات منظومه شمسی، محور چرخش اورانوس انحراف زیادی داشته و با صفحه ی چرخش آن موازی است. می توان گفت که پیوسته سیاره در حال چرخش است و قطب های آن به سمت خورشید هستند. یک نتیجه از این آرایش، دریافت انرژی بیشتر قطب ها نسبت به استوا،

می تواند باشد. اما به علت سازوکاری ناشناخته، مناطق استوایی گرم تر از قطب ها هستند. برخورد عظیمی در هنگام شکل گیری سیاره، دلیل احتمالی انحراف آن می تواند 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 لایه های داخلی اورانوس ۱۷ ساعت و ۱۴ دقیقه است. همچنین در لایه های بالایی اتمسفر، بادهایی سهمگینی هم راستا با چرخش در حال وزیدن هستند. در نتیجه، در حوالی عرض های ۶۰ درجه، قسمت های مرئی اتمسفر با سرعت بیشتری حرکت می کنند و یک دور کامل را در ۱۴ ساعت طی می کنند. فشار اتمسفر کمتر از ۱/۳ بار است و ترکیب شیمیایی آن عبارت است از: ۸۳٪ هیدروژن، ۱۵٪ هلیوم، ۲/۳٪ متان، ۰/۰۰۹٪ مقادیر ناچیز دتریوم و یخ های آمونیوم، آب، آمونیوم هیدروسولفید و متان.



شکل ۱۵: اورانوس



شکل ۱۵: مدار اورانوس

ما اطلاعات چندانی در مورد ساختار داخلی اورانوس نداریم، تنها می دانیم که ساختار آن با مشتری و زحل تفاوت دارد. بر اساس نظریه، این سیاره یک هسته از سیلیکات های آهن به قطر ۷۵۰۰ کیلومتر دارد که با لایه ای از یخ آب و هلیوم، متان و آمونیوم به قطر ۱۰۰۰۰ کیلومتر پوشیده شده است و سطح آن نیز لایه ای از هیدروژن و هیلوم مایع با قطر تقریبی ۷۶۰۰ کیلومتر

است.

به مانند سایر سیارات 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 ویجر ۲ رصد شد، لکه‌ی سیاه بزرگ با اندازه‌ای در حدود لکه‌ی سرخ مشتری، شگفت‌انگیزترین پدیده‌ای بود که طی آن مشاهده شد. حلقه‌های سیاره نپتون بسیار محو، تیره با منشا ناشناخته است. نپتون ۱۴ قمر طبیعی دارد. تربتون، مهم‌ترین قمر نپتون، ۱۷ روز پس از کشف نپتون توسط ویلیام لاسل کشف شد.

### سیارات کوتوله

#### پلوتو - چارن و ایریس

ده جرم در رده‌ی سیارات کوتوله دسته بندی شده اند. در این میان پلوتو (میانگین فاصله ۳۹ واحد نجومی) و قمرش چارن، به همراه ایریس که ابعاد آن نیز از پلوتو بیشتر است، که در این دسته بندی قرار می‌گیرند، بسیار جالب هستند. پلوتو در سال ۱۹۳۰ توسط کلاودیو تومبا به عنوان یک سیاره کشف شد و در آگوست ۲۰۰۶ در رده‌ی سیارات کوتوله قرار گرفت. انحراف مداری آن با دایره البروج ۱۷ درجه است. در حوضیض ۲۹٫۷ واحد نجومی و در اوج ۴۹٫۵ واحد نجومی فاصله دارد. چارن، بزرگ‌ترین قمر پلوتو، به اندازه‌ای بزرگ است که اجرام پیرامون مرکز جاذبه را جذب کند.

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

ایریس، در سال ۲۰۰۵ توسط تیمی به مدیریت مایکل برون کشف شد. کمی بزرگ‌تر از پلوتو بود و تا قبل از دسته بندی جدید توسط اتحادیه بین‌المللی 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 کمر بند کویپیریا اجرام فرانپتونی است.

#### سایر اجرام منظومه شمسی

#### محیط میان ستاره‌ای

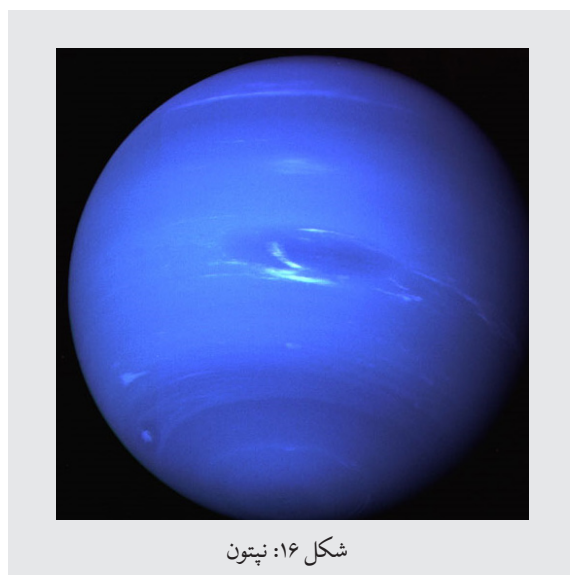
خورشید علاوه بر نور، جریان پیوسته از ذرات باردار (پلازما) که آنها را باد خورشیدی می‌نامیم تولید می‌کند. این جریان با سرعت ۱/۵ میلیون کیلومتر بر ساعت پراکنده می‌شود در نتیجه باعث ایجاد هورسپهر می‌گردد که اتمسفری مناسب

وجود دارد که به آرامی در اتمسفر ذوب می‌شود. اورانوس، برخلاف مشتری و زحل، چندان پرچرم 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 وسیله‌ی ویلیام هرشل کشف شد.

### نپتون

نپتون، هشتمین سیاره منظومه شمسی و آخرین سیاره گازی است. این سیاره توسط دانشمند آلمانی یوهان گاله در ۲۳ 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 ۲۵ آگوست ۱۹۸۹ فضا پیمای ویجر ۲ از نزدیکی آن عبور کرد. بزرگ‌ترین قمر آن تربتون است. ساختار داخلی آن مانند اورانوس می‌باشد. هسته‌ی مرکزی آن به اندازه‌ی 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 ساختار لایه‌های آن مانند اورانوس و مشتری نیست.



شکل ۱۶: نپتون

رنگ آبی این سیاره ناشی جذب نور در طول موج‌های قرمز توسط متان است. اتمسفر این سیاره از ۸۰٪ هیدورژن، ۱۹٪ هلیوم، ۱/۵٪ متان، حدود ۰/۰۱۹٪ دوتریم، ۰/۰۱۵٪ اتان و یخ: آمونیوم، آب، آمونیوم هیدروسولفید و متان تشکیل شده

برای منظومه شمسی ایجاد می‌کند. ۱۰۰ واحد نجومی (منطقه توقف خورشیدی علامت گذاری می‌گردد). ماده شکل دهنده منطقه توقف خورشیدی را محیط میان سیاره‌ای می‌نامند. چرخه خورشیدی ۱۱ ساله مانند شراره‌های خورشیدی تکرار شونده 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 بزرگ‌ترین ساختار منظومه شمسی است را تشکیل می‌دهد.

میدان مغناطیسی زمین از اتمسفر در مقابل بادهای خورشیدی محافظت می‌کنند. شفق قطبی در اثر برهمکنش بین باد خورشیدی و میدان مغناطیسی زمین به وجود 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 سیاره‌ای 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. احتمالاً توسط سازش درونی در کمر بند استروئیدی به دلیل برهم‌کنش با سیارات، شکل گرفته است. دومین ناحیه بین ۱۰ و ۴۰ واحد نجومی می‌باشد و احتمالاً توسط سازش مشابه در کمر بند کوئپپر شکل گرفته است. آن‌ها بقایای برافزایش سیاره‌ای می‌باشند. همچنین شامل گروه‌های گوناگونی از سیارک‌ها، دنباله دارها و اجرام فرانتونی می‌باشد.

## دنباله دارها

دنباله دارها اجرام کوچکی از منظومه شمسی، با کیلومترها قطر تشکیل شده از یخ فرار هستند. این دنباله دارها چرخشی نامنظم و گاهی همراه با حضيض 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 منظومه شمسی می‌شود، مجاور بودن آن با خورشید باعث تصعید و یونیزاسیون سطح آن می‌شود که منجر به وجود آمدن دم 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 کمر بند کوئپپر می‌باشد باز می‌گردد. دنباله دار بلند دوره (مانند دنباله دار هیل-باب) دارای دوره تناوب چندین هزار ساله هستند و منشا آن‌ها ابراورت می‌باشد. در نهایت، برخی دنباله دارها وجود دارند که یک مسیر هذلولی دارند و به نظر می‌رسد که

از خارج از منظومه شمسی می‌آیند. دنباله دارهای قدیمی که اکثر ترکیبات فرار خود را از دست داده‌اند، اکنون سیارک در نظر گرفته می‌شوند.

قنطورس در فاصله ۳۰۹ واحد نجومی قرار گرفته است. و شکل یخی آن شبیه به دنباله دارها می‌باشد و میان مشتری و نپتون در حرکت 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 کمر بند کوئپپر در نظر می‌گیرند.



شکل ۱۷: دنباله دار

## دنیاهای خارجی

در سال ۱۹۹۵ دو ستاره شناس سوئیسی به نام مایکل میرو دیرر 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

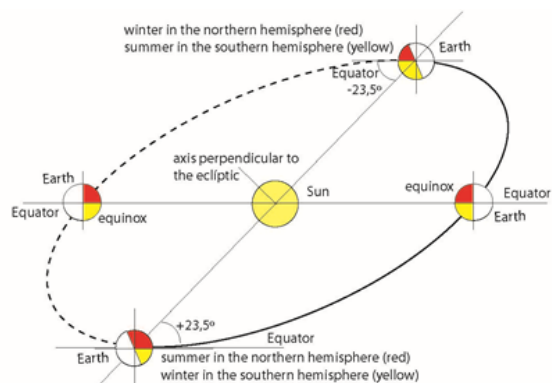
در یک مرکز آموزشی، شناخت افق در اولین مشاهدات برای دانش آموزان امری دشوار است. باید در هر مرکز یک مدل ساده ساخته شود تا مطالعه، تدریس و درک اولیه مباحث نجوم را برای ما آسان تر کند. در اینجا یک مدل ساده از ساعت استوایی برای این منظور ارائه شده است. می توانیم مدل های دیگری نیز (افقی و عمودی) بسازیم.

### اهداف

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

### زمین می چرخد و می گردد

همانطور که می دانید، زمین حول محور خود می چرخد که نتیجه آن پیدایش روز و شب است. محور چرخش همان چیزی است که ستاره شناسان باستان آن را محور زمین می نامیدند؛ زیرا به نظر می رسید که آسمان به دور این محور حرکت می کند (آسمان روز و آسمان شب). اما زمین در یک مدار بیضی می چرخد و خورشید در یکی از کانون های آن قرار دارد. به صورت تقریبی این حرکت را می توان دایره ای در نظر گرفت. (از آنجا که خروج از محور مدار بیضی زمین تقریباً صفر است، یعنی مدار تقریباً یک دایره است).

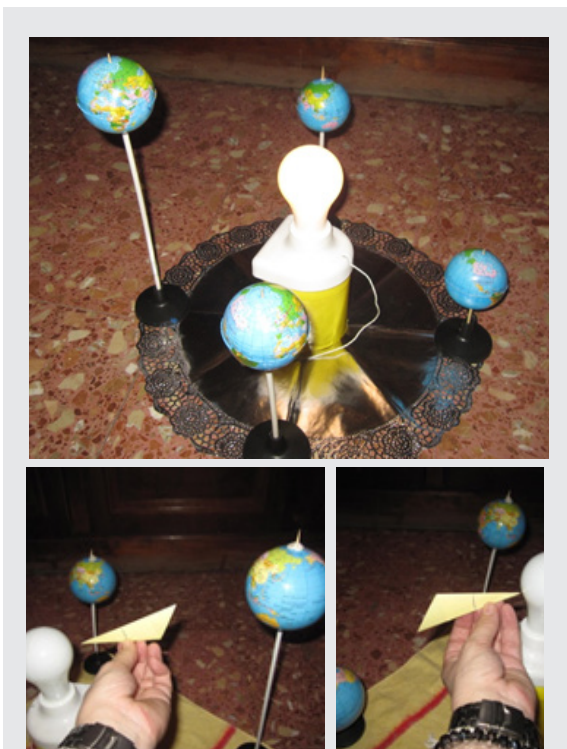


شکل ۱: نمایی از حرکت انتقالی زمین. زاویه بین خط استوای زمینی و صفحه دایره البروج ۲۳٫۵ درجه است. زاویه بین محور چرخشی زمین و محور عمود بر صفحه دایره البروج ۲۳٫۵ درجه است.

یک سال زمان نیاز است تا زمین یک دور کامل در مدار خود به دور خورشید بگردد؛ همچنین این گردش را در صفحه ای

به نام دایره البروج انجام می دهد 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 می شود. برای تجسم این پدیده می خواهیم یک مدل کوچک بسازیم (شکل ۲).

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



شکل ۲ الف، ب، ج: چهار کره که نمایانگر زمین و لامپی که خورشید را نشان می دهد، موقعیت های نسبی آنها باید به گونه ای باشد که خطی که از مرکز خورشید و مرکز کره می گذرد (صفحه دایره البروج)، با صفحه استوای زمین زاویه ۲۳° بسازد.

قرار دارد، خورشید را دقیقاً روی استوا، یعنی  $0^\circ$  درجه بالای استوا می بیند.



شکل ۴a: نیمکره شمالی در موقعیت A تابستان است و خورشید  $23,5^\circ$  بالاتر از استوا قرار دارد. در حالیکه در نیمکره جنوبی زمستان است.  
شکل ۴b: نیمکره شمالی در موقعیت C زمستان است و زاویه خورشید  $23,5^\circ$  زیر استوا است. با این حال، در نیمکره جنوبی تابستان است.

مدل را در یک اتاق تاریک قرار داده و لامپ را روشن می کنیم (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 موقعیت های B و D، هر دو نیمکره به یک اندازه روشن هستند. به این حالت اعتدال بهاری و پاییزی گفته می شود. در مواقعی که نیم کره منطقه روشنایی بیشتری دارد می گوئیم 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.

### 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 می رسد؛ زیرا ما روی زمین قرار داریم و فقط یک فضا نورد از سفینه فضایی می تواند زمین را از بیرون ببیند. اما یک راه حل ساده وجود دارد که به شما امکان می دهد 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 می گردد.



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



شکل ۳: مدل حرکت انتقالی که فصل ها را توضیح می دهد. 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 B و D قرار دارد و نیم کره ها به یک اندازه روشن می شوند، اعتدال ها رخ می دهند و طول شب و روز برابر می شود.

این مدل فرصت ارزشمندی را برای مطالعه فراهم می کند؛ زیرا اگر تصور کنیم فردی در یکی از نیمکره ها زندگی می کند، خواهیم دید که او با توجه به هر فصل خورشید را در ارتفاع متفاوتی می بیند. به عنوان مثال، شخصی را در نیم کره شمالی در نظر بگیریم، اگر این فرد در موقعیت A قرار داشته باشد، خورشید را در  $23,5^\circ$  بالای صفحه استوای آسمان می بیند (شکل ۴a). اما اگر او در نیمکره شمالی و در موقعیت C قرار داشته باشد، خورشید را در زیر استوا و در زاویه  $23,5^\circ$  مشاهده می کند (شکل ۴b). وقتی او در موقعیت های B و D

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

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 تکه‌های 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.

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 فضاپرواز 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 قطب نما 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 پایه‌های 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.

نکته جالب، شبیه سازی حرکت انتقالی است که به کمک این مدل می توان چگونگی جابه جایی خط سایه روشن را در طول سال تجسم کرد؛ بنابراین می توانیم 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 می کند، توضیح داد. مدل ما، یک مدل براساس افق محلی ناظر است؛ یعنی مدلی براساس مشاهدات واقعی ناظر.

### رصد

معلمان رشته های 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 ستاره شناسی باید خوشحال باشند زیرا همیشه آزمایشگاه نجومی دارند که در دسترس است. همه مؤسسات و مدارس محوطه ای دارند که دانش آموزان در آن بازی می کنند: زمین بازی در فضای باز یا حیاط؛ اما این مکان ها تنها محلی برای بازی کردن نیستند؛ بلکه آزمایشگاه های ستاره شناسی نیز هستند؛ بنابراین ما در هر مدرسه یا مؤسسه به یک آزمایشگاه عظیم دسترسی داریم و این یک فرصت ارزشمند است.



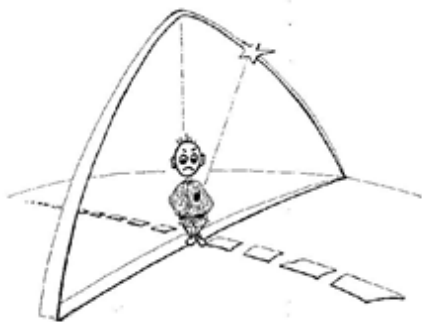
شکل ۸: تصور کلاسیک از کره آسمانی

ارتباطی بین آموزه های معلم در مورد کره سماوی در کلاس درس و زیر آسمان پیدا نمی کند.

وقتی که معلم به صورت تئوری روی تخته سیاه و یا با استفاده از مدل ها در مورد نصف النهارها و مدارها یا مختصات صحبت می کند، شکل هایی مانند شکل ۸ را ارائه می دهد. این مباحث خیلی سخت نیست و دانش آموزان بدون مشکل آن را درک می کنند؛ زیرا مشابه شکل هایی است که دانش آموزان قبلاً با چشمان خود دیده اند و از نمونه های آن ها در درس جغرافیا استفاده کرده اند (شکل ۹).

مشکلات از زمانی شروع می شود که ما در حال مشاهده آسمان هستیم و هیچ خطی در آنجا وجود ندارد. مشاهده محور چرخش زمین امکان پذیر نیست و یافتن مرجع در آسمان واقعاً کار آسانی نیست. حالا مشکل اصلی این است که در کلاس درس دانش آموز درون کره سماوی است، اما اطلاعاتی را که ما به دانش آموز ارائه داده ایم 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. می توان 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. دانش آموزان باید بتوانند هر کتاب نجومی را مطالعه کنند و مفهوم کره سماوی از دید ناظر بیرونی که در کتاب های علمی از آن بسیار استفاده شده است را درک کنند. در این شرایط می توان به فکر ساختن الگویی برای دانش آموزان بود که امکان مقایسه هر دو دیدگاه را فراهم می کند و همچنین "باعث می شود خطوط آسمان قابل رؤیت بوده" و درک بهتری از افق را ارائه می دهد.



شکل ۹: کره سماوی از دید ناظر بیرونی

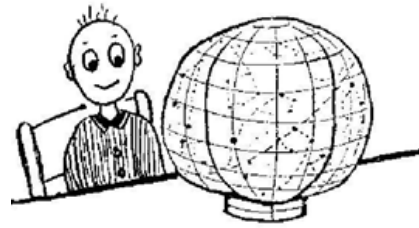
مشکل وقتی بروز می کند که دانش آموز از حیاط مدرسه برای انجام فعالیت های عملی نجوم استفاده می کند؛ اما هیچ



یک دیگر 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).

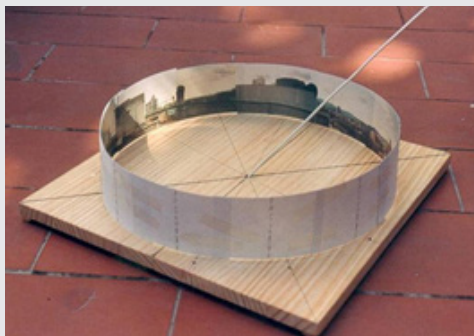
می‌توان محور چرخشی مدل را با این مقدار تنظیم کرد. از آنجا که این مدل با توجه به افق محلی جهت‌گیری می‌شود، از یک شاخص بلند برای نشان دادن محور واقعی چرخش، تعیین مکان قطب جنوب و تصور جهت جنوب استفاده می‌کنیم (شکل ۱۳). بدیهی است که به راحتی می‌توان جهت شمال و قطب شمال را معرفی کرد. بعداً ما می‌توانیم خط 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 قبلاً 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).



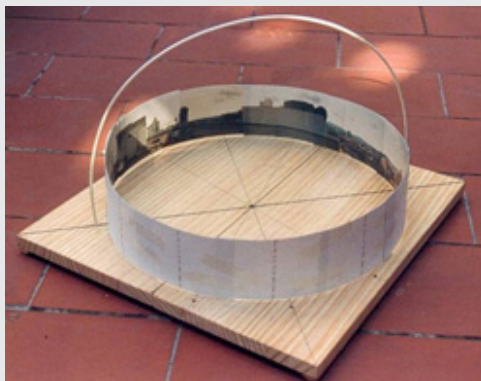
شکل ۱۰: کره سماوی از دید ناظر درونی

### 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 بر روی 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 تصویرافق را به صورت یک تصویر پارانورما داشته باشیم.



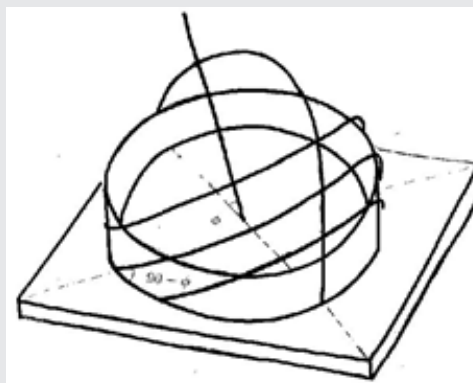
شکل ۱۳: مدل با حلقه افق و محور قطبی



شکل ۱۴: مدل با نصف النهار محلی



شکل ۱۱: افق محلی.



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

وقتی همه عکس‌ها را گرفتیم آن‌ها را یکی یکی در کنار هم به

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 از نقاط 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 عکاسی مان 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 قرار دارد.

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).



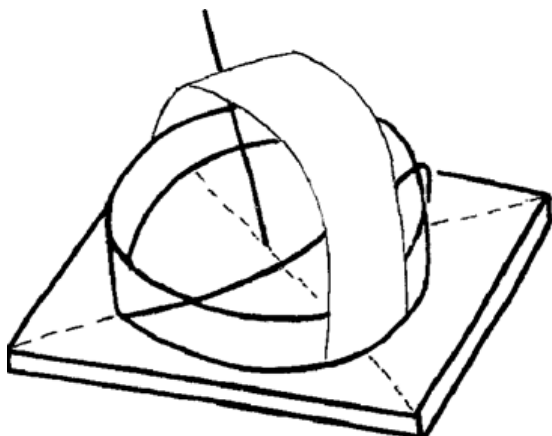
شکل ۱۵: مکان غروب آفتاب در اعتدال بهاری یا پاییزی

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).

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 بزرگ از تصاویر تهیه کنیم، می‌توان نوارها را روی سردانش‌آموزان 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 (شکل ۱۱)

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 (شکل ۱۸).

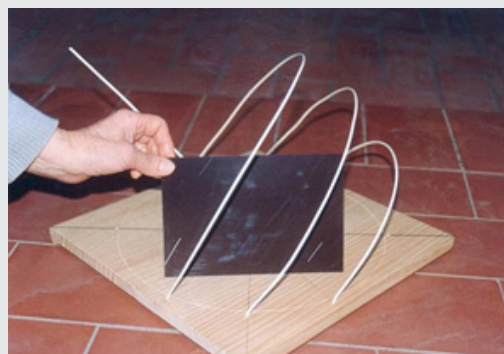


شکل ۱۸: عکس‌های نصف النهار مکان

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 شگفت‌انگیزی بسیار متفاوت است. همچنین می‌توانید به موازات استوا، مدارهای رأس السرطان و رأس الجدی را با شیبی مشابه، تنظیم کرد. با استفاده از یک مقاله ساده می‌توان دید که زاویه داخلی بین مدار رأس السرطان و استوا در حدود ۲۳ است. این زاویه برای مدار رأس الجدی و استوا نیز همین مقدار



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... 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؛

است. (شکل ۱۹ و ۲۰)

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 به 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.

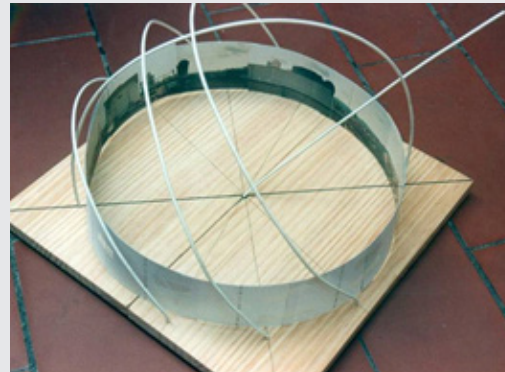
### ساعت آفتابی

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.

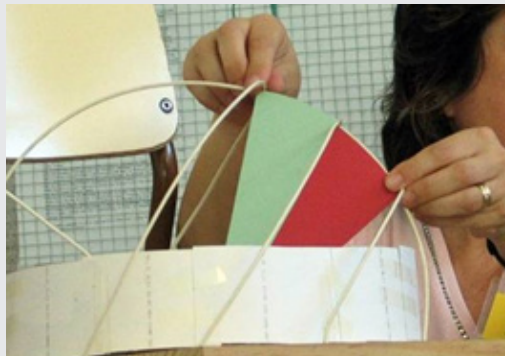
اگر یک چراغ قوه را در راستای صفحه استوایی و بر روی مدار رأس‌السرطان حرکت دهیم، می‌توانیم سایه عقربه ساعت آفتابی (که شاخص نشانگر محور چرخش زمین است) را ببینیم که از ربع چهارم استوایی می‌گذرد. از طرف دیگر، هنگامی که چراغ قوه را در رأس‌الجدی حرکت می‌دهیم، سایه در ناحیه زیر صفحه ظاهر می‌شود و مشخص است که 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 دوروز از سال یعنی دوروز 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 دیگران اتفاق نمی‌افتد).

اگر چراغ قوه را در امتداد مدارهای رأس‌السرطان و رأس‌الجدی 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)،



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



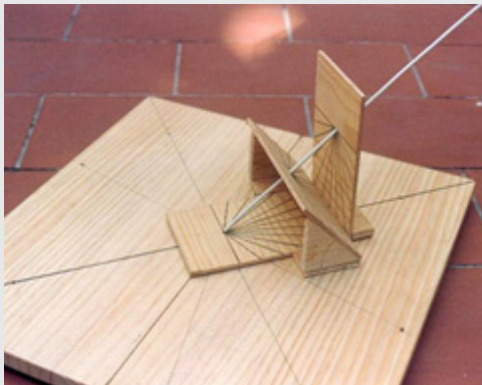
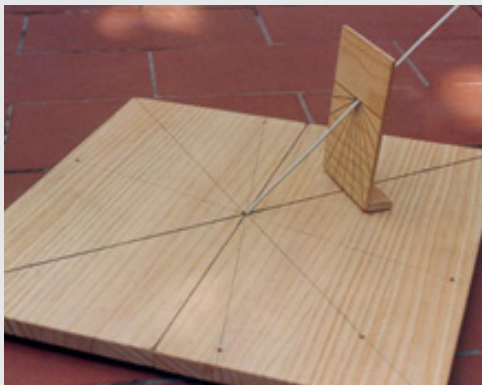
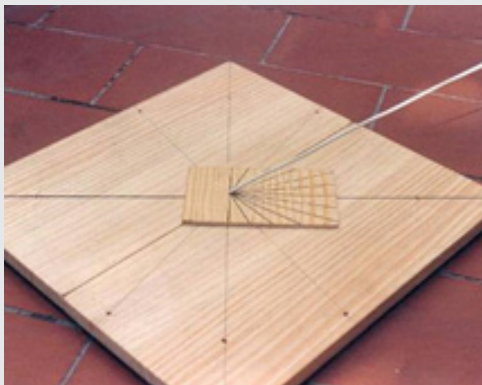
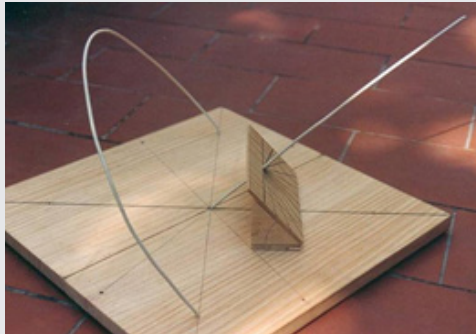
شکل ۲۰: زاویه بین مسیر در روز اول دو فصل متوالی ۲۳٫۵ است

برای دانش‌آموزان دانستن اینکه مکان طلوع و غروب خورشید همیشه دقیقاً 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 دوروز از سال خورشید دقیقاً از شرق طلوع و در غرب غروب می‌کند (شکل‌های ۱۹ و ۲۰)



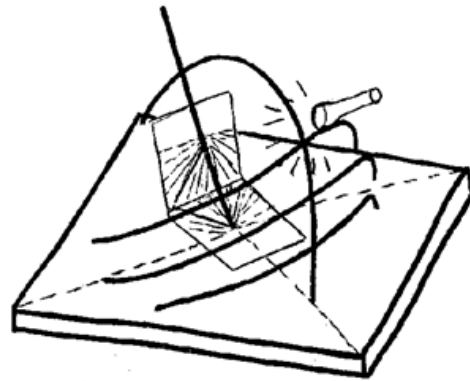
شکل ۲۱: یک مدل بزرگ ساعت آفتابی که سه نوع از آن را نمایش می‌دهد

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



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

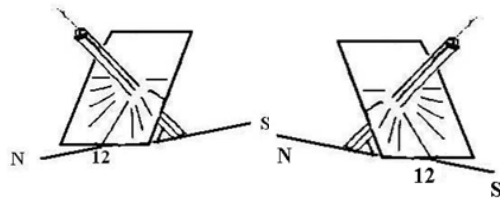
مخروط تقریباً دایره‌ای شکل است و منطقه مورد تابش واقع شده به وضوح کوچکتر از حالت دوم است. در حالت دوم و در مدار بعدی (روز اول زمستان)، این قسمت بیضوی است و منطقه محصور شده بسیار بیشتر است. پس دانش‌آموزان به راحتی می‌توانند درک کنند که تابش در حالت اول بسیار متمرکز است، یعنی دمای سطح در تابستان بیشتر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

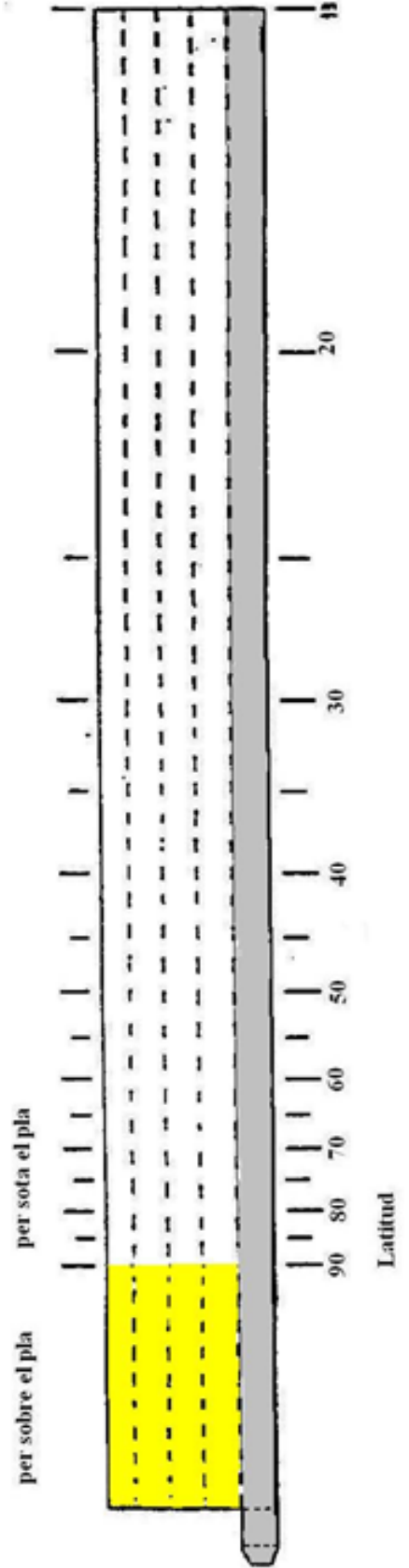
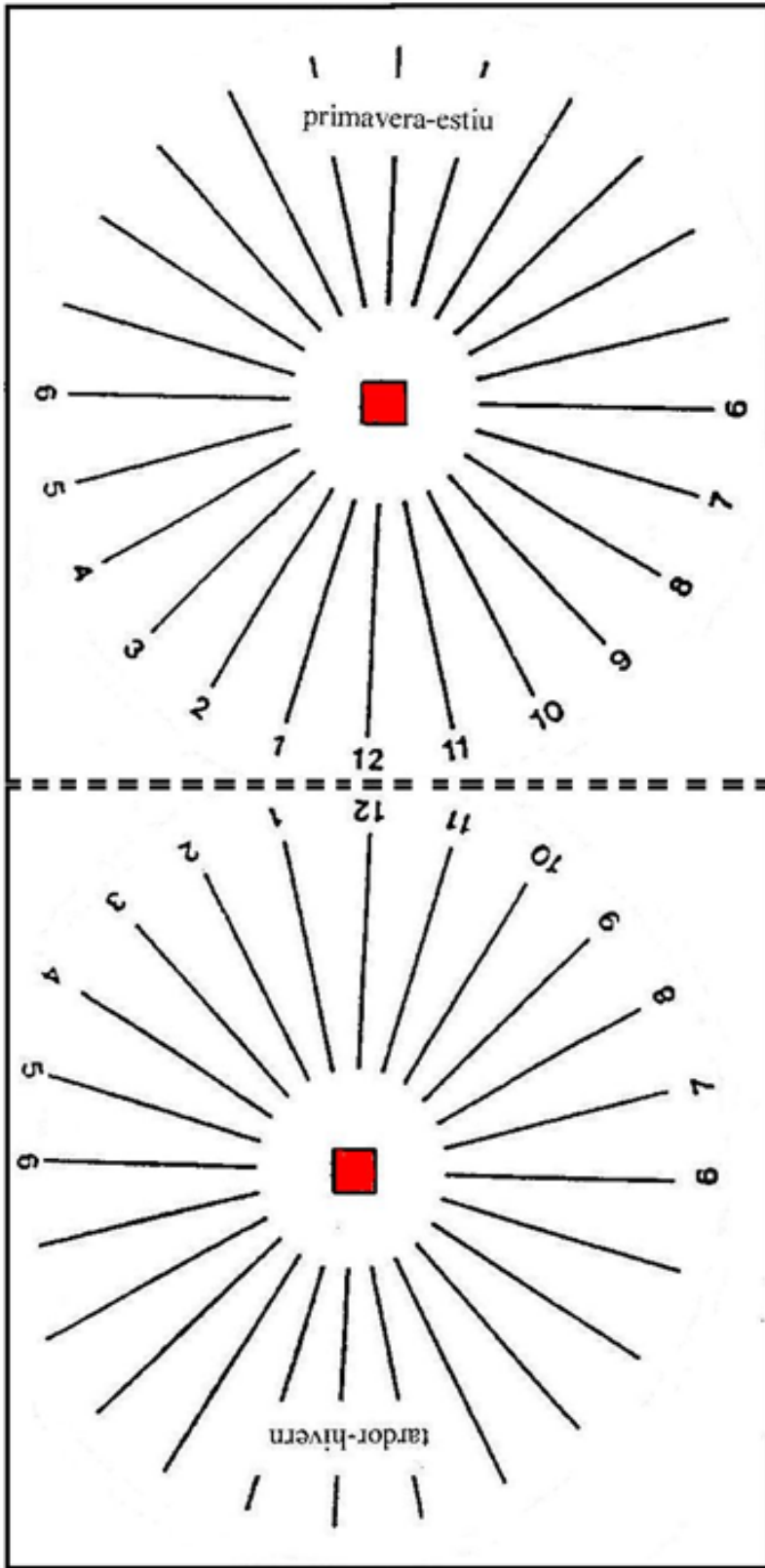
ما از این فرصت برای آشنایی با وسایل مورد نیاز در ساخت ساعت آفتابی استفاده خواهیم کرد.

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 تنظیم کنید (شکل ۲۳ و ۲۴) شاخص هر ساعت همیشه به همین روش قرار می‌گیرد.



شکل ۲۳: ساعت استوایی مورد استفاده در نیمکره شمالی  
شکل ۲۴: ساعت استوایی مورد استفاده در نیمکره جنوبی

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



شكل ٢٥ الف و٢٥ ب: طرح ساعت استوائی.

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

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 می دارای DST + ۱ ساعت 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:

$$( \text{زمان خورشیدی} ) \quad ۱۲ \text{ h} + ۴۷,۷ \text{ m} = ۱۲ \text{ h} \quad ۴۷,۷ \text{ m} \quad ( \text{زمان ساعت مچی} )$$

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 می خوانیم	۳. معادله زمان
+ ۸,۷ m		جمع

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

$$( \text{زمان خورشیدی} ) \quad ۱۲ \text{ h} + ۸,۷ \text{ m} = ۱۲ \text{ h} \quad ۸,۷ \text{ m} \quad ( \text{زمان ساعت مچی} )$$

## زمان خورشیدی و زمان در ساعت مچی

ساعت های آفتابی زمان خورشیدی را نشان می دهند که با ساعت هایی که همه ما بر روی مچ دست خود بسته ایم و استفاده می کنیم 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 می شود. 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 می کنیم. بایستی طول ها 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 می شود و در زمستان به عقب برمی گردد.

### تنظیم معادله زمان

مطابق قانون مساحت کپلر، کره زمین به دور خورشید در یک مداری بیضی شکل می گردد، در نتیجه حرکت آن همیشه ثابت نیست و این امر یک مشکل جدی برای ساعت های مکانیکی ایجاد می کند. ساعت های مکانیکی میانگین زمان را به عنوان میانگین زمان در کل طول یک سال تعریف می کنند. 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

## جهت یابی

مشکل دیگر برای دانش آموزان جهت یابی است. در یک دوره نجوم عمومی، باید حس جهت یابی دانش آموزان را تقویت کنیم. ممکن است که دانش آموزان هیچ وقت دوباره نجوم را مطالعه نکنند. حداقل خروجی که از یک دوره نجوم انتظار می رود این است که دانش آموزان قادر به تشخیص جهت شمال باشند، دانش آموزان باید بدانند که مسیر خورشید بالای افق جنوبی است و همچنین بدانند که سیارات در میان افق حرکت می کنند؛ به ویژه یاد بگیرند که ویژگی های مختلف جغرافیایی شهر خود را پیدا کنند. به عنوان مثال، در افق بارسلونا (تصاویر a27 و b 27) دانش آموزان می توانند گزینه های مختلفی را در مورد موقعیت خورشید، ماه و صورت های فلکی خاص در افق در نظر بگیرند. دو کوهی که در تصویر می بینیم تقریباً در موقعیت های متضاد قرار دارند، اما این برای دانش آموزان بی معناست و آن ها در تشخیص این که هر نقاشی مربوط به کدام افق است، با مشکل مواجه می شوند. آن ها مباحث نظری را می دانند، اما اگر به اندازه کافی تمرین نداشته باشند، تفاوت ها را متوجه نمی شوند. برای برطرف کردن مشکلاتی که ذکر شد از مدلی که در قسمت قبل طراحی کردیم استفاده می کنیم. این مدل برای روشن شدن بسیاری از موضوعات مرتبط با جهت یابی در افق محلی بسیار مؤثر است.

اول انقلاب تابستانی و زمستانی تطبیق دهند. (شکل 28 الف). برخی موزه های علمی این نوع مدل را ساخته اند (شکل 28 ب).

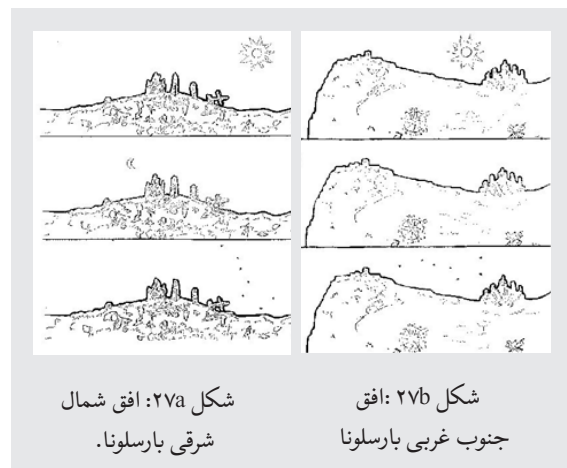


شکل 28 الف : مدلی با دانش آموزان دبستان. شکل 28 ب: مدل در مقیاس بزرگ در پارک علم گراناادا.

دانش آموزان پس از استفاده از مدل می توانند چیزهایی را که قبلاً درک نمی کردند را متوجه شوند. به عنوان مثال، اکنون کاملاً مشخص است که خورشید فقط در استوا عمود بر افق طلوع و غروب می کند.

## کتابشناسی

- Alemany, C., Ros, R.M., Parallel Earth, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, EU-UNAWA, 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.



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 می کنند) کمک می کند. دانش آموزان با استفاده از مدل پیشنهادی می فهمند که یک ستاره درخشان در پیرامون هرگز نمی تواند یک سیاره باشد.

ساختن این مدل در مقیاس بزرگ بسیار ارزشمند است. در این حالت، دانش آموزان و حتی بزرگسالان می توانند وارد آن شوند و موقعیت خورشید را در مقایسه با استوا و مدارها در روز



## 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

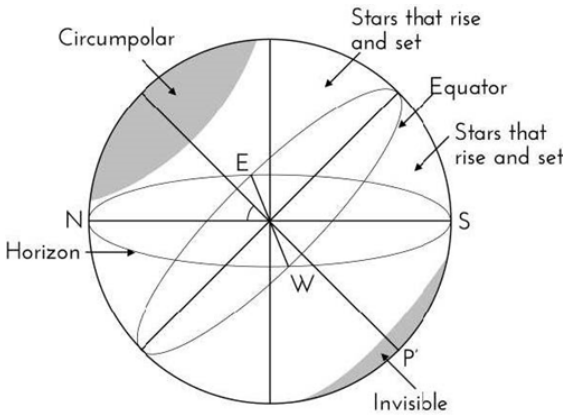
توضیح چگونگی حرکت ظاهری خورشید، ماه یا ستارگان از روی زمین کارچندان ساده‌ای نیست. دانش‌آموزان می‌دانند که خورشید هر روز طلوع و غروب می‌کند اما آن‌ها با اطلاع از این که مکان خورشید هر روز در هنگام غروب و طلوع تغییر می‌کند و خورشید با توجه به هر عرض جغرافیایی مسیر متفاوتی را در آسمان طی می‌کند تعجب خواهند کرد. نشانگرها ساده هستند و به کمک آن‌ها می‌توان خورشید نیمه‌شب و عبور خورشید از سرسورا توضیح داد. به ویژه این نشانگرها برای درک حرکات متفاوت و جابه‌جایی‌ها 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 کروی سماوی ناظری در قطب شمال همه ستارگان نیم‌کره‌ی شمالی و ناظری در قطب جنوب همه ستارگان نیم‌کره‌ی جنوبی را می‌بیند. 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.

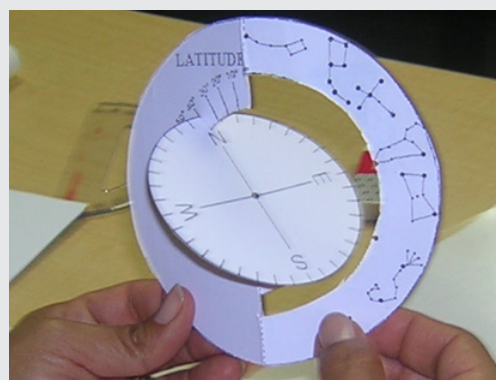
دانش‌آموزان با توجه به نشان می‌توانند به آسانی درک کنند که چرا برخی از ستارگان به صورت دورقطبی در محل زندگی شان ظاهر می‌شوند. اما این کار سختی است که از آن‌ها بخواهید که تصور کنند در یک گوشه دیگر از دنیا کدام ستارگان دور قطبی هستند. اگر از آن‌ها بپرسید که یک ستاره مشخص (مثلاً شباهنگ) در شهر بوینس آیرس 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 و غروب 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 دانش‌آموزان آشنا تر هستند استفاده شود.

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



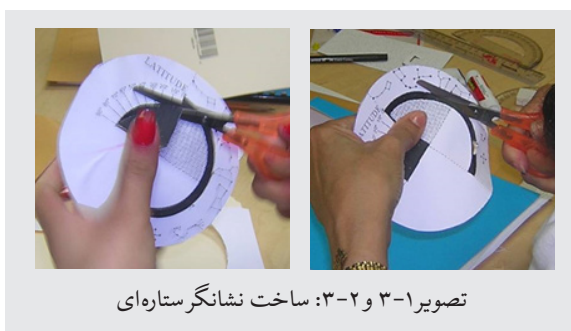
تصویر ۲: استفاده از نشانگر؛ این نمونه از نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی است که از صورت‌های فلکی جدول ۱ در آن استفاده شده است.

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 دانش‌آموزان 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

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 دانش‌آموزان شناخته شده تر 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 ۳h، فصل زمستان بین ۳h تا ۹h، برای بهار (پاییز) بین ۹h تا ۱۴h و برای تابستان بین ۱۴h تا ۲۱h باشد.

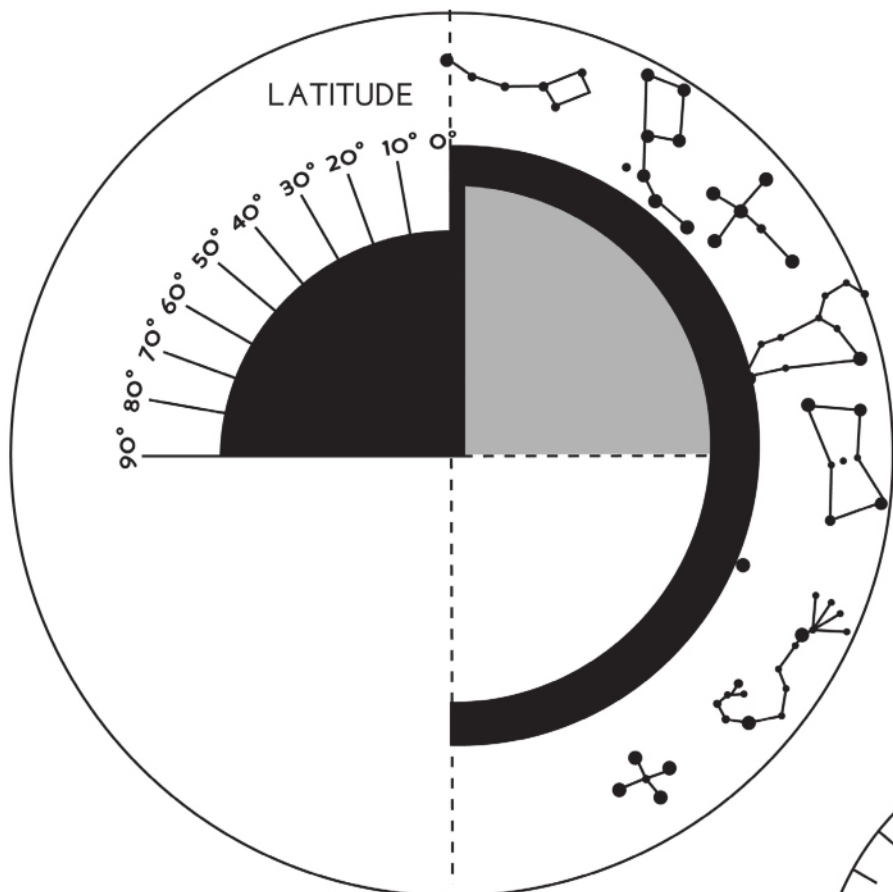
صورت فلکی	بیشترین میل	کمترین میل
خرس کوچک	+ ۹۰	+ ۷۰
خرس بزرگ	+ ۶۰	+ ۵۰
قو	+ ۵۰	+ ۳۰
شیر	+ ۳۰	+ ۱۰
شکارچی و شباهنگ	+ ۱۰	- ۱۰
عقرب	- ۲۰	- ۵۰
صلیب جنوبی	- ۵۰	- ۷۰

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

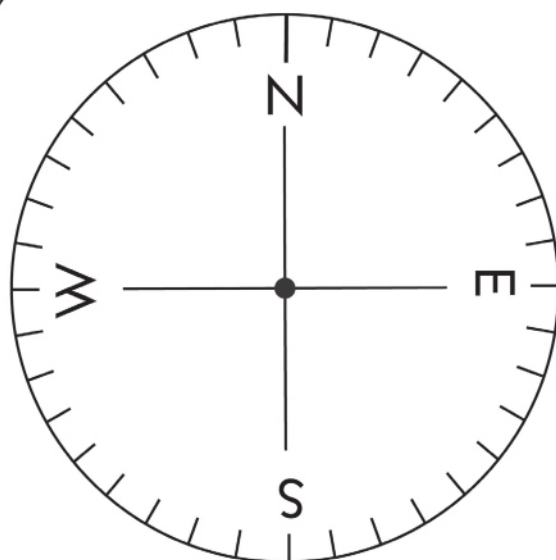
دستورالعمل ساخت نشانگر ستاره‌ای به شرح زیر است.  
نشانگر نیم‌کره‌ی شمالی:

- از تصویر ۴ و ۵ یک کپی بر روی مقوا تهیه کنید.
- تصویر را در محلی‌هایی که دارای خط پیوسته است برش بزنید (شکل ۴ و ۵).
- قسمت سیاه را جدا کنید (شکل 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.
- 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.
- 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.
- قسمت W نیز با عرض جغرافیایی ۹۰ درجه هم راستا باشد.

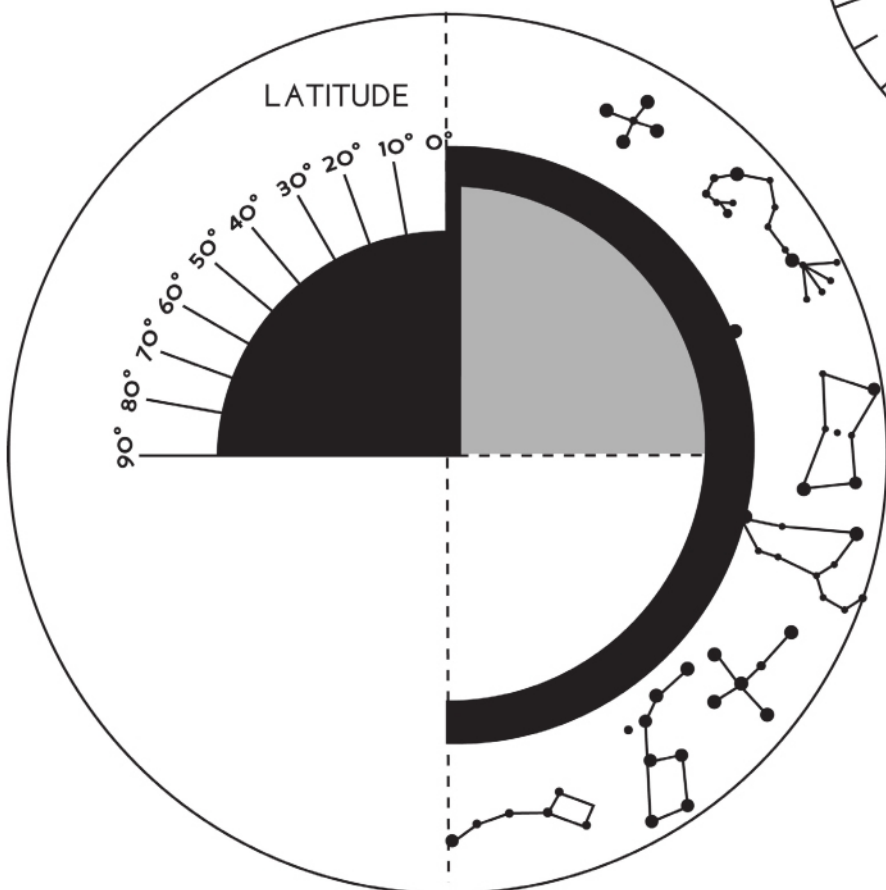
اگر تصمیم به انتخاب صورت‌های فلکی فقط برای یک فصل بگیریم ممکن است انتخاب صورت فلکی بین عرض ۹۰ و ۶۰ درجه شمالی، بین ۶۰ و ۴۰ درجه شمالی، بین ۴۰ تا ۲۰ درجه



شکل ۴: بخش اصلی نشانه‌گر ستاره‌ای برای نیم کره شمالی



شکل ۵: صفحه‌ی افقی



شکل ۶: بخش اصلی نشانه‌گر در نیم کره جنوبی

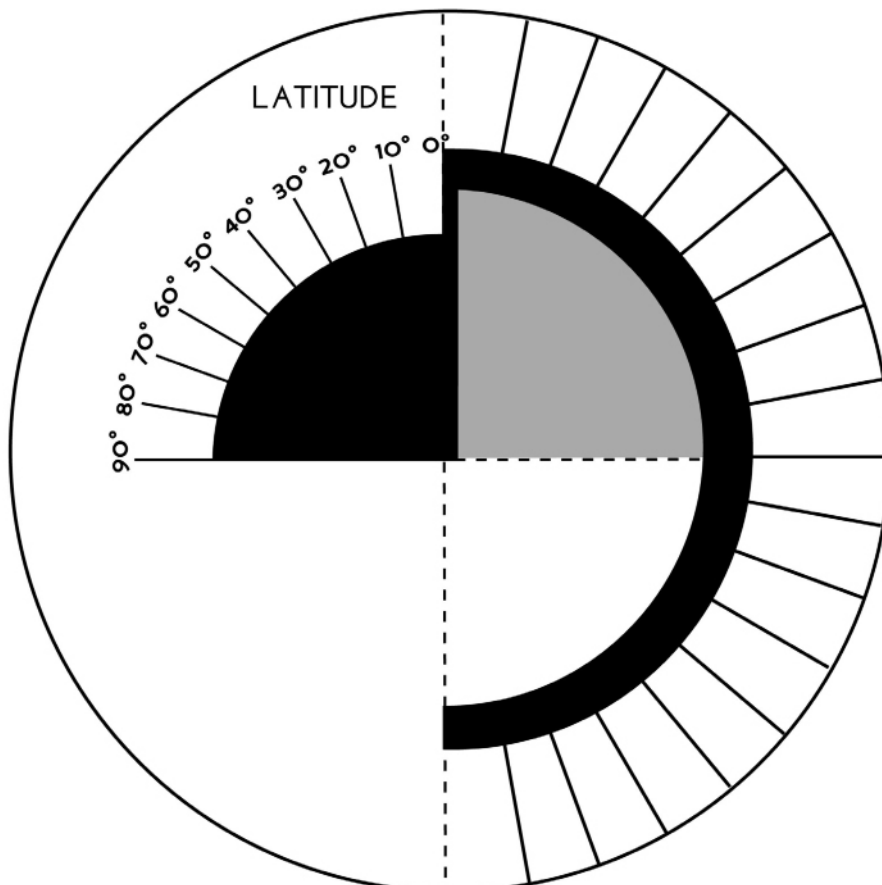
## نشانگر برای نیم‌کره‌ی جنوبی

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

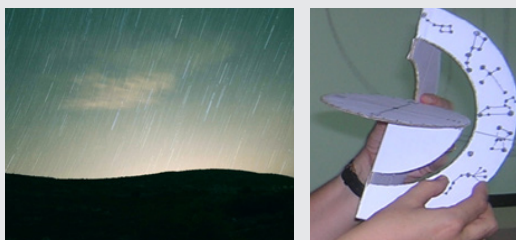
اگر ناظر در استوا زندگی کند (عرض جغرافیایی  $0^\circ$ ) این زاویه  $90^\circ$  است. به بیان دیگر اگر ناظر در قطب شمال یا جنوب زندگی کند (عرض‌های جغرافیایی  $90^\circ$  شمالی یا جنوبی) مسیر ستارگان با افق موازی خواهد بود. به صورت کلی اگر ناظر در شهری با عرض جغرافیایی  $L$  زندگی کند خمیدگی مسیر هر روزی ستارگان نسبت به افق برابر  $90^\circ - L$  (  $90^\circ - L$  ) خواهد بود.



تصاویر ۱-۸ و ۲-۸: غروب ستارگان در آسمان لاپلند (فنلاند) با عرض جغرافیایی  $68^\circ$  شمالی. زاویه مسیر نسبی ستارگان نسبت به افق برابر است با  $90^\circ$  منهای عرض جغرافیایی محل. (عکس از: Hannula Irma، فنلاند)



تصاویر ۱-۹ و ۲-۹: طلوع ستارگان در مونتسنی (اسپانیا) در عرض جغرافیایی  $41^\circ$  شمالی. زاویه مسیر نسبی ستارگان نسبت به افق برابر است با  $90^\circ$  منهای عرض جغرافیایی محل. (عکس از: Rosa M. Ros، اسپانیا)



تصاویر ۱-۱۰ و ۲-۱۰: رد ستارگان در سمت غرب ماتپوآلا (مکزیک) در عرض جغرافیایی  $23^\circ$  شمالی. زاویه مسیر ستارگان نسبت به افق برابر است با  $90^\circ$  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 سن لوییس پتوسی (مکزیک) گرفته شده‌اند. لاپلند دارای عرض جغرافیایی بیشتر از مونتسنی و سن لوییس پتوسی 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  $90^\circ$  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  $0^\circ$  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  $20^\circ$  (شمالی یا جنوبی) تعداد صورت‌های فلکی دورق‌طبی نسبت به عرض  $40^\circ$  (شمالی یا جنوبی) کمتر است. اما در عرض  $20^\circ$  تعداد صورت‌های فلکی با طلوع و غروب در مقایسه با عرض  $40^\circ$  بیشتر است.

برای عرض  $60^\circ$  (شمالی یا جنوبی) تعداد زیادی از صورت‌های فلکی دورق‌طبی و ناپیدا هستند. اما در مقایسه با عرض  $40^\circ$  (شمالی یا جنوبی) تعداد کمتری از ستارگان دارای طلوع و غروب هستند.

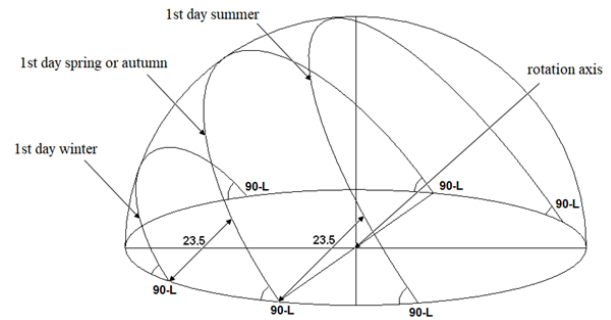
## نشانگر خورشیدی: چرا خورشید هر روز از یک مکان مشابه طلوع نمی‌کند؟

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 نیمه شب یا عبور خورشید از سرسوی کار دشواری است. این نشانگر برای درک حرکات خورشید و تفاوت‌های آن در عرض‌های مختلف بسیار مفید است.

## دستور العمل ساخت

### نشانگر برای نیم‌کره‌ی شمالی

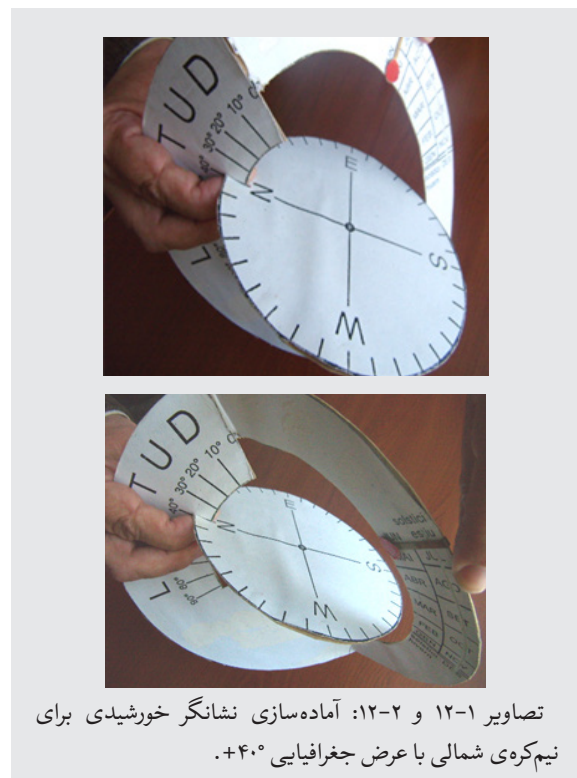
- ۱- یک کپی از شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تهیه کنید.
- ۲- در امتداد خطوط پیوسته یک برش ایجاد کنید (شکل ۱۳ و ۱۴).
- ۳- قسمت‌های سیاه را از بخش اصلی خارج کنید (شکل ۱۴).
- ۴- راستای خط چین بخش را اصلی تا کنید. چندین بار این کار را تکرار کنید تا نشانگر به راحتی قابل استفاده باشد.
- ۵- برش کوچکی در نقطه N صفحه‌ی افقی 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  $90^\circ$  بخش اصلی باشد.
- ۷- وقتی که صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را در بخش اصلی قرار می‌دهید مطمئن شوید که این دو بریکدیگر 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.



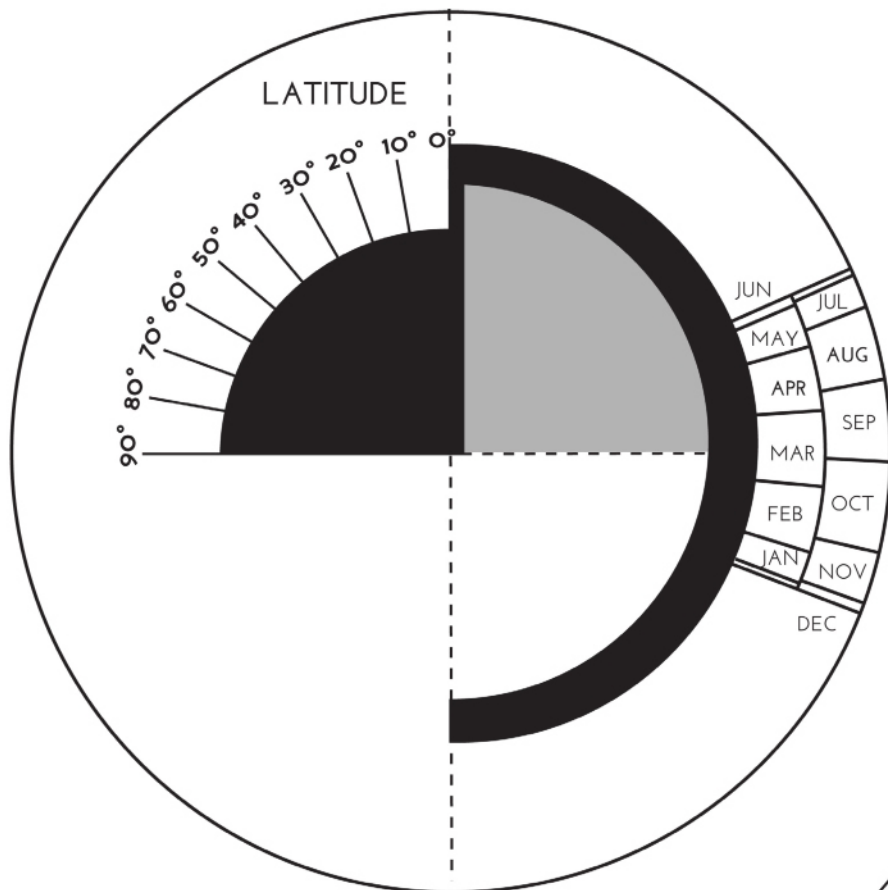
شکل ۱۱: سه مسیر متفاوت خورشید (روز اول فصل‌های پاییز یا بهار، تابستان و زمستان).

### ساخت نشانگر

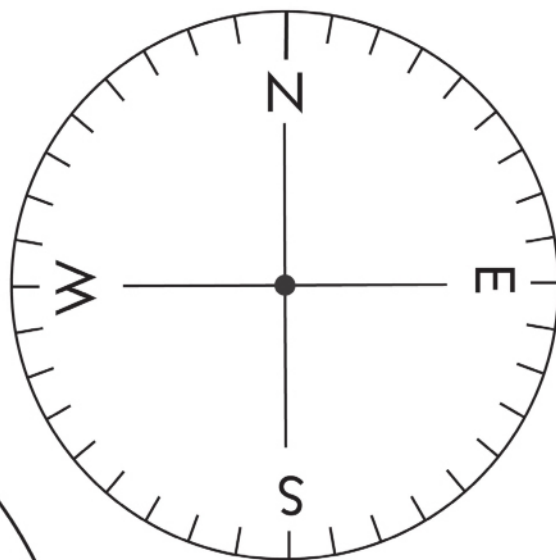
برای ساخت نشانگر خورشیدی باید در نظر داشت که میل خورشید روزانه تغییر می‌کند. همچنین نشانگر باید قابلیت این را داشته باشد که مکان خورشید با توجه به فصول تغییر کند. در اولین روز فصل بهار یا پاییز میل خورشید  $0^\circ$  است و در راستای استوا حرکت می‌کند. در اولین روز تابستان (زمستان در نیم‌کره‌ی جنوبی) میل خورشید  $+23.5^\circ$  و در اولین روز زمستان (تابستان در نیم‌کره‌ی جنوبی) برابر با  $-23.5^\circ$  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 (تصاویر ۱۲) قبل از برش آن‌ها را بر روی یک مقوا چسبانده و سپس ببرید. همچنین می‌توانید یک نشانگر بزرگ‌تر برای استفاده‌ی معلم بسازید.



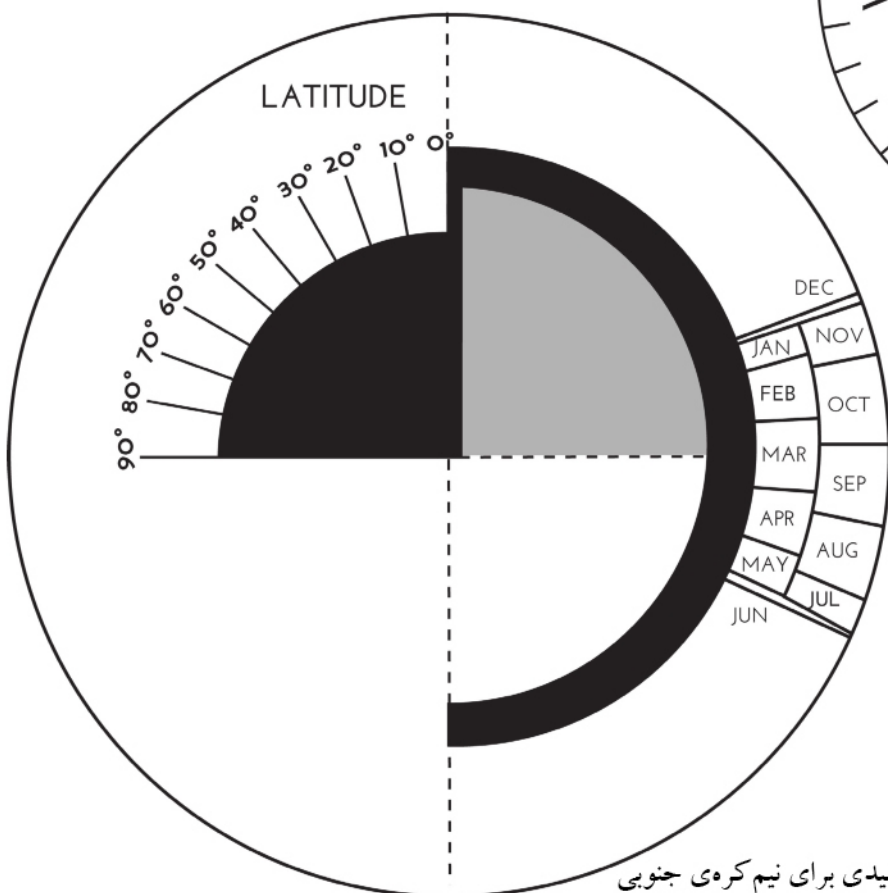
تصاویر ۱-۱۲ و ۲-۱۲: آماده‌سازی نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی شمالی با عرض جغرافیایی  $+40^\circ$ .



شکل ۱۳: بخش اصلی نشانه گر خورشیدی برای نیم کره ی شمالی



شکل ۱۴: صفحه ی افقی



شکل ۱۵: قسمت اصلی نشانه گر خورشیدی برای نیم کره ی جنوبی  
برای ساختن نشانه گر خورشیدی نیم کره ی جنوبی می توانید به صورت  
مشابه عمل کنید؛ فقط شکل ۱۳ را با شکل ۱۴ جایگزین کنید.

## نشانگر خورشیدی برای نیم‌کره‌ی جنوبی

ناظر ساکن استوا باشد (عرض  $0^\circ$ ) این زاویه  $90^\circ$  است. اگر ناظر در قطب شمال یا جنوب باشد (عرض  $90^\circ$  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 برابر است با  $90 - L$  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  $4^\circ$  می‌باشد؛ در نتیجه انحراف مسیر خورشید زاویه حدودی  $86^\circ$  است.

یک کپی از شکل‌های 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  $90^\circ$  بخش اصلی باشد.

۷- وقتی که صفحه‌ی افقی (شکل ۱۴) را در بخش اصلی قرار می‌دهید، مطمئن شوید که این دو بریکدیگر 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

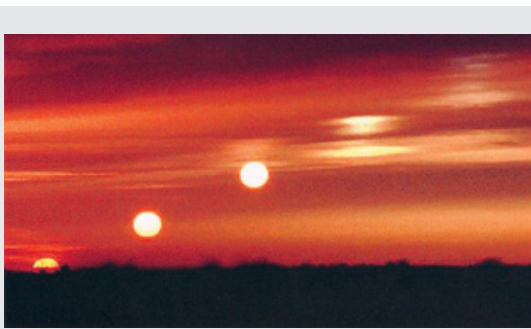
۳- مناطق استوایی

۱- منطقه‌ای در عرض‌های میانی نیم‌کره 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



تصویر ۱-۱۶ و ۲-۱۶: طلوع خورشید در لاپلند (فنلاند). زاویه مسیر خورشید نسبت به افق متمم عرض جغرافیایی آن است ( $90^\circ$  منهای عرض جغرافیایی).  
(عکس از: Sakari Ekko, فنلاند)



تصویر ۱-۱۷ و ۲-۱۷: طلوع خورشید در گاندیا (اسپانیا) با عرض جغرافیایی  $41^\circ$  شمالی. زاویه مسیر خورشید نسبت به افق برابر است با  $90$  منهای عرض جغرافیایی.  
(عکس از: Rosa M. Ros, اسپانیا)





تصویر ۱۹: مسیر خورشید در زمستان و تابستان در نروژ. کاملاً 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  $0^\circ$  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  $23.5^\circ$ ) متوجه می‌شوید که مسیر خورشید بالاتر از روز اول بهار است. در آخر، آزمایش را برای روز اول زمستان (۲۱ ژوئن) تکرار کنید (میل خورشید  $23.5^\circ +$ ). متوجه می‌شوید که مسیر خورشید در ارتفاع کمتری قرار دارد. در روز اول پاییز میل خورشید  $0^\circ$  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.



تصویر ۱۸: طلوع خورشید در لادریئوس (کلمبیا). زاویه مسیر خورشید نسبت به افق برابر با متمم عرض جغرافیایی آن است ( $90^\circ - 4^\circ = 86^\circ$ ). (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  $0^\circ$  است. می‌توانید خورشید را بر روی روز اول 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.

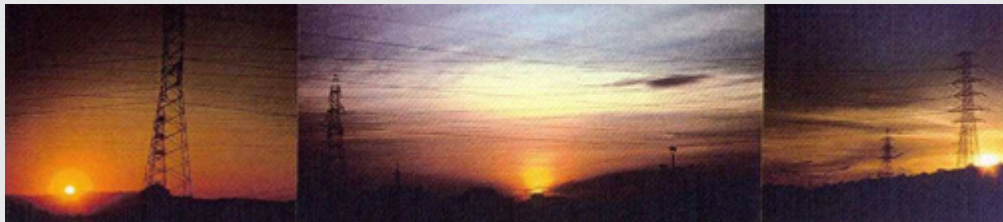
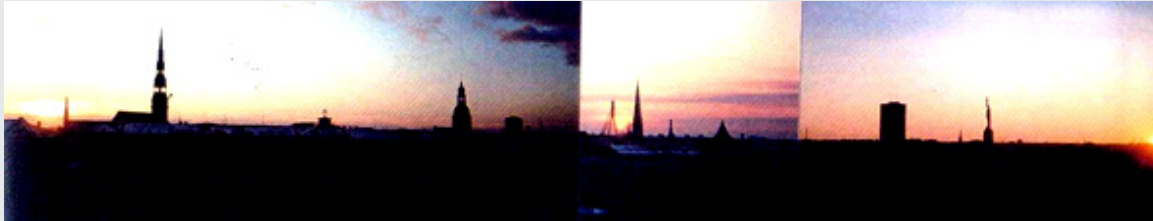
آزمایش را برای همان عرض جغرافیایی در روزهای متفاوت تکرار کنید. وقتی که خورشید را در نخستین روز تابستان اول تابستان (۲۱ ژوئن) در راستای استوا حرکت بدهید (میل خورشید  $23.5^\circ +$ ) متوجه می‌شوید که مسیر خورشید بالاتر از روز اول بهار است. در آخر، آزمایش را برای روز اول زمستان (۲۱ دسامبر) تکرار کنید (میل خورشید  $23.5^\circ -$ ). متوجه می‌شوید که مسیر خورشید در ارتفاع کمتری قرار دارد. در روز اول پاییز میل خورشید  $0^\circ$  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).

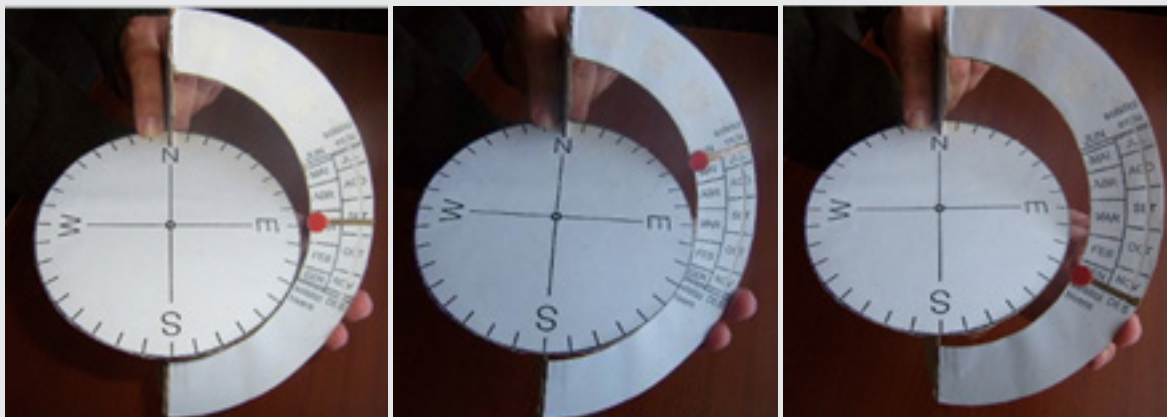
• طلوع و غروب روزانه خورشید در مکان متفاوت

بیان شفاف تر فاصله ی افقی بین طلوع (یا غروب) در اولین روز دو فصل متوالی، با افزایش عرض جغرافیایی افزایش می یابد (تصویر ۲۰).

در آزمایش های پیشین اگر روزانه به محل طلوع یا غروب خورشید توجه کنید متوجه تفاوت مکان آن ها می شوید. به



تصویر ۱-۲۰، ۲-۲۰ و ۳-۲۰: طلوع آفتاب به ترتیب در ریگا (لتونی) با عرض جغرافیایی  $57^\circ$ ، بارسلونا (اسپانیا) با عرض جغرافیایی  $41^\circ$  و پوپایان (کلمبیا) با عرض جغرافیایی  $2^\circ$ . اولین روز هر فصل (چپ: زمستان، وسط: بهار یا پاییز، راست: تابستان). غروب های تصاویر وسط در یک راستا قرار دارد. به راحتی می توان درک کرد که فاصله ی 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 Martinez از کلمبیا).



تصویر ۱-۲۱، 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. شبیه سازی به کمک این نشانگر بسیار ساده است. تنها کافی است که خورشید را برای هر فصل در دو عرض جغرافیایی مختلف مانند  $60^\circ$ ،  $40^\circ$  و  $0^\circ$  قرار دهید (تصویر ۲۱).

تصاویر ۲۰ مربوط به نیم کره ی شمالی است اما این پدیده در نیم کره ی جنوبی مشابه می باشد (تصویر ۲۲). تنها تفاوت در زمان فصل ها است.



تصویر ۱-۲۲، ۲-۲۲ و ۳-۲۲: غروب خورشید به ترتیب در یوپایان (کلمبیا) با عرض جغرافیایی  $2^{\circ}$ ، لاپیز (بولیوی) با عرض جغرافیایی  $19^{\circ}$ - و ایسکوئل (آرژانتین) با عرض جغرافیایی  $43^{\circ}$ - . 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 لاپیز است.

## ۲- نواحی قطبی: خورشید نیمه شب

### • تابستان و زمستان قطبی

اگر بخواهید عرض قطبی ( $90^{\circ}$  شمالی یا جنوبی) را به کمک نشانگر بررسی کنید سه حالت ممکن است. اگر میل خورشید  $0^{\circ}$  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.

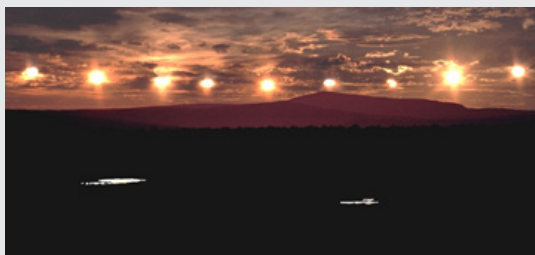
در نخستین روز پاییز خورشید در راستای افق حرکت می‌کند. از دومین روز پاییز تا آخرین روز زمستان خورشید در امتداد افق اما پایین‌تر از آن حرکت می‌کند. در این حالت نیمی از سال همیشه شب است.

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  $70^{\circ}$  جنوبی یا شمالی را بر روی نشانگر انتخاب کنید می‌توان مفهوم خورشید نیمه شب را شبیه‌سازی

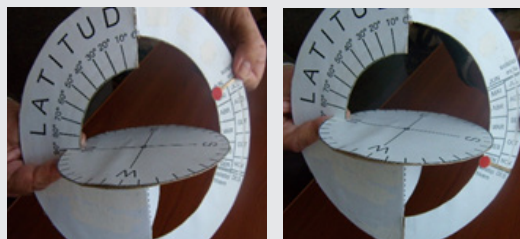
کرد. اگر خورشید را در اولین روز تابستان (اولین روز زمستان نیم‌کره‌ی جنوبی) قرار دهید متوجه می‌شوید که خورشید در این روز نه طلوع و نه غروب می‌کند. مسیر خورشید مماس با افق است؛ اما هرگز پایین‌تر از افق نمی‌رود. این پدیده به نام خورشید نیمه‌شب شناخته شده است. به علت اینکه خورشید حتی در نیمه‌شب بالاتر از افق است، این پدیده را خورشید نیمه‌شب نامیده‌اند (تصویر ۲۲).



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 ( $90^{\circ}$  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.

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 بوده است. 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.

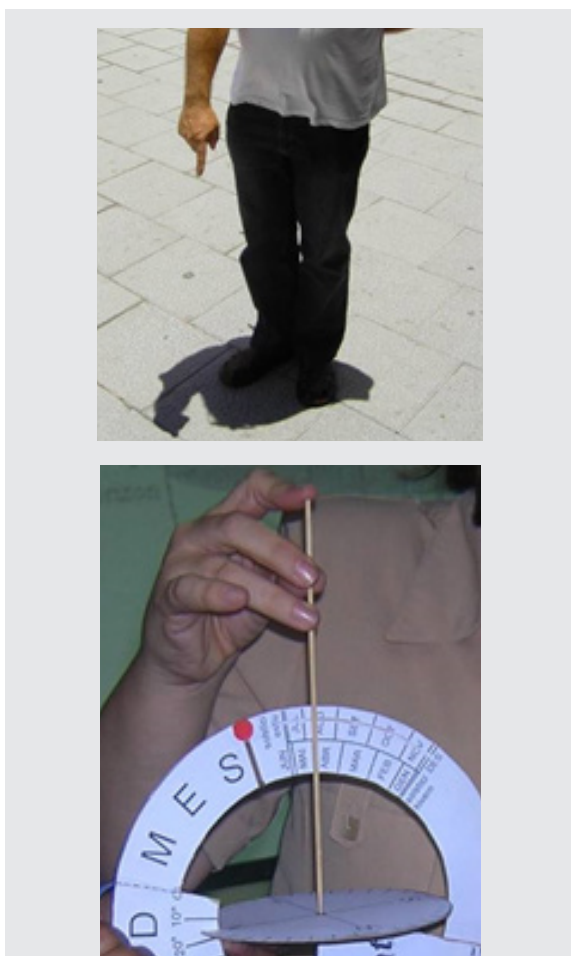


تصویر ۱-۲۴ و ۲-۲۴: به کمک نشانگر می‌توان نشان داد که خورشید در نیمی از سال بالای افق و در نیمی دیگر زیر آن قرار دارد.

### ۳- مناطق استوایی: خورشید در سرسو

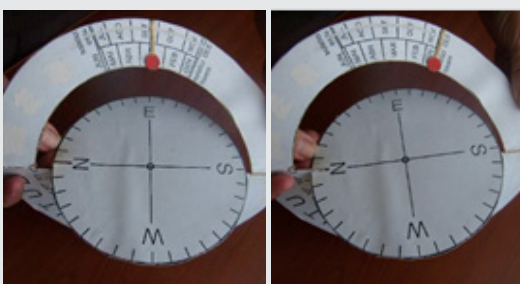
#### • خورشید در سرسو

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 ۱-۲۶ و ۲-۲۶: سایه کوچک (خورشید تقریباً 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.



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 تقریباً 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



تصویر ۱-۲۷، 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.

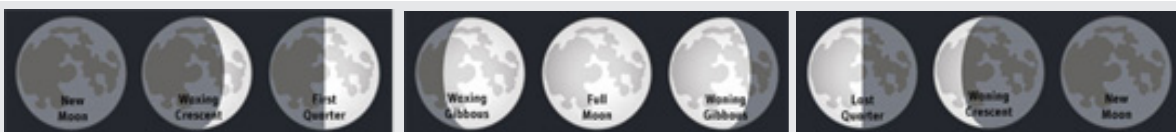
### نشانگر خیلی بزرگ

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 دانش‌آموزان 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 افزایش یافته یا دآور حرف "C" و هلال کاهش یافته یا دآور 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 (تصویر ۳۰) 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



تصویر ۲۹: فازهای ماه بر فراز افق

## 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 تصویر ۳۱ (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 (تصویر ۳۱) است را در آنجا قرار دهید. این ماه که در آن حضور دارد همان جایی است که خورشید

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 دانش‌آموزان 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  $5^\circ$  اختلاف دارد.

ماه نو زمانی رخ می‌دهد که ماه در راستای خورشید قرار بگیرد. حال اگر ماه در نقطه‌ای مخالف از دایره البروج قرار بگیرد ماه کامل رخ می‌دهد. در این حالت میل آن برعکس خورشید است (در حدود  $5^\circ$  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  $-29^\circ$  و  $-18^\circ$ ). 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 زاویه‌ی نسبی  $90^\circ$  می‌سازد. با این حال در مسیر دایره البروج ماه از خورشید دور است (تقریباً سه ماه اختلاف). در ماه ژوئن هلال ماه میلی نزدیک به میل خورشید در ماه سپتامبر را دارد ( $0^\circ$ ). در ماه سپتامبر میلی نزدیک به میل خورشید در ماه دسامبر ( $23.5^\circ$ ) و ...



تصویر ۱-۳ و ۲-۳: ساخت نشانگر ستاره‌ای

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).

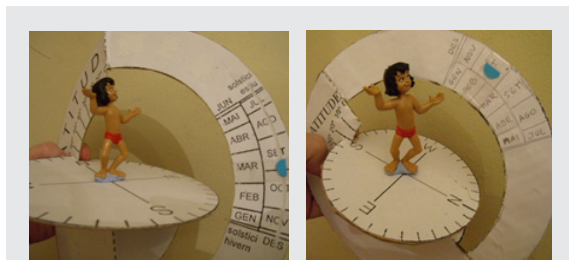
اگر عرض جغرافیایی انتخابی ۲۰° شمالی یا جنوبی باشد ناظر در نزدیکی استوا است و ماه را به صورت ماه لبخندی "U" می‌بیند. ماه در مقایسه با مثال قبل در امتداد خطی که به افق عمودتر است حرکت می‌کند (تصویر ۳۲). شکل "U" با تغییر ماه تغییر نمی‌کند و در کل سال به همین شکل دیده می‌شود.

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 "∩" باز خواهد 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 کمتری 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 پایین تراز 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 "∩" باز خواهد گشت.

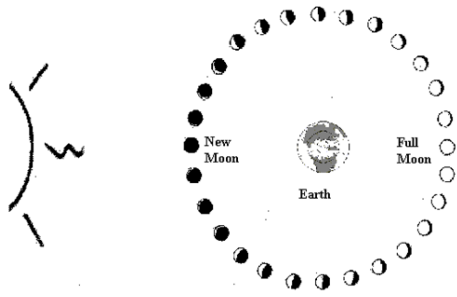
برای ساکنین نواحی با عرض‌های جغرافیایی میانی ماه در موقعیتی بین شکل "U" و "C" طلوع و غروب خواهد کرد. و میزان خمیدگی آن وابسته به عرض جغرافیایی ناظر است.

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.







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 تقریباً با هم برابر است (تقریباً 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 درجه‌ای 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 سربیکی از افراد به ماه‌ها تابیده می‌شود به طوری که از دید زمین فازهای مختلف ماه شبیه‌سازی شود؛ گاهی اوقات ماه کاملاً روشن است (ماه کامل)، نیمی از ماه روشن است (تربیع) و گاهی اوقات کاملاً

## 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 جزو 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 نورخ 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).

تاریک است (ماه نو).

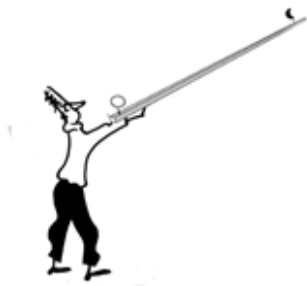
هرچه تعداد داوطلب‌ها برای ماه بیشتر باشد، فازهای مختلفی را می‌توان شبیه‌سازی کرد.

### شبیه‌سازی فازهای ماه:

در یک روز آفتابی که ماه در طول روز مشخص است چوب را به گونه‌ای به سمت ماه بگیرید که توپ کوچک تریه 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.



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

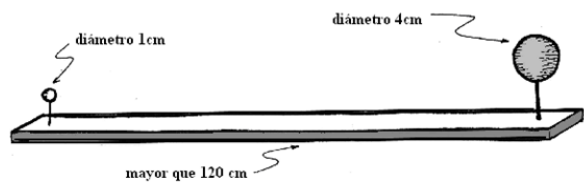


شکل ۴: استفاده از مدل در حیاط مدرسه

بهبتر 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.

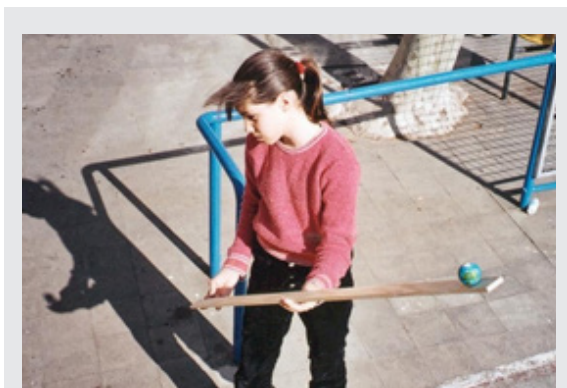
### شبیه‌سازی ماه گرفتگی

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.



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.



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

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	۱۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر	۴۷۰۰ سانتی‌متر = ۴۷ کیلومتر

جدول ۱: فواصل و قطرها جرم سیستم زمین- ماه- خورشید



تصویر ۶: تصویر ترکیبی از ماه گرفتگی قمر زمین از میان سایه مخروطی زمین عبور می‌کند.

### شبیه‌سازی خورشید گرفتگی

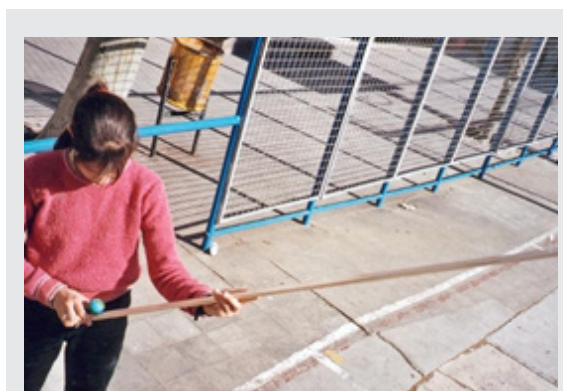
توپ کوچک‌تر (ماه) به سمت خورشید قرار می‌گیرد. سایه آن بر روی توپ زمین تشکیل می‌شود. با انجام این فعالیت خورشید گرفتگی شبیه‌سازی شده و سایه کوچک ماه بر برخی نواحی زمین مشخص خواهد بود (تصاویر ۷ و ۸).



تصویر ۸: جزئیات تصویر ۱-۷



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

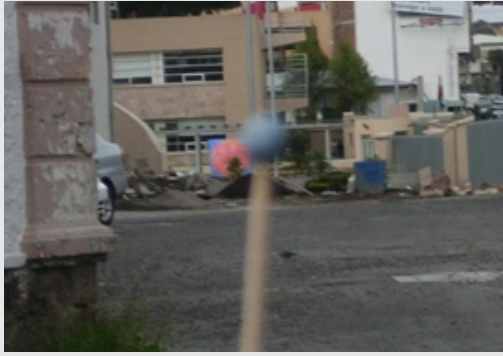


تصاویر ۱-۷ و ۲-۷: شبیه‌سازی خورشید گرفتگی

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

### • رصد

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

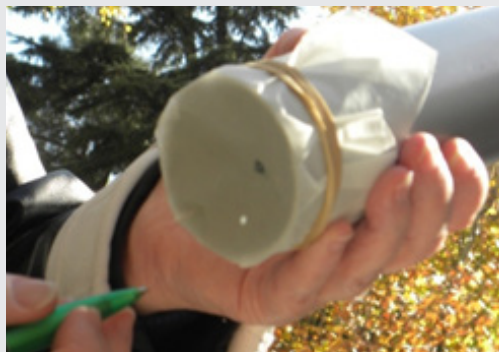


تصویر ۱۱: تماشای خورشید و ماه در مدل

### 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 آلومینیومی یا پلاستیک به عنوان محور اصلی انجام دهید.

- ۱- یک سمت استوانه را با کاغذی نیمه‌شفاف و سمت دیگر را با فویل آلومینیومی بپوشانید. با استفاده از یک پونز در فویل آلومینیومی 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

- 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.

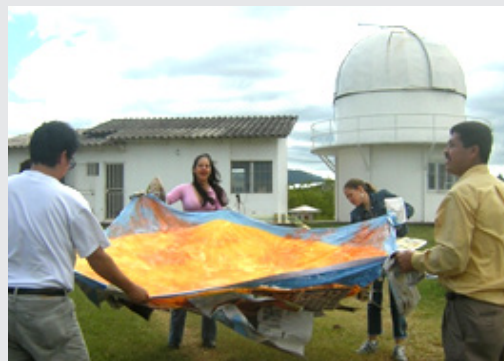
### مدل خورشید- ماه

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 دانش‌آموزان 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.

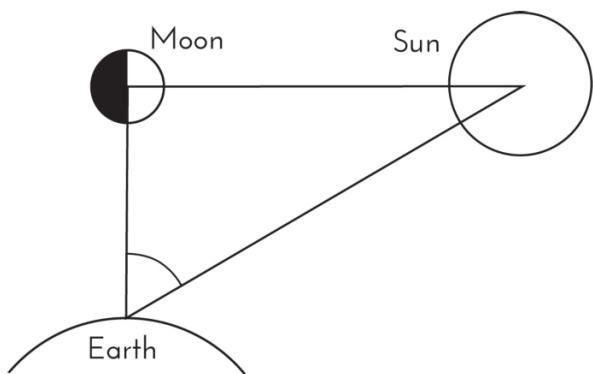
قطر زمین	۱۲۸۰۰ کیلومتر	۲۰۱ سانتی‌متر
قطر ماه	۳۵۰۰ کیلومتر	۰.۶ سانتی‌متر
فاصله میان زمین و ماه	۳۸۴۰۰۰ کیلومتر	۶۰ سانتی‌متر
قطر خورشید	۱۴۰۰۰۰۰ کیلومتر	۲۲۰ سانتی‌متر
فاصله میان زمین و خورشید	۱۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر	۲۳۵ متر

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



تصویر ۱۰: مدل خورشید

تصویر دو مثلث متشابه وجود دارد.



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 کاملاً 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

$$ES = 400 EM$$

البته آریستاخوس این مقدار را  $ES = 19 EM$  محاسبه کرد

### رابطه میان شعاع ماه و خورشید

$$R_S = 400 R_M$$

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:

$$R_S = 400 R_M$$

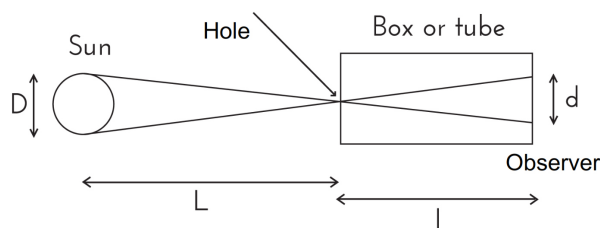
رابطه میان فاصله زمین و ماه و شعاع ماه یا فاصله میان زمین و خورشید و شعاع خورشید

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

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.



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

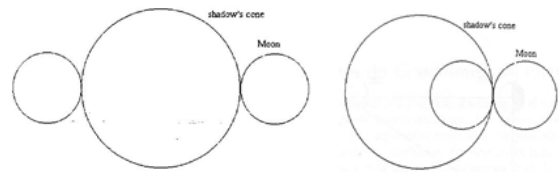
آریستاخوس (۳۱۰ تا ۳۲۰ سال پیش از میلاد مسیح) نسبت میان فواصل و شعاع اجرام سیستم خورشید - زمین - ماه را مشخص کرد. وی شعاع خورشید و ماه، فاصله میان زمین و خورشید، فاصله میان زمین و ماه را به نسبت شعاع زمین محاسبه کرد. سال‌ها بعد اراتوستن (۲۸۰ تا ۱۹۲ سال پیش از میلاد مسیح) شعاع زمین را محاسبه کرد؛ بدین 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).

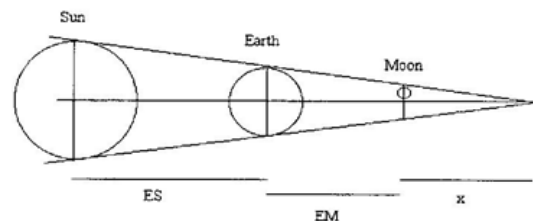
رابطه میان فاصله زمین تا خورشید و ماه، شعاع ماه، خورشید و زمین  
 آریستاخوس هنگام یک ماه گرفتگی متوجه شد مدت زمانی که طول می‌کشد ماه از میان سایه زمین عبور کند دو برابر زمانی است که طول می‌کشد که سطح ما پوشانده شود (شکل‌های ۱۶). او نتیجه‌گیری کرد که قطر سایه زمین دو برابر قطر ماه می‌باشد و نسبت آن‌ها به یکدیگر ۲ به ۱ است. امروزه میدانیم که این نسبت ۲۰۶ به ۱ می‌باشد.



شکل ۱۶-۲: محاسبه قطر ماه شکل ۱۶-۱: محاسبه مخروط سایه

### 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:

$$R_M = (401/1440) R_E$$

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 بار دیگر 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 زاویه سنج استفاده کنند.

این زاویه را  $87^\circ$  یا  $89^\circ 51'$  در نظر بگیرید (محاسبه دقیق این زاویه بسیار دشوار است).

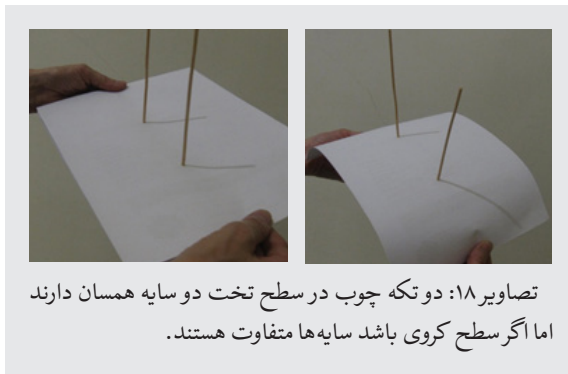
در طول یک ماه گرفتگی با استفاده از یک کورنومتر می‌توان زمان‌های زیر را محاسبه کرد: "اولین و آخرین تماس ماه با سایه مخروطی زمین" که همان قطر سایه مخروطی زمین است (تصویر ۱۷) و "مدت زمانی که طول می‌کشد تا ماه کاملاً در سایه زمین قرار بگیرد" که همان قطر ماه است (تصویر ۲۰). در نهایت می‌توان نسبت اندازه آن‌ها را محاسبه کرد (۲۰۶ 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 سینا 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 (تصاویر ۱۸).

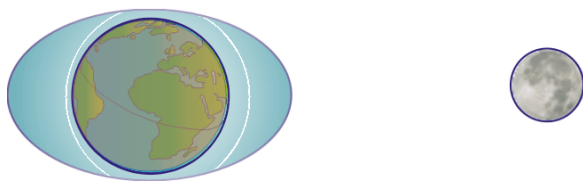


تصاویر ۱۸: دو تکه چوب در سطح تخت دو سایه همسان دارند اما اگر سطح کروی باشد سایه‌ها متفاوت هستند.

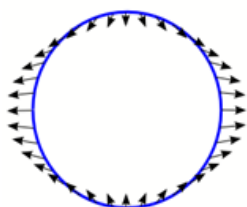
تصور کنید دو تکه چوب به صورت عمودی در زمین در دو شهر مختلف با یک نصف‌النهار مشابه قرار داشته باشند. هر دو چوب باید به سمت مرکز زمین باشند. برای اندازه‌گیری

چرخش زمین و نیروی گرانش خورشید و ماه می باشد. اگر چه این تاثیر بسیار اندک است اما حالت کف دریا و ساحل نیز بر جزر و مد تاثیر می گذارد. هر دوره جزر و مد تقریباً ۱۲.۵ ساعت طول می کشد.

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



شکل ۲۰: تاثیر جزر و مد بر آب دریاها



شکل ۲۱: تفاوت سطح ارتفاع آب در بخش های مختلف زمین

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

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

نیروی گرانش ماه بر زمین تاثیر می گذرد. 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 می شود از این رابطه بدست می آید:

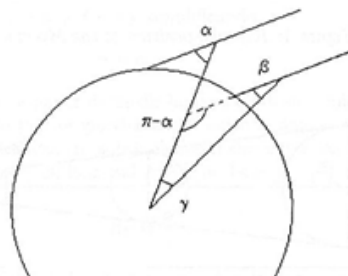
$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

$m_L$ : جرم ماه

$d$ : فاصله ماه تا نقطه ای از زمین

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

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



تصویر ۱۹: جابجگذاری شاقول و زوایا در آزمایش اراتوستن

با موازی در نظر گرفتن پرتوهای خورشید برای هر شاقول یک سایه به وجود می آید. با محاسبه طول شاقول و سایه آن و با استفاده از تانژانت اندازه دو زاویه آلفا و بتا را بدست می آوریم (شکل ۱۹). زاویه مرکزی گاما را می توان 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 آورده ایم.

در نهایت رابطه زیر برقرار است:

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

سپس به این نتیجه می رسیم که:

$$R_E = d/\gamma$$

زاویه گاما را می توان با رصد و فاصله میان دو شهر را می توان 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 الجاندريا به خوبی شعاع زمین را محاسبه کرد.

هدف از انجام این فعالیت دست یابی به نتیجه صحیح نمی باشد بلکه دانش آموزان باید متوجه شوند که برای بدست آوردن نتیجه می توانند از تمام خلاقیت های ذهنی خود و امکانات موجود استفاده کنند.

## جزر و مد

جزر و مد افزایش و کاهش سطح آب دریاها را زمین در اثر

mentos 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.

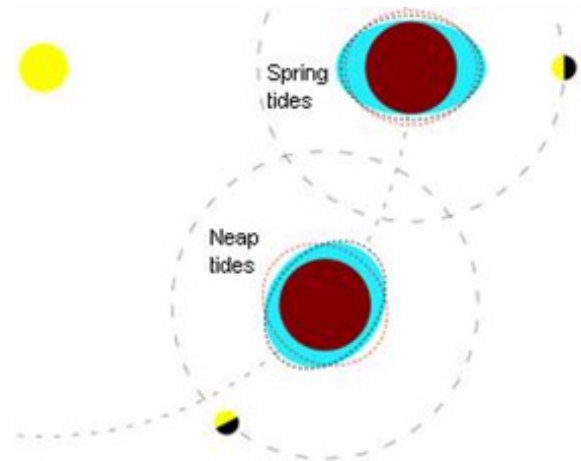
- Ros, R.M., Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities, Proceedings of 9th EAAE International Summer School, 135, 149, Barcelona, 2005.

- 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.

از زمین که نزدیک به ماه است بیشتر می باشد. بدین ترتیب سطح آب اقیانوس ها شکلی بیضوی به خود می گیرد (شکل ۲۱).

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



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., Experi-



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

رزا ماریا رز - اتحادیه بین المللی ستاره شناسی دانشگاه  
مهندسی کاتولونیا (بارسلونا)

### چکیده

برای توسعه مهارت های رصدی، دانش آموزان به مجموعه ای از ابزارهای ساده نیاز دارند. دانش آموزان می توانند تعدادی از این ابزارها را ساخته و سپس از آن ها برای رصد آسمان در مدرسه خودشان استفاده کنند.

با استفاده از این ابزارها دانش آموزان به صورت ساده و پایه ای با ابزارهای متنوعی که برای تکمیل آن ها قرن ها، زمان سپری شده، چگونگی توسعه یافتن و الزامی شدن آن ها آشنا می شوند. توانایی ساختن و مهارت استفاده از این ابزارها برای خواندن مشاهدات در ستاره شناسی بسیار اهمیت دارد. توسعه این الزامات با دانش آموزان آسان نیست به همین دلیل در این جا ابزارهای بسیار ساده را پیشنهاد می دهیم.

### اهداف

- پی بردن به اهمیت یک رصد دقیق.
- پی بردن به نحوه استفاده از ابزارهای متنوعی که توسط دانش آموزان ساخته می شود.

### رصد

ما می توانیم زمان و موقعیت اجرام سماوی را با استفاده از ابزارهای ساده ای دست ساز خودمان بدست آوریم. در اینجا ما اطلاعاتی در زمینه فراهم کردن ابزارهای رصدی مورد نیاز در کیف یک ستاره شناس تازه کار را به شما ارائه می دهیم. کیف و محتویات آن با ابزارهای ساده ای مانند: مقوا، چسب، قیچی و ... ساخته می شوند. بدون شک این فصل امکان بررسی بسیاری از ابزارهای مدرن و قدیمی دیگر را ارائه می دهد. هر دانش آموز با توجه به مهارت هنری و قدرت تخیل و خلاقیت، کیف مخصوص به خود را طراحی خواهد کرد. این فعالیت را می توان با توجه به گروه سنی دانش آموزان با استفاده از ابزارهای ساده و یا پیچیده تر، بهینه نمود.

- خط کش نجومی برای اندازه گیری 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 می توان به آسانی به مدرسه برد و یا در زنگ استراحت به سرعت آماده استفاده است. این کیف نباید بسیار بزرگ و یا شکننده باشد (به ویژه اگر برای دانش آموزان ابتدایی استفاده می شود). نکته ی بسیار مهم، دقت در اندازه گیری هدف نهایی این فعالیت نیست.

### محتویات (ابزارها)

بدیهی است که ما فقط می توانیم این فعالیت را در حیاط مدرسه در فصل تابستان شبیه سازی کنیم. ایده این است که با استفاده از ابزاری 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 می توانید ابزارهای خود را در این کیف کوچک، جمع آوری کرده و بچینید.

ابزارها شامل:

- خط کش نجومی جهت اندازه گیری زوایا: از این ابزار می توان برای اندازه گیری 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 می توان استفاده کرد. هنگامی که دانش آموزان 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 می توان سمت ستارگان را نسبت به شمال پیدا کرد. می توان از قطب نما جهت تنظیم جهت های شمال - جنوب استفاده کرد.

- گردونه آسمان: گردونه آسمان ابزاری است برای پیدا کردن صورت های فلکی در تاریخ و ساعت های متفاوت. صورت های فلکی بر روی یک صفحه به صورت واضح تصویر شده اند و در صفحه ی دیگر قسمتی که مربوط به عرض جغرافیایی منطقه است را بریده تا دایره ای ایجاد شود، حال صفحه ی صورت های فلکی را در میان آن قرار می دهیم. با چرخاندن گردونه و تنظیم تاریخ و ساعت رصد، صورت های فلکی اصلی را می توان در آن دایره ای که بر اثر برش ایجاد شده، دید.

- طیف سنج: این ابزار نور را به هفت رنگی تشکیل دهنده ی آن تجزیه می کند.

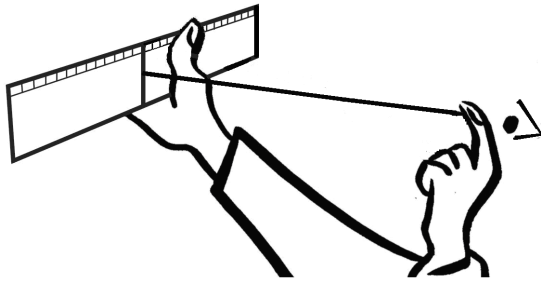
- نقشه ی ماه: یک نقشه شامل اسامی دریاها و حفره های

پس

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

برای ساخت خط کش؛ یک خط کش برمی داریم و نخ  
به طول ۵۷ سانتی متر را روی آن محکم می کنیم.  
نکته ی خیلی مهم: نخ نباید کش بیاید.  
چگونه از خط کش نجومی استفاده کنیم:  
• ما با انتهای نخ که تقریباً چشم ما را لمس می کند (روی  
گونه، زیر چشم)، نگاه می کنیم.

• ما می توانیم با استفاده از خط کش اندازه گیری کنیم و هر  
یک سانتی متر را برابر با یک درجه در نظر می گیریم. (شکل ۲)



شکل ۲: استفاده از ابزار (یک خط کش و نخ) به طول ۵۷ سانتی  
متر، ما می توانیم با در نظر گرفتن  $1 \text{ cm} = 1^\circ$  زاویه ها را اندازه بگیریم.

### تمرین پیشنهادی:

فاصله زاویه ای 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 دانش آموزان نیز بسیار جذاب است.  
برای ساختن ارتفاع سنج: در ابتدا ما به یک مقوای مستطیل  
شکل به ابعاد  $12 \times 20$  سانتی متر نیاز داریم. سپس مطابق شکل  
زیر برش های لازم را انجام می دهیم و دو حلقه کوچک در  
گوشه های آن ایجاد می کنیم. (شکل ۳)

برگه ی مربوط به زوایا (شکل ۴) را بریده و مطابق تصویر  
زیر (شکل ۳) آن را روی مقوا چسبانده، به گونه ای که یکی  
از قلاب ها در موقعیت صفر درجه قرار بگیرد (شکل ۳). سپس  
یک نخ در قسمت بالا بسته و از آن یک وزنه آویزان می کنیم.

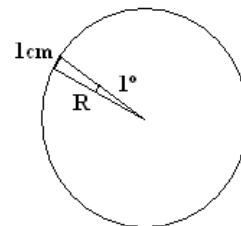
روی ماه که با استفاده از دوربین دوچشمی می توان رصد کرد.  
- چراغ قوه قرمز: برای روشن کردن نقشه و دیدن آن، قبل از  
مشاهده آسمان. نور سفید تطبیق چشم دانش آموزان با تاریکی  
را با مشکل مواجه می کند. اگر دانش آموزان در کیف خود چراغ  
قوه ی سفید دارند، یک طلق قرمز، در جلوی نور قرار دهید.  
اگر گروهی از دانش آموزان نور سفید داشته باشند ضمن ایجاد  
آلودگی نوری، رصد را با مشکل مواجه می کنند.

- قطب نما: برای تراز کردن ابزارها استفاده می شود.  
- البته ابزارهایی که هر دانش آموز باید با خود داشته باشد:  
مداد، ساعت، دفترچه یادداشت و در صورت امکان دوربین  
عکاسی.

با استفاده از دستورالعمل ها و طرح ها، به سادگی می توان  
ابزارها را ساخت و از آن ها استفاده نمود.

برای مثال، با استفاده از ارتفاع سنج می توان موقعیت (ارتفاع)  
درخت یا یک تپه را در روز تعیین کرد. در شب نیز، می توان  
موقعیت ستارگان مختلف و یا ماه را برای درک چرخه ی اهله  
آن اندازه گرفت. ما دانش آموزان را تشویق به یادداشت برداری  
می کنیم.

برای اولین شب رصدی، برای آشنایی با آسمان، بهتر  
است که از نقشه های ساده ی از پیش تهیه شده، که شامل  
صورت های فلکی اصلی هستند، استفاده شود. اگرچه  
نقشه های نجومی بسیار دقیق هستند، اما تجربه ی معلمان  
نشان می دهد که برخی مواقع استفاده از آن ها، 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 رابطه ی بین محیط دایره ای به فرمول  $2\pi R$   
بر حسب سانتی متر به  $360$  را در نظر می گیریم به گونه ای که هر یک  
سانتی متر،  $1$  درجه باشد:

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

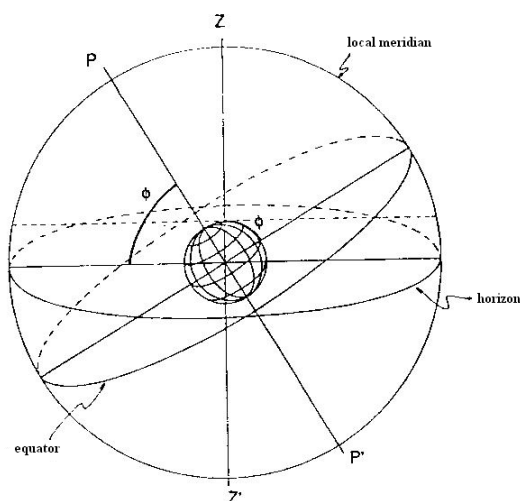
### چگونگی کار با ابزار:

• وقتی که از میان دو حلقه جسمی را مشاهده کردید که نخ نشانگر زوایه صفر را نشان داد، بیانگرافق است (شکل ۵). با استفاده از نای ای که از حلقه‌ها عبور کند ناظری عالی خواهیم ساخت و توسط آن می‌توانیم ارتفاع خورشید را با نمایاندن تصویر آن بر روی یک مقوای سفید به محاسبه کنیم. خطر: هرگز مستقیم به خورشید نگاه نکنید.

#### تمرین پیشنهادی:

عرض جغرافیایی مدرسه شما چقدر است؟

ما از ارتفاع سنج برای اندازه‌گیری 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.



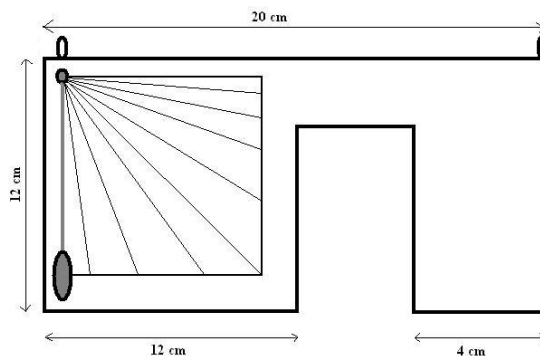
شکل ۶: عرض جغرافیایی مکان  $\phi$  برابر است با ارتفاع ستاره‌ی شمال در آن محل

### سمت یاب

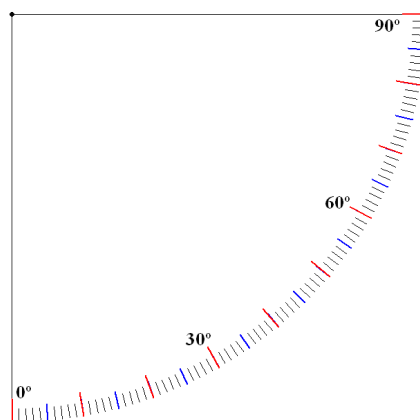
با استفاده از یک سمت یاب ساده، به راحتی می‌توان دومین پارامتر مختصات مورد نیاز برای تعیین مکان یک جرم آسمانی، را به دست آورد.

برای ساختن سمت یاب:

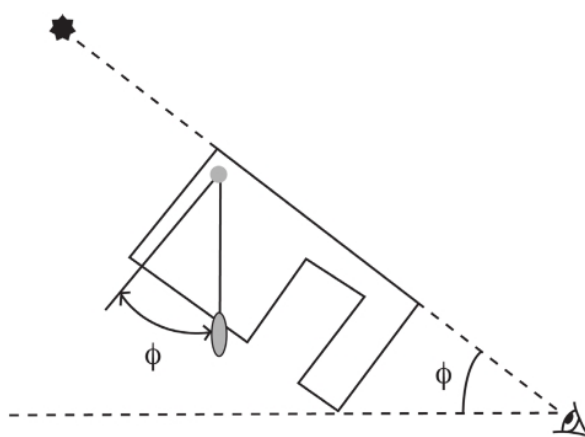
یک مقوای مستطیلی شکل به ابعاد  $۱۲ \times ۲۰$  سانتی متر برش دهید (شکل ۷ الف). سپس نیم دایره‌ی کاغذی (شکل ۸) را به گونه‌ای بر روی مقوای چسبانیم که قطر آن به موازات ضلع بزرگ مستطیل قرار بگیرد. سپس به کمک سه سوزن ته گرد، می‌توان جهت‌ها را بر روی سمت یاب مشخص کنیم. (شکل ۷ ب)



شکل ۳: ارتفاع سنج تفنگی



شکل ۴: درجه بندی ۹۰ درجه برای چسباندن بر روی ارتفاع سنج



شکل ۵ الف و ب: استفاده از زاویه یاب تفنگی

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

برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۷۰ درجه در نیم کره‌ی شمالی، با توجه به عرض جغرافیایی پنجره در شکل ۹ ث را برش می‌دهیم، و بر روی خطوط پیوسته تا می‌کنیم، حالا یک پاکت بدست می‌آید که محل قرارگیری نقشه‌ی ستارگان است که از قبل برش داده و آماده شده است (شکل ۱۰ الف).

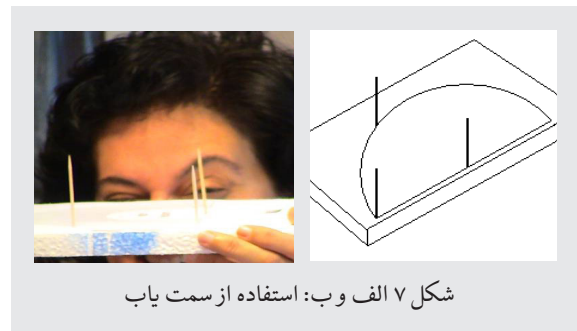
### نیم کره‌ی جنوبی

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

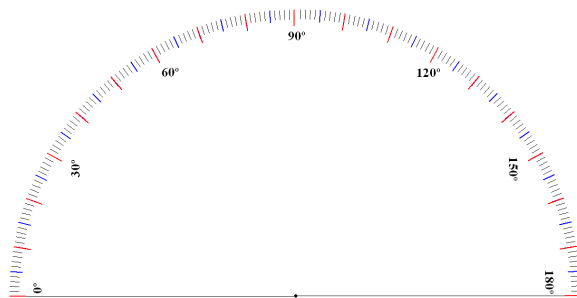
برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۷۰ درجه در نیم کره‌ی جنوبی، با توجه به عرض جغرافیایی پنجره شکل ۹ ج را برش می‌دهیم، و بر روی خطوط پیوسته تا می‌کنیم، حالا یک پاکت بدست می‌آید که محل قرارگیری نقشه‌ی ستارگان است که از قبل برش داده و آماده شده است (شکل ۱۰ ب).

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



شکل ۷ الف و ب: استفاده از سمت یاب



شکل ۸: درجه بندی ۱۸۰ درجه برای چسباندن بر روی 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:

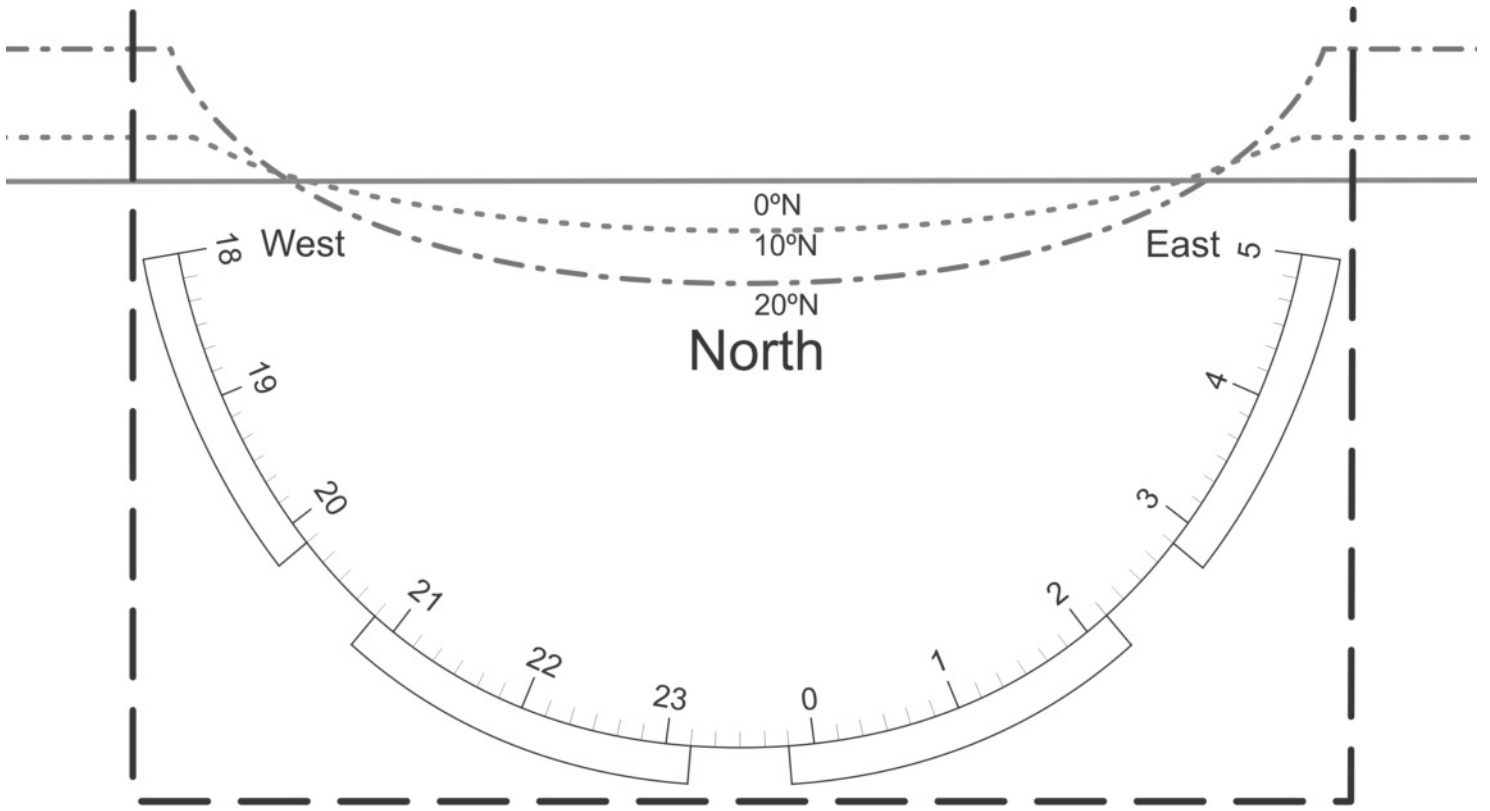
- سمت ماه را در امشب بدست آورید.
- با استفاده از ارتفاع سنج و سمت سنج، ارتفاع و سمت ماه را بدست آورید. برای مطالعه‌ی حرکت ماه در شب، شما می‌توانید مختصات ماه را سه بار در هر ساعت محاسبه کنید. با استفاده از این روش شما می‌توانید حرکت ماه و ستارگان را در آسمان با یکدیگر مقایسه کنید.

### گردونه آسمان

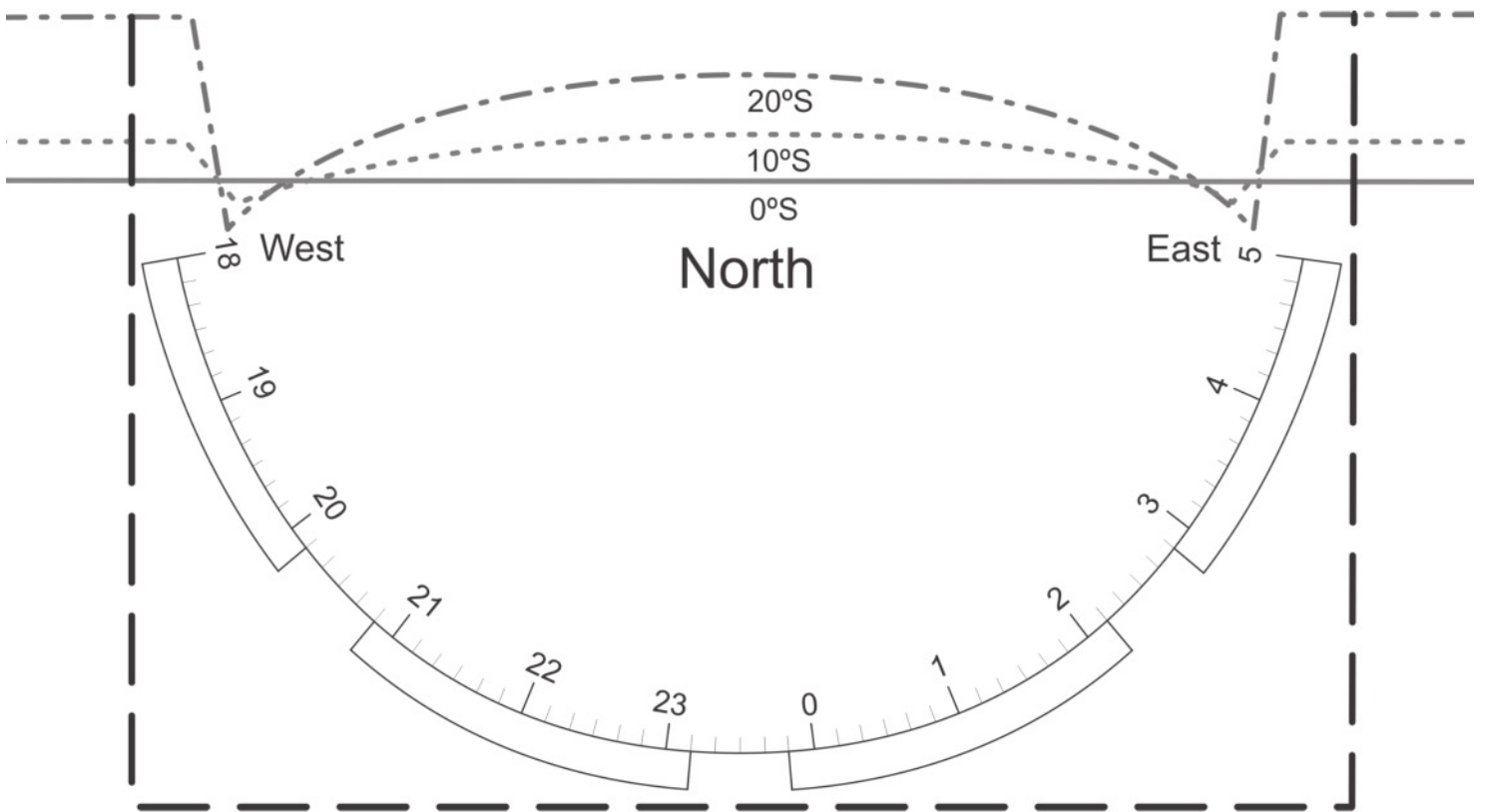
ما از نقشه ستارگان - با توجه به عرض جغرافیایی - برای آشنایی با صورت‌های فلکی استفاده می‌کنیم. در این بخش ما یک نمونه از این گردونه‌ها را خواهیم ساخت؛ ما توصیه می‌کنیم که با دستگاه کپی از آنها کپی تهیه کنید.

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.

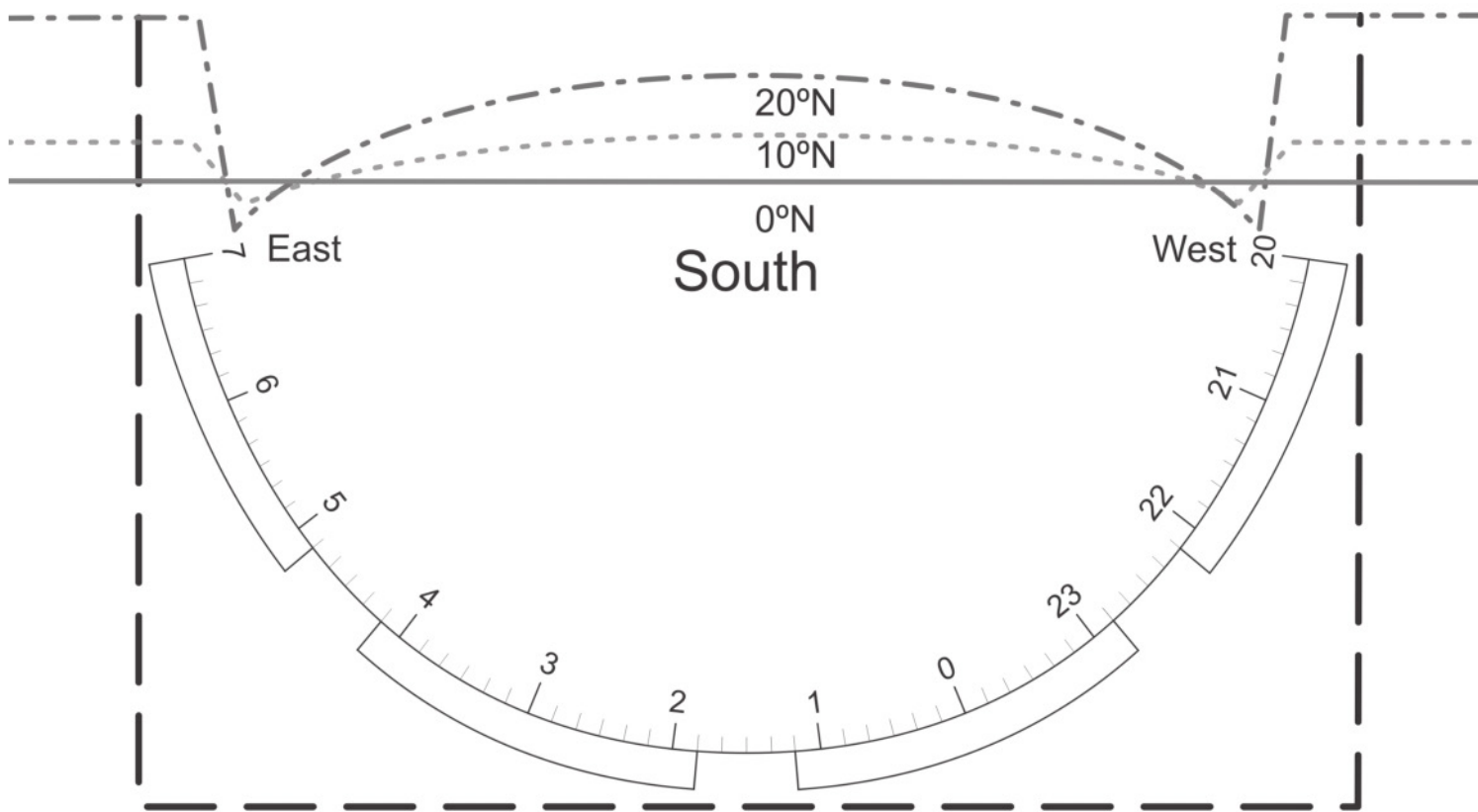
### نیم کره‌ی شمالی



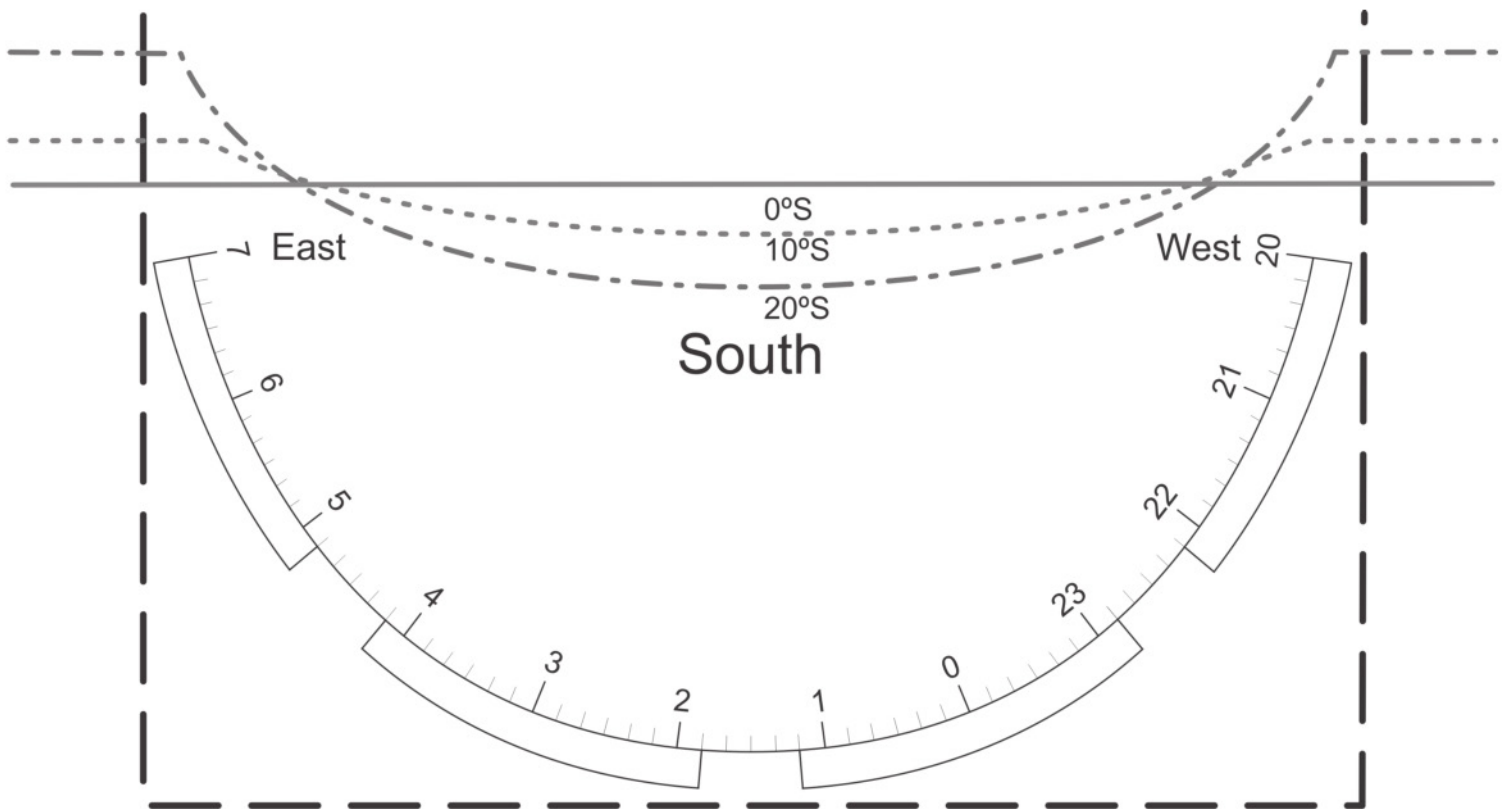
شکل ۹ الف: نگه دارنده برای افق شمالی در نیم کره ی شمالی (عرض ۲۰،۱۰۰ شمالی)



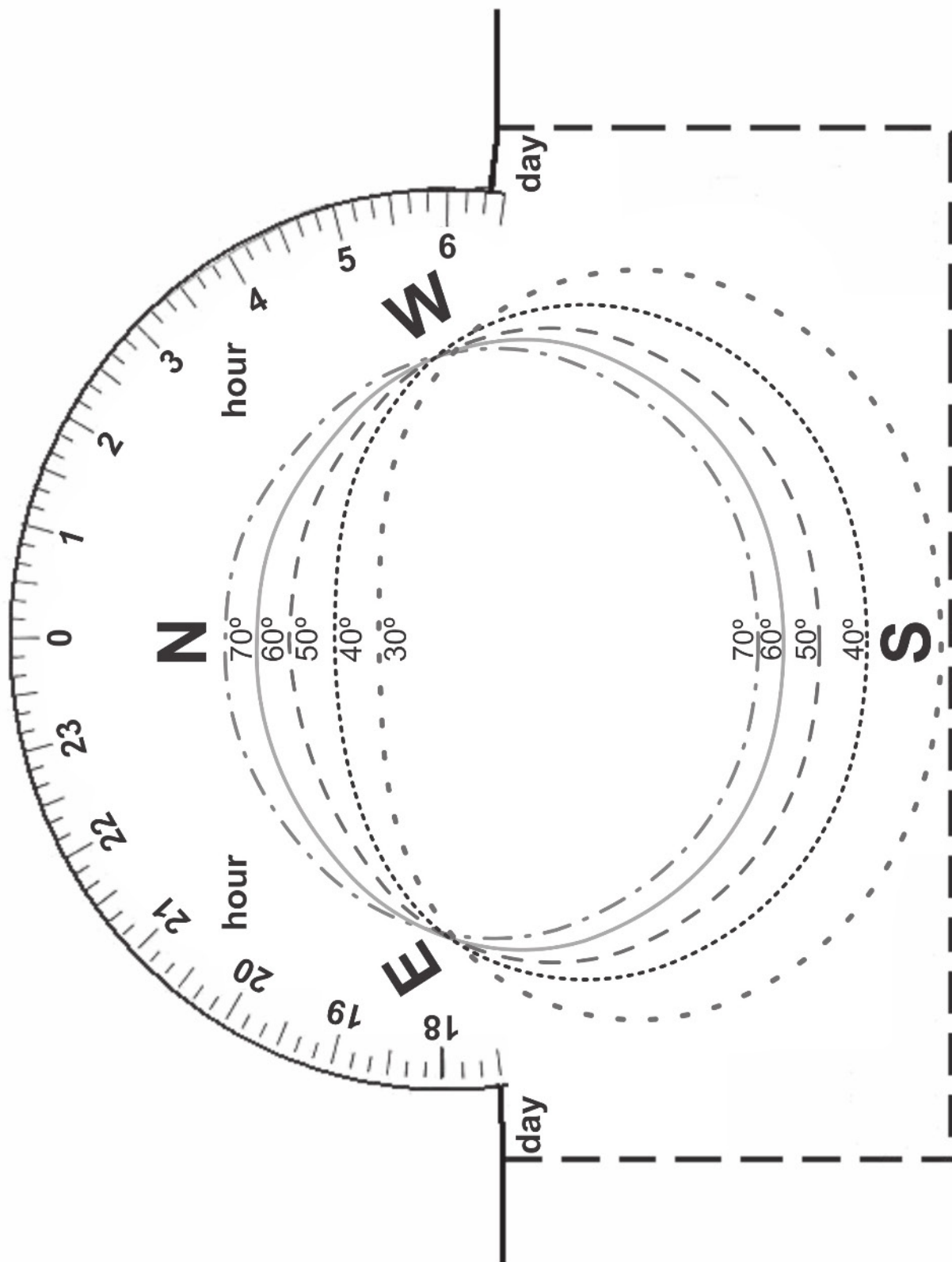
شکل ۹ ب: نگه دارنده برای افق جنوبی در نیم کره ی شمالی (عرض ۲۰،۱۰۰ شمالی)



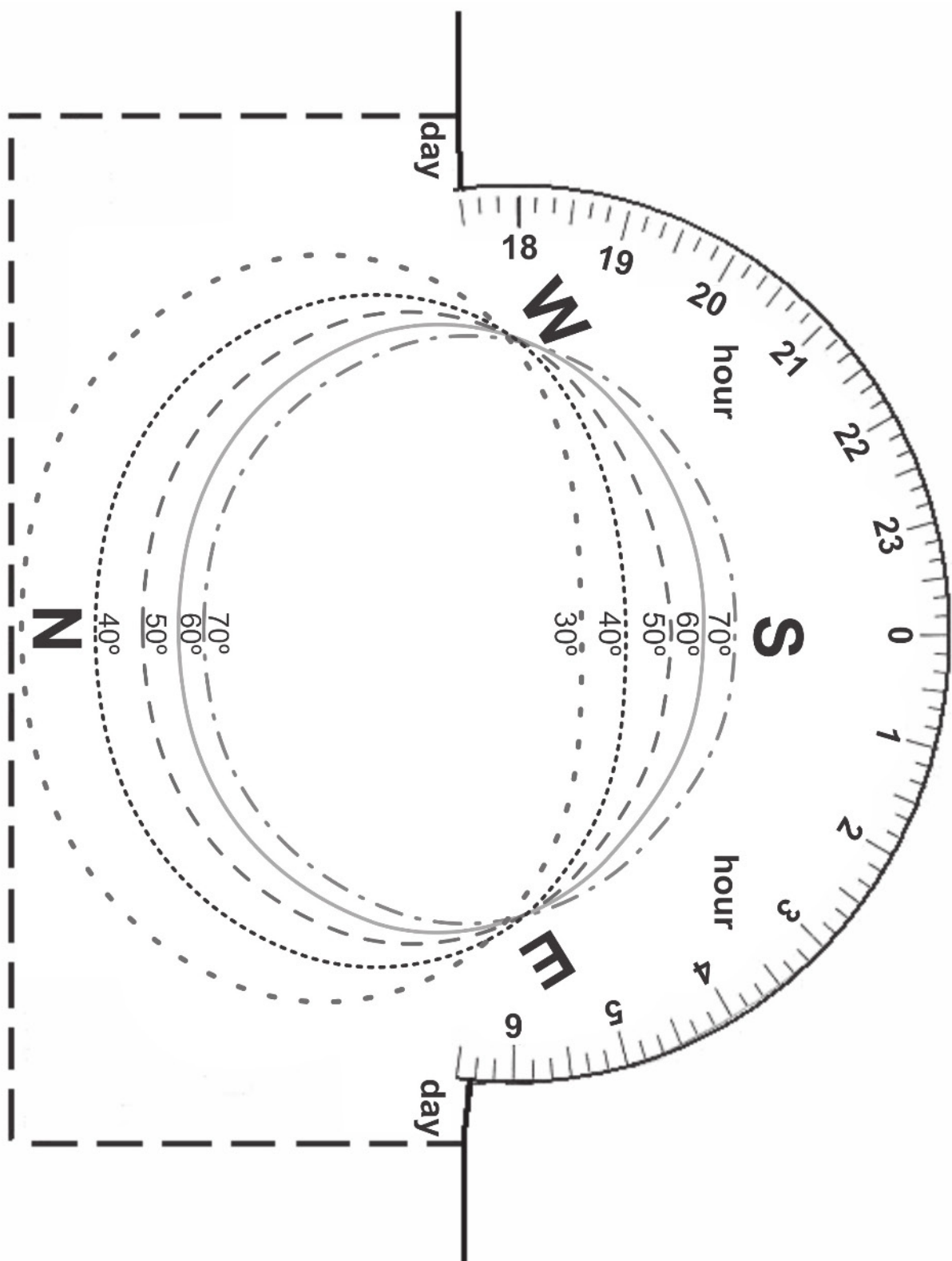
شکل ۹: ب: نگهدارنده برای افق شمالی در نیم کره ی جنوبی (عرض های ۲۰،۱۰،۰ جنوبی)



شکل ۹: ت: نگهدارنده برای افق جنوبی در نیم کره ی جنوبی (عرض های ۲۰،۱۰،۰ جنوبی)

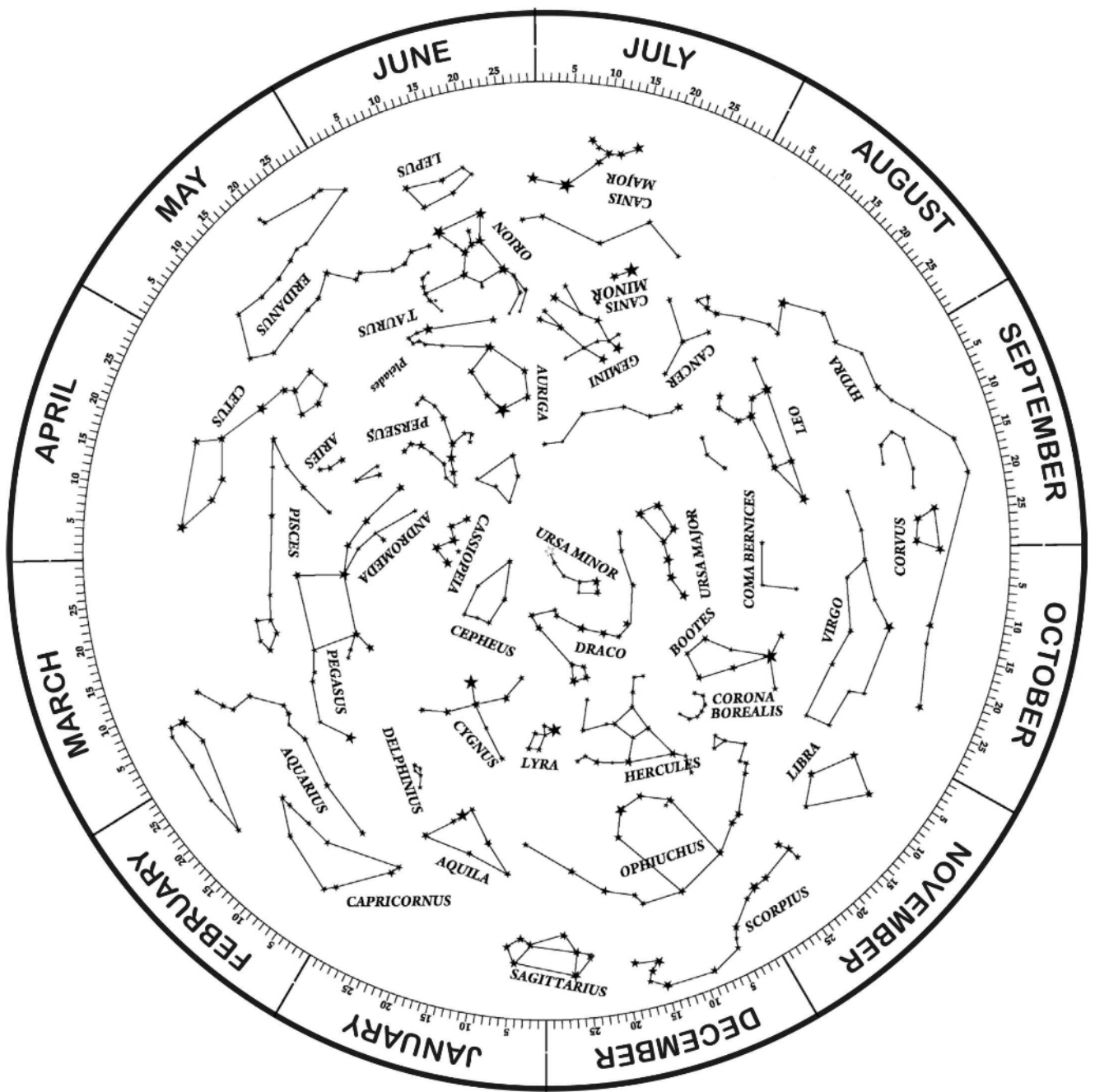


شکل ۹ ث: نگهدارنده برای نیم کره ی شمالی. عرض های ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ شمالی

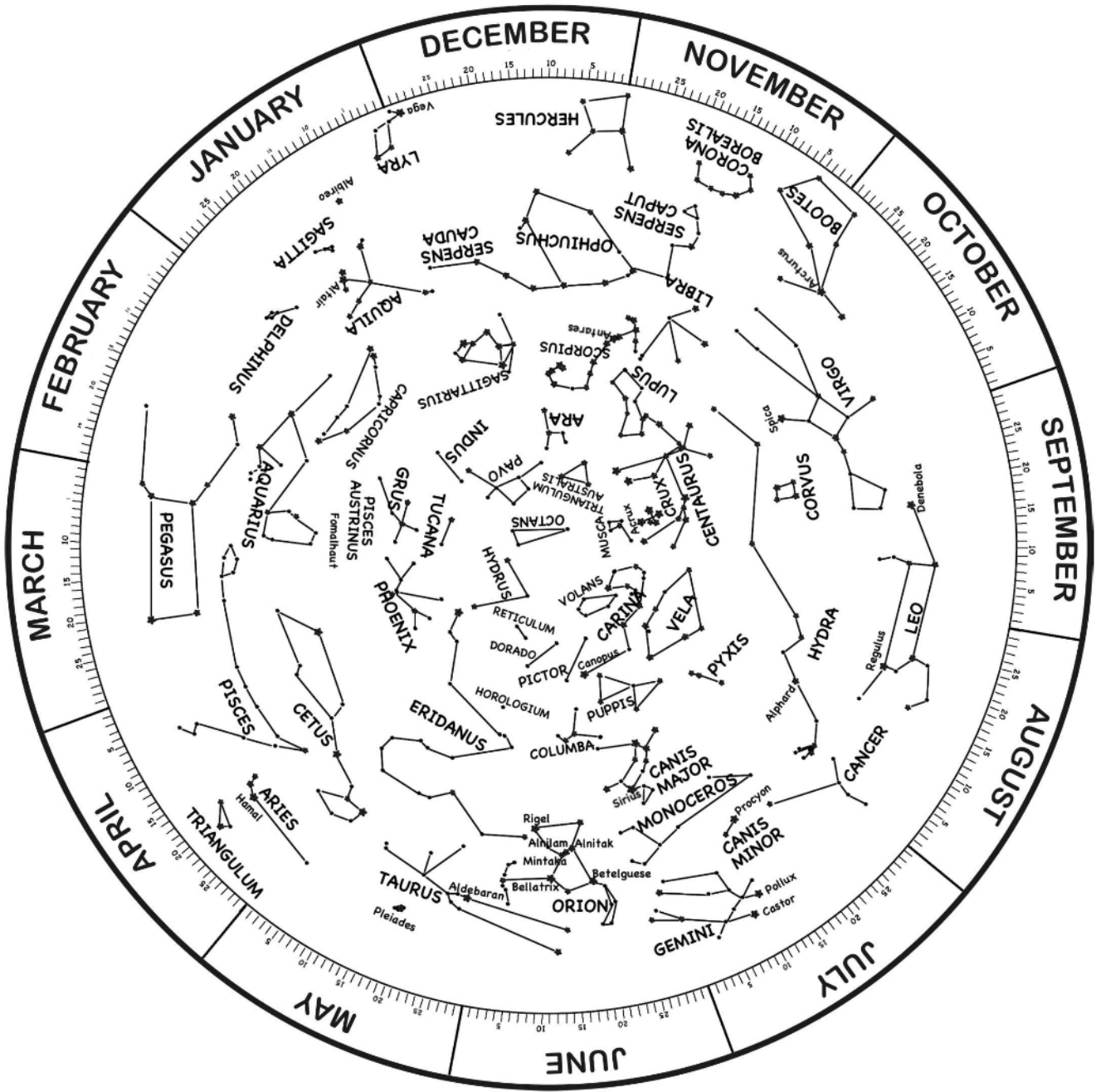


شکل ۹ ث: نگهدارنده برای نیم کره ی شمالی. عرض های ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰ شمالی





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 کره ی 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

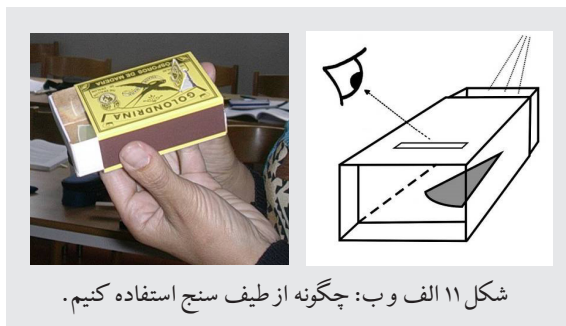
با عبور نور خورشید از این ابزار حساس، دانش آموز خواهد توانست طیف حاصل از تجزیه‌ی نور را مشاهده کند. این یک راه ساده است تا دانش آموز بتواند طیف ستاره‌ای را به کمک یک ابزار دست ساخته‌ی خود مشاهده کند.

### چگونه طیف سنج بسازیم:

داخل یک جعبه‌ی کبریت بزرگ (اندازه‌ای که در آشپزخانه استفاده می‌شود) را رنگ کنید. یک برش طولی (شکل ۱۱ ب) به عنوان محل مشاهده ایجاد کنید. یک سی‌دی 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.

استفاده شده، تغییرات ایجاد شده در طیف را می‌توانید مشاهده کنید.

### نقشه‌ی ماه

بسیار مناسب 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)

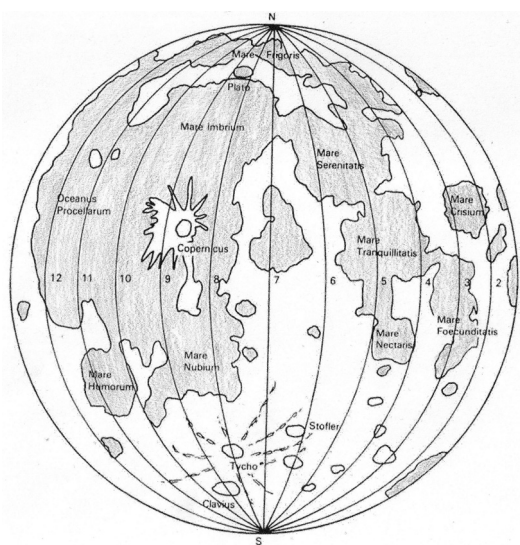
### چگونگی کار با ابزار:

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 تراست 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

### تمرین پیشنهادی

طیف خورشید را با طیف حاصل از نور فلئورسنت و یا سایر لامپ‌های موجود در مدرسه مقایسه کنید. توجه به نوع لامپ

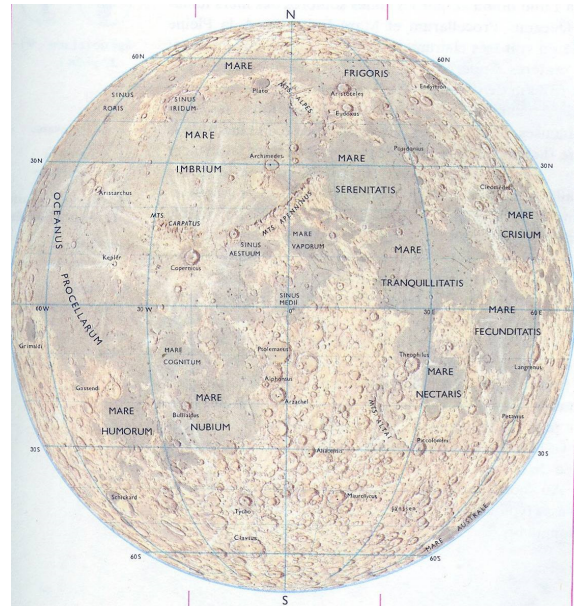
## نتیجه گیری

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

- افزایش اعتماد به نفس در اندازه‌گیری
- مسئولیت‌پذیری در برابر ابزارهایشان
- توسعه خلاقیت و مهارت‌های شخصی
- درک اهمیت دسته‌بندی 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.



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، مثلاً از گیره، سوزن و یا کمر بند 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 را بر روی ابزارها بنویسید و کیف خود را به هر صورتی که دوست دارید تزئین نمایید.



شکل ۱۴: کیف

## طیف خورشید و لکه‌های خورشیدی

الکساندر کوستا، بناتریس گارسیا، ریکاردو مورنو، اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی (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 موج‌های 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 در مورد 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.

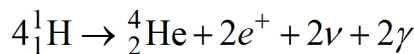
همچنین در زمینه تفاوت‌های موجود بین مناطق تابش‌های منظم خورشید و مناطق دارای لکه‌های خورشیدی صحبت خواهیم کرد. علاوه بر آن شواهدی از حرکت چرخشی خورشید ارائه خواهیم داد و چگونگی استفاده از مفهوم آن برای فعالیت‌های مدرسه‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### 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 گالیه 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:

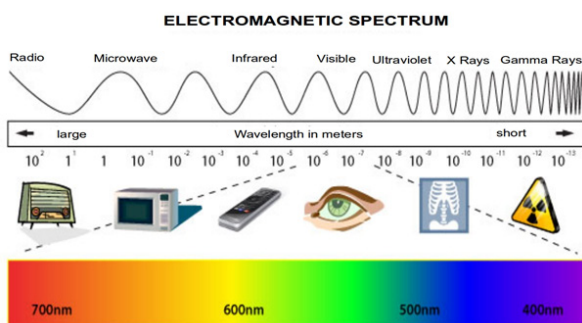


جرم نهایی فرآورده واکنش بالا از مجموع جرم واکنش دهنده‌ها یعنی چهار پروتونی که طی فرایند به هم اضافه شدند کمتر است. جرمی که طی واکنش از بین رفته، طبق معادله زیر که توسط انیشتین کشف شده است، به انرژی تبدیل می‌شود:

$$E = mc^2$$

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 می‌تواند 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.

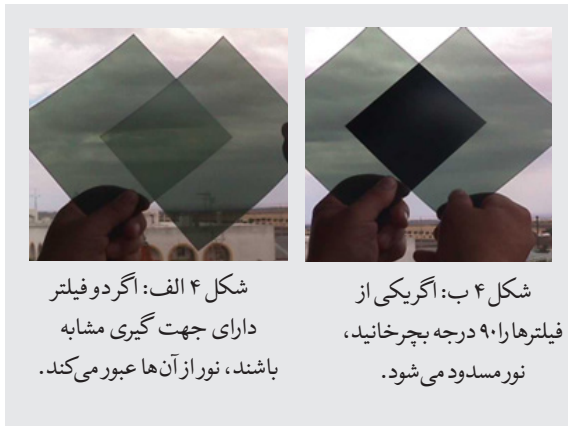
انرژی پس از تابش از خورشید با سرعت ۲۹۹,۷۹۳ کیلومتر بر ثانیه به شکل تابش الکترومغناطیس در فضا منتشر می‌شود. طیف الکترومغناطیس با طول موج یا فرکانس‌های متنوع خود، مطابق شکل ۱، به بخش‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شود.



شکل ۱: طیف نور خورشید

اگر فرکانس  $\nu$ ، طول موج  $\lambda$  باشد، سرعت نور را می‌توان با توجه به رابطه زیر به دست آورد:

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



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

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

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 و ب)

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) فیلم‌هایشان 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، تصاویر ضبط 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.

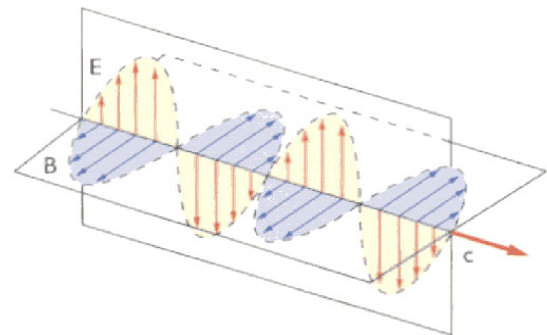
### فعالیت ۱: قطبش نور

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

اگرچه خورشید منبع اصلی بسیاری از طول موج‌ها است؛ ولی ما عمدتاً با بخش مرئی طیف خورشید سروکار 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.



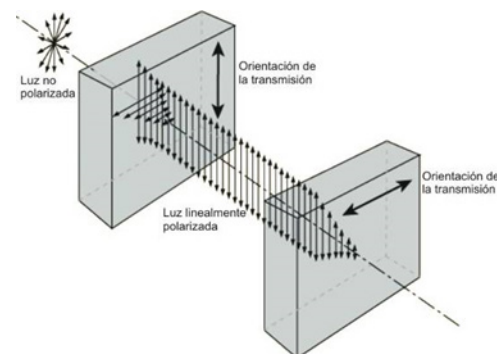
شکل ۲: نور قطبی شده

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)

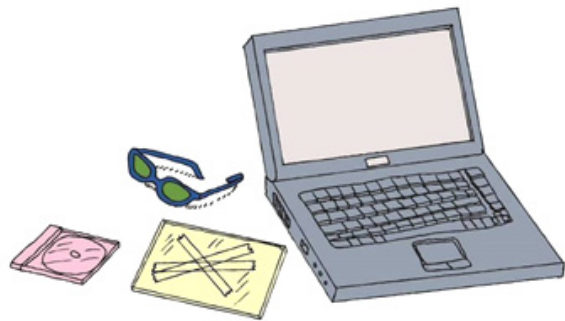


شکل ۳: هنگامی دو فیلتر با جهت قطبش عمود با هم داشته باشیم، نور با عبور از فیلتر اول عبور و توسط فیلتر دوم مسدود می‌شود

سبزی 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 پلارایزه 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 پلارایز متفاوت دیده می‌شوند.

چند تکه نوار چسب را بر روی یک شیشه (مثلاً شیشه قاب عکس) بچسبانید، به طوری که در قسمتی یک لایه، در قسمتی دو لایه روی هم و در قسمتی‌هایی سه لایه از نوار روی هم باشند (شکل ۶). 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 کمتر شده 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 در نظر 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.

### فعالیت ۲: مدل ساده از لایه‌های خورشید

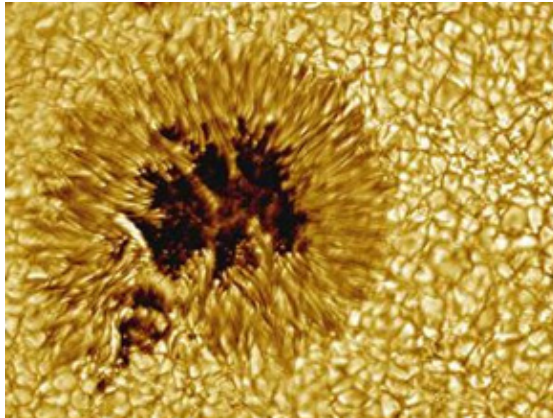
این فعالیت را می‌توان با بچه‌ها انجام داد. هدف این است که به کمک شکل‌های متفاوت زیر بخش‌های مختلف

خورشید را شبیه سازی کنید؛

(شکل های ۷ و ۸)

یا با رنگ های 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.



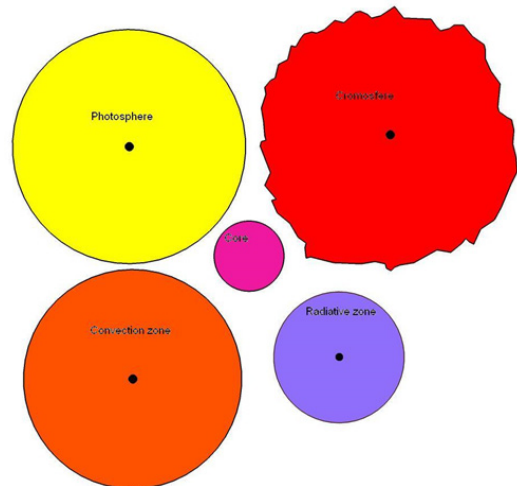
شکل ۹: تصویر نزدیک از سطح خورشید (عکس از: Vacuum Tower Telescope, NSO, NOAO)

لکه های خورشیدی با تلسکوپ کاملاً سیاه به نظر می رسند، اما این سیاه دیده شدن لکه ها فقط به خاطر نوعی اثر رنگ های متضاد و تفاوت شدت تابش لکه های 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 می توان دید که در واقع از ماه کامل نیز روشن تر است. این تفاوت شدت روشنایی لکه ها به این دلیل است که دمای آن ها بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد از سایر مناطق اطرافشان کمتر است.

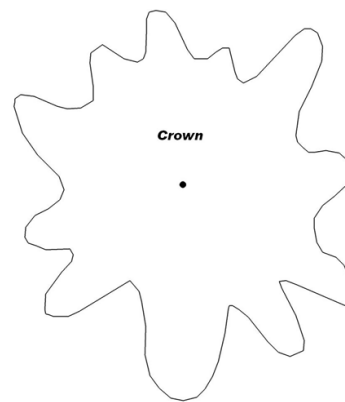
لکه های خورشیدی نتیجه برهمکنش میدان های مغناطیسی عمودی بسیار قوی خورشید با رنگین سپهر (فوتوسفر) هستند. لکه های خورشیدی از اهمیت تاریخی بالایی نیز برخوردار هستند؛ زیرا گاليله به وسیله آن ها توانست دوره چرخش خورشید را محاسبه کرده و دریابد که حرکت چرخشی در عرض های جغرافیایی مختلف خورشید متفاوت است؛ یعنی خورشید در استوا (دوره چرخش ۲۵٫۰۵ روز) نسبت به قطب ها (با دوره چرخش ۳۴٫۳ روز) سریع تر می چرخد.

### فعالیت ۳: تعیین دوره حرکت چرخشی خورشید

اندازه گیری دوره چرخش خورشید با استفاده از لکه های خورشیدی یک آزمایش ساده است که می توان آن را در کلاس درس انجام داد. در این آزمایش برای اندازه گیری دوره حرکت چرخشی خورشید باید طی روزهای متوالی حرکت لکه های 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 شکل ۱۰ الف و ۱۰ ب) انجام شود. هرگز نباید به صورت مستقیم یا حتی بدتر از آن با دوربین دو چشمی و یا تلسکوپ به خورشید نگاه کرد،



شکل ۷: بخش های مختلف خورشید آماده برای برش دادن



شکل ۸: جو خورشید برای برش

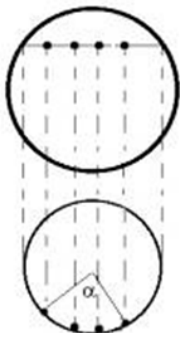
و در آخر می توانید آن ها را به ترتیب روی هم بچسبانید. (ترتیب قطعات از روی اندازه آن ها نیز قابل تشخیص است).

### لکه های خورشیدی

معمولاً نقاط تاریکی که بر روی سطح خورشید (فوتوسفر) مشاهده می شوند لکه های خورشیدی نامیده می شوند. یک لکه خورشیدی معمولاً از یک قسمت مرکزی به نام سایه و اطراف آن توسط رشته های تاریک و روشنی به نام سایه (که بخش مرکزی را احاطه کرده اند) تشکیل شده است. رشته های لکه های خورشیدی، معمولاً توسط دانه های رنگین سپهر (فوتوسفر) احاطه شده اند (شکل ۹).



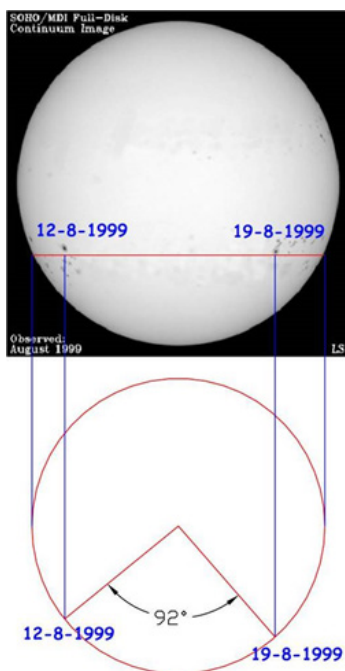
شده است (شکل ۱۲) و P دوره حرکت چرخشی خورشید است که می‌خواهیم آن را محاسبه کنیم. این محاسبه به دقت بالایی نیاز دارد.



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 اندازه‌گیری 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:

$$T = \frac{360^\circ \cdot 7 \text{ days}}{92^\circ} = 27,3 \text{ days}$$

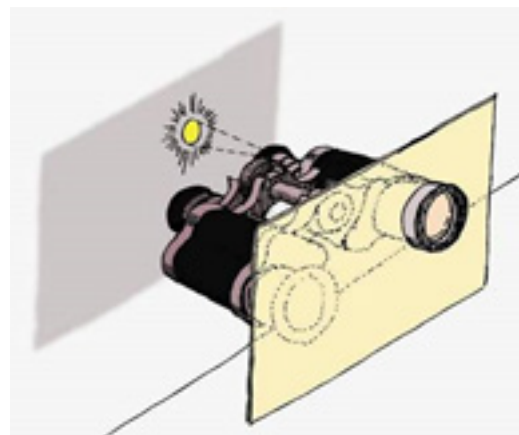


شکل ۱۱: محاسبه دوره حرکت چرخشی خورشید

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 ۱۰ ب: 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 مثال 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:

$$\frac{T}{t} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

در این جا t فاصله زمانی بین دو رصد یک لکه مشخص است،  $\alpha$  زاویه مرکزی بین دو جا به جایی لکه در نظر گرفته

## تابشی که از خورشید می آید

ستاره خورشید مانند یک راکتور هسته ای بسیار بزرگ است که در آن مقدار عظیمی از انرژی به طور مداوم تولید و به صورت فوتون ها به سطح آن منتقل می شود. فوتون ها ذرات حامل پرتوهای الکترومغناطیس هستند. انرژی فوتون ها را می توان به کمک فرمول زیر به دست آورد:

$$E = h \cdot \nu$$

در این معادله E انرژی فوتون ها، h ثابت پلانک ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ) و  $\nu$  فرکانس پرتو الکترومغناطیس مربوط به فوتون است. فوتون های تولید شده در خورشید، طیف الکترومغناطیس آن را تشکیل می دهند.

شدت درخشندگی خورشید (به زبان راحت تر، توان خورشید) بسیار زیاد است:

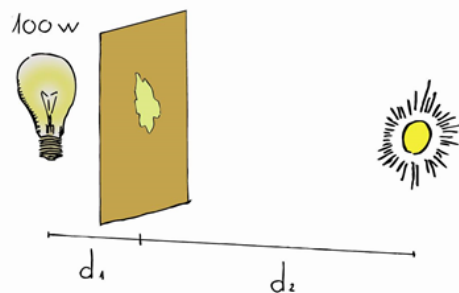
به صورتی که در هر ثانیه انرژی بیش از از تریلیون ها بمب اتمی تولید می کند. ما می توانیم انتقال این انرژی را به صورت حبابی بزرگ تصور کنیم که (مرکز آن خورشید است) و همینطور بزرگ و بزرگ تر می شود. مساحت این حباب  $4\pi^2$  است. اگر توان خورشید P باشد، انرژی خورشید در فاصله R بر حسب مترمربع به صورت زیر محاسبه می شود:

$$E = \frac{P}{4\pi R^2}$$

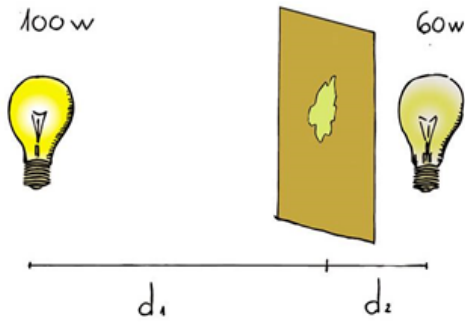
به عبارت دیگر، انرژی به شکل مربع معکوس از راه دور منتقل می شود. بنابراین با دانستن فاصله یک جرم، می توان، توان کلی آن را محاسبه نمود.

## 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.



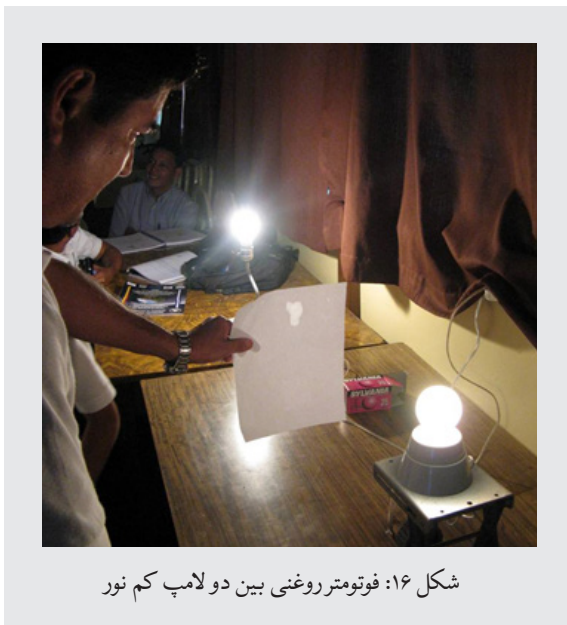
شکل ۱۴: مقایسه شدت روشنایی بین لامپ ۱۰۰ و خورشید



شکل ۱۵: اگر شدت روشنایی در دو طرف کاغذ برابر شود، لکه روغن دیگر دیده نمی شود.

ما می توانیم 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 می دهد). لکه ای که چند قطره روغن روی کاغذ ایجاد می کند کاغذ را کمی شفاف می کند. حالا این کاغذ نورسنج ما خواهد بود. با قرار دادن کاغذ بین دو منبع نور (مانند شکل ۱۴ و ۱۵) و حرکت دادن آن، می توان فاصله را به دست آورد که در آن لکه روغن محو می شود و کاغذ در آن کاملاً مات و معمولی دیده می شود. در این حالت نور و انرژی دریافتی در دو سوی کاغذ با هم برابر خواهد بود؛ که می توان برای این مورد آن را این طور نشان داد:

$$\frac{100}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{60}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$



شکل ۱۶: فوتومتر روغنی بین دو لامپ کم نور

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 دهید 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.

مات و شفاف با آنچه ما در زندگی روزمره استفاده می‌کنیم، تا حدودی متفاوت است.

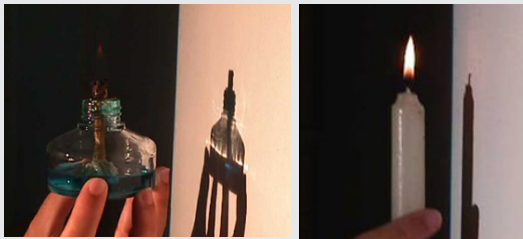
یک گاز بسته به نحوه جذب یا پراکندگی فوتون‌های عبوری از آن، می‌تواند شفاف یا مات باشد. برای مثال، جو ما نسبت به طول موج‌های مرئی طیف شفاف است ولی در یک روز مه آلود ما نمی‌توانیم چیزهای زیادی ببینیم، پس در این حالت نسبت به نور مرئی نیز مات است.

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 به دلیل احتراق ناقص باعث ایجاد دود سیاه ماتی می‌شود). این آزمایش بسیار ساده است. اشیاء 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 هیجان‌انگیز است (شکل ۱۱). شما می‌توانید با این آزمایش توضیح دهید که چگونه شید سپهر خورشید تقریباً در برابر تابشی شفاف است.



شکل ۱۸: 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.

طیف‌ها 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.

می‌دانیم که فاصله حدودی خورشید از زمین تقریباً برابر ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. این فاصله را  $d$  بنامید.

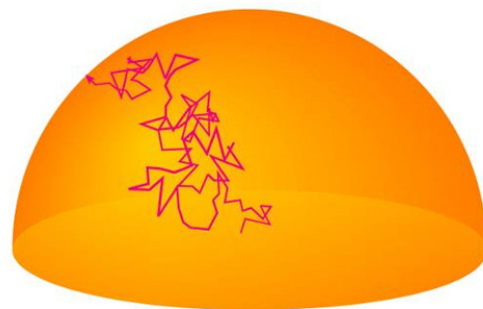
حال می‌توان قدرت خورشید را طبق قانون مربع معکوس محاسبه کرد. ( $4\pi$  در هر دو طرف معادله بود و در ساده کردن معادله خط خورد).

$$\frac{100W}{d_1^2} = \frac{P_{sun}}{d_2^2}$$

نتیجه باید به درخشندگی واقعی خورشید یعنی  $3,83 \times 10^{26} W$  نزدیک باشد.

**کدری** (در فارسی در این موقعیت هسته خورشید را مات می‌گویند)

انرژی حاصل از یک فوتون پرنرژی 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 دائماً 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 زیگ‌زاگی را طی می‌کنند و این فرایند به هزاران سال نیز می‌رسد (شکل ۱۷).



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

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 فرانیهوفر کشف و تأیید شد و به همین دلیل خطوط طیفی خورشید به افتخار کاشف آنها، خطوط فرانیهوفر نام گرفتند.

در جدول زیر حروف مربوط به خطوط طیف خورشید طبق تقسیم بندی فرانیهوفر در سال ۱۸۱۷ آمده است.

Letter	Wavelength (nm)	Chemical Origin	Color range
A	۷۵۹۳,۷	atmospheric O <sub>2</sub>	dark red
B	۶۸۶۷,۲	O <sub>2</sub> atmospheric	red
C	۶۵۶۲,۸	Hydrogen alpha	red
D1	۵۸۹۵,۹	Neutral Sodium	orange-red
D2	۵۸۹۰,۰	Neutral Sodium	yellow
E	۵۲۶۹,۶	Neutra Iron	green
F	۴۸۶۱,۳	H beta	cyan
G	۴۳۱۴,۲	CH molecular	blue
H	۳۹۶۸,۵	Ionized Calcium	dark violet
K	۳۹۳۳,۷	Ionized Calcium	dark violet

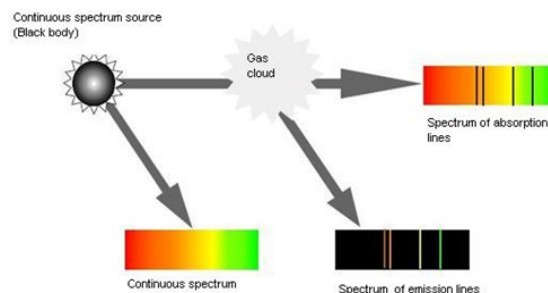
جدول یک: خطوط فرانیهوفر برای خورشید.

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



شکل ۱۹: قوانین کیرشهف و بونزن.

۱- یک ماده جامد (رشته ای)، نور را در یک طیف پیوسته منتشر می‌کند.

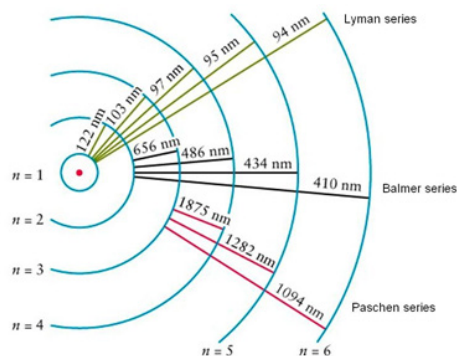
۲- یک گاز متراکم داغ، نوری با خطوط طیفی گسسته (بسته به ترکیب شیمیایی گاز) نشر می‌کند (طیف نشری).

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 نشان‌گر 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 (شکل ۲۰).

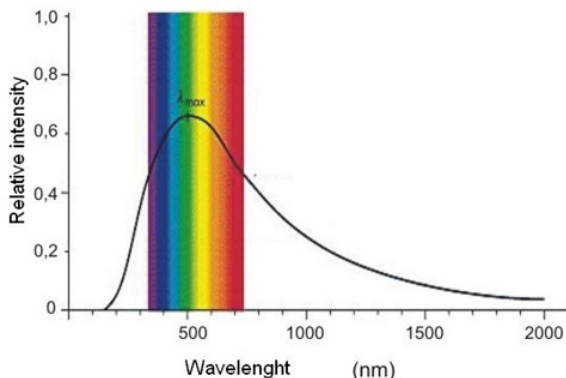
یک گاز سرد، می‌تواند همان خطوط انرژی که در زمان گرم شدن از خود نشر می‌کند را جذب کند. اگر گاز سردی را بین یک لامپ و طیف‌سنج قرار دهیم، گاز سرد همان خطوطی را از طیف پیوسته منبع نور جذب می‌کند که در هنگام گرم بودن از خود نشر می‌کند.



شکل ۲۰: سری طیفی اتم هیدروژن. انتقالات ممکن بین سطوح مختلف همیشه میزان انرژی مشابه‌ای دارند.

این اتفاقی است که در جو خورشید رخ می‌دهد. عناصر

طول موج تابش جسم سیاه همانطور که در شکل ۲۲ نشان داده شده است، حدود ۵۰۰ nm است.



شکل ۲۲: 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.

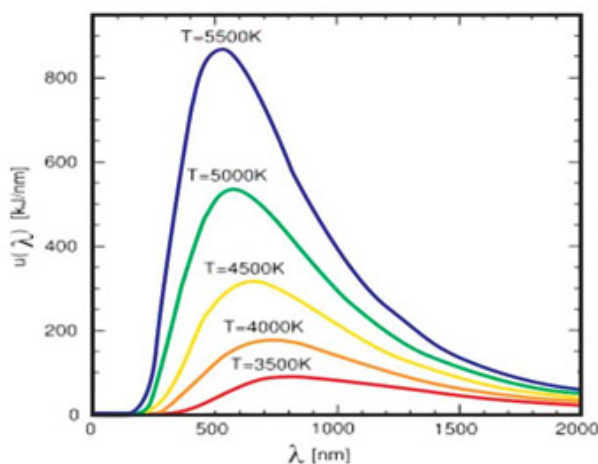
این اتفاق هنگامی رخ می‌دهد که نور خورشید از میان ابری از ذرات کوچک آب عبور کند: آن‌ها سفید به نظر می‌رسند. همین اتفاق، زمانی که نور از شکر و نمک نیز عبور می‌کند، رخ می‌دهد.

اما اگر نور به وسیله‌ی ذراتی که اندازه‌ی آن مشابه با طول موج فوتون (رنگ) دارند، پراکنده شوند، این فوتون‌ها پراکنده می‌شوند، اما سایر آن‌ها نه. به این پدیده پراکندگی ریلی 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 سحابی‌ها)، 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 ریلی است.

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.  $\lambda$  بیشینه، نشانگر دمای جسم براساس قانون وین است:

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$



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 آن جا محاسبه کنیم.

ستارگان (به جز اتمسفر و جو آن‌ها)، 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 ۹,۴ μm است (معادل دمای C ۳۷ (= 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

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, Heidelberg, 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>



شکل ۲۳: رنگ آسمان کاملاً به پراکندگی رابلی 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 می شود.

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).

می بینید نوری که به دیوار می رسد سفید است.



در آغاز نوری که

به دیوار می رسد

سفید است

با کمی اضافه

کردن محلول نور

زرد می شود

وقتی که لیوان پر

می شود نور به رنگ

قرمز در می آید

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 می شود و پیرامون شیشه نور سفید متمایل به آبی را نشان می دهد.

### 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

## زندگی ستاره‌ای

الکساندر کوستا، بئاتریس گارسیا، ریکاردو مورنو، رزماریا 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 تفاوت‌های میان آن‌ها چیست. به وسیله 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 زندگی
- شناخت مفاهیم ابرنواختر، ستاره نوترونی، ستاره پالساریا تپنده و سیاه چاله

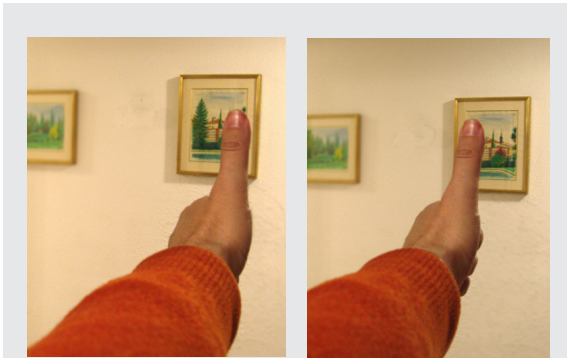
### فعالیت ۱: مفهوم اختلاف منظر

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 اختلاف منظر 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 دقیقاً 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.

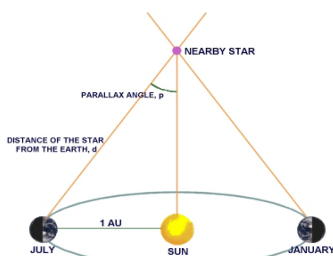
شکل ۱: ابتدا چشم چپ خود را ببندید و به محل انگشت شصت در زمینه قاب عکس نگاه کنید سپس چشم راست را بسته و همین کار را برای چشم چپ انجام دهید. به همین دلیل است که وقتی از دو شهر با فاصله زیاد بر روی زمین در زمان یکسان به ماه که یک جرم نزدیک است نگاه می‌کنیم آن را در زمینه ستارگان که بسیار از ما دور هستند 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 اختلاف منظر

اختلاف منظر 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)



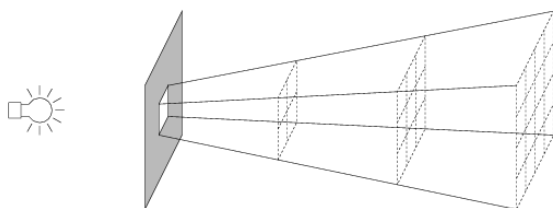
شکل ۲: زاویه اختلاف منظر  $p$  یک تغییر زاویه‌ای است که هنگام مشاهده یک ستاره از دو مکان که به اندازه فاصله زمین تا خورشید از یکدیگر فاصله دارند، می‌بینند.

اختلاف منظر ۰/۷۶ ثانیه قوسی دارد یعنی این ستاره ۱/۳۱ پارسک از ما فاصله دارد، چیزی حدود ۴/۲۸ سال نوری. اولین رصد اختلاف منظر یک ستاره (61 Cygni) توسط بسل در سال ۱۸۳۸ انجام شده است. اگرچه در آن زمان بر روی این مورد که به دلیل فاصله بسیار زیاد ستارگان نمی توان فاصله آن ها را با دقت محاسبه کرد شک و تردید بسیاری بود.

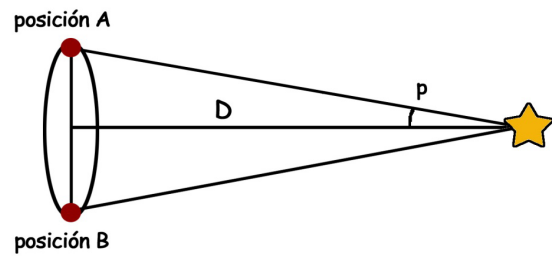
در حال حاضر ما برای اندازه گیری فاصله ستاره هایی که تا ۳۰۰ سال نوری ما قرار دارند، از اختلاف منظر استفاده می کنیم. برای فاصله های بیشتر اختلاف منظر بسیار ناچیز می شود بنابراین برای محاسبه فاصله باید از روش های دیگری استفاده کنیم. با این حال روش های دیگر هم بر اساس مقایسه با ستارگان دیگر است، که فاصله آن ها به وسیله اختلاف منظر محاسبه شده است. به طور کلی اختلاف منظر زمینه محاسبه فواصل کیهانی است.

### فعالیت ۲: قانون مربع معکوس

با یک آزمایش ساده می توان 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 آزمایش از یک لامپ و یک کارت (یا یک جعبه) یا یک سوراخ مربعی کوچک در آن استفاده می کنیم. کارت سوراخ را در یک طرف لامپ قرار می دهیم. لامپ به همه جهات تابش می کند. مقدار مشخصی از نور از درون سوراخ عبور می کند و یک صفحه که به موازات با کارت سوراخ قرار دارد را روشن می کند. 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 می دهیم، می بینیم 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 سایه ها می توانید 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 آتش بگیرد.



شکل ۴: آزمایش بالا



شکل ۳: با اندازه گیری زاویه اختلاف منظر (p) می توان فاصله (D) از جسم را محاسبه کرد.

به عنوان مثال اگر یک ستاره نزدیک را با توجه به محل آن در ستاره های پس زمینه که دورتر هستند، از موقعیت های A و B از مدار زمین که شش ماه از هم فاصله دارند مشاهده کنیم می توان فاصله ستاره یعنی (D) را با این روش محاسبه کنیم:

$$\tan p = \frac{AB/2}{D}$$

از آنجایی که (P) یک زاویه کوچک است می توان 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 اختلاف منظر یعنی p را داشته باشیم، فاصله با ستاره، (در واحد کیلومتر)  $D = 150,000,000 / P$  خواهد بود (با زاویه P بر حسب رادیان). به عنوان مثال اگر زاویه P یک ثانیه قوسی باشد، فاصله از ستاره برابر است با:

$$D = \frac{150000000}{2\pi/(360 \ 60 \ 60)} = 30939720937064 \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.}$$

این واحد مسافتی است که در نجوم حرفه ای استفاده می شود. اگر ستاره ای را با اختلاف منظر یک ثانیه قوسی (در طی ۶ ماه) ببینیم، آن ستاره با فاصله ۱ پارسک (پار - ثانیه) معادل  $3,26 \text{ pc} = 3,26$  سال نوری از ما قرار دارد. اختلاف منظر کم تر نشان دهنده ی فاصله ی بیش تر ستاره است. رابطه بین فاصله بر حسب پارسک و و اختلاف منظر بر حسب ثانیه قوسی را می توان 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 ستاره ی پروکسیما قنطورس است که



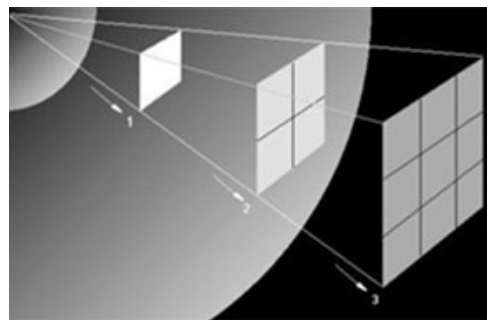
در نتیجه طبق آزمایش بالا، مشاهده می‌کنیم وقتی فاصله بین صفحه نمایش و لامپ کم می‌شود، ناحیه‌ای که نور روشن می‌کند چهار برابر بیشتر می‌شود. این یعنی شدت نور (نوری که به واحد سطح می‌رسد) یک چهارم مقدار اصلی می‌شود. اگر فاصله سه برابر شود، ناحیه روی صفحه نمایش که نور در آن پخش می‌شود ۹ برابر بزرگتر می‌شود، 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 فاصله‌ای 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 روستایی 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 (منطقه‌ای که نور در آن پخش می‌شود چهار برابر است) و اگر سه برابر شود شدت نور یک نهم است، یعنی مساحت کره‌ای که نور در آن توضیح 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:

$$B = F = \frac{L}{4\pi D^2}$$



شکل ۵: شدت نور، با افزایش فاصله کاهش می‌یابد.

از آن جایی 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 درخشان ترولی دورتر می‌درخشد.

هیپارکوس در قرن دوم پیش از میلاد اولین کاتالوگ ستاره‌های جهان را ساخت. او درخشان‌ترین ستاره‌ها را به عنوان ستاره‌هایی با قدر ۱ و کم نورترین آن‌ها را ستاره‌هایی با قدر ۶ طبقه بندی کرد. او سیستمی برای طبقه بندی 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 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 ستاره‌ای با قدر ۱، ۲٫۵۱ برابر درخشان‌تر از ستاره‌ای با قدر ۲ است و این ستاره ۲٫۵۱ برابر درخشان‌تر از ستاره‌ای با قدر ۳ است. این معادله نشان می‌دهد که اگر بین دو ستاره ۵ قدر اختلاف وجود داشته باشد درخشش آن‌ها ۲٫۵۱ به توان پنج یعنی ستاره‌ای 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

$$\frac{B_1}{B_2} = (\sqrt[5]{100})^{m_2 - m_1}$$

در معادله زیر روش محاسبه قدر ستاره m به وسیله شار وارد شده از آن به تلسکوپ است. در واقع m از شار f و یک ثابت c وابسته به ویژگی‌های رصد محاسبه می‌شود.

$$m = -2.5 \log F + C$$

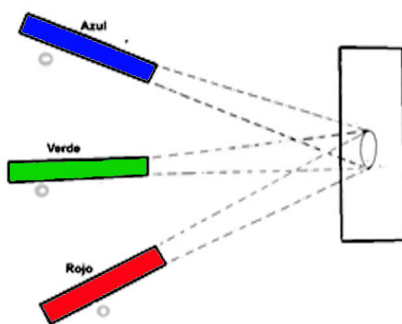
این معادله به ما می‌گوید که هرچه شار بیشتر باشد قدر ستاره نیز منفی تر خواهد بود.

### فعالیت ۳: رنگ ستاره‌ها

ابتدا از یک لامپ رشته ای با مقاومت متغیر 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. دانش آموزان می‌توانند از دستگاهی شبیه به شکل ۳ که دارای چراغ‌هایی با رنگ قرمز، آبی، 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 نچسبانید و نور از آن عبور می‌کند را با سلفون‌های شفاف رنگی بپوشانید. با استفاده از این دستگاه می‌توانید شکل ۲ را آنالیز 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 بیش تر شده و اهمیت بیشتری در تعیین رنگ ستاره پیدا می‌کنند. نور این رنگ ستاره ابتدا رو به آبی و نهایتاً 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 بیش تر شود ستاره آبی می‌شود. برای نشان دادن مرحله آخر 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 به وسیله نورها برای درک بهتر رنگ ستارگان

قدر مطلق  $M$  همان قدر ظاهری است وقتی که پارامتر فاصله از آن حذف شده باشد یعنی همه ستاره‌ها در فاصله ثابت ۱۰ پارسیک از ما قرار گرفته باشند.

برای تبدیل قدر ظاهری به قدر مطلق باید فاصله دقیق از ستاره را بدانیم. گاهی کار مشکلی است به دلیل اینکه تعیین دقیق فاصله در ستاره شناسی معمولاً کار دشواری می‌باشد. اما اگر فاصله بر حسب پارسیک مشخص شده باشد، می‌توان قدر مطلق ستاره را با استفاده از معادله زیر بدست آورد.

$$M = m - 5 \log d + 5$$

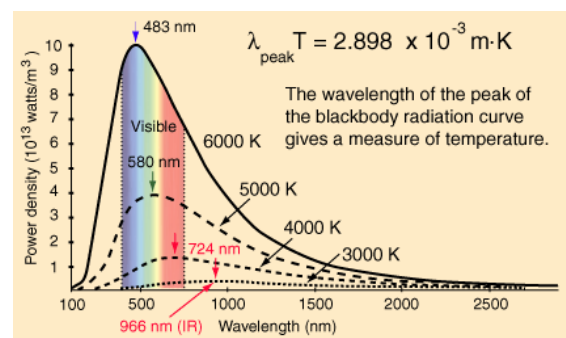
### رنگ ستاره‌ها

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 بزرار 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: O, B, A, F, G, K, M (شکل ۶).



شکل ۶: 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



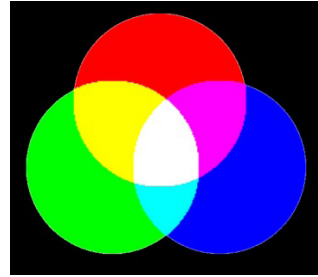
شکل ۹-ب: نشان می‌دهد که خورشید جو بیرونی خود را از دست داده و تبدیل به یک کوتوله سفید می‌شود مانند آن چه در مرکز این سحابی سیاره نما وجود دارد.

### 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



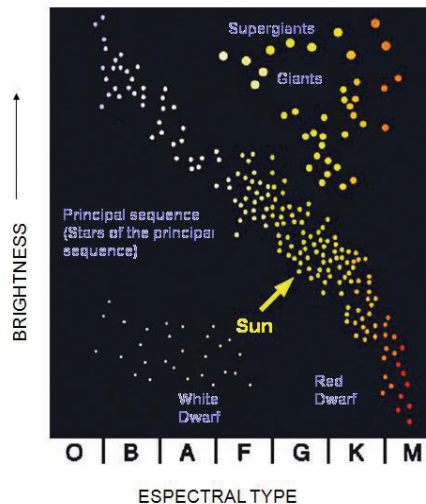
شکل ۸ ب: پرتو افکنی برای درک بهتر رنگ ستاره‌ها و تولید شدن نور سفید.

### چطور درمیابیم که ستارگان تکامل دارند؟

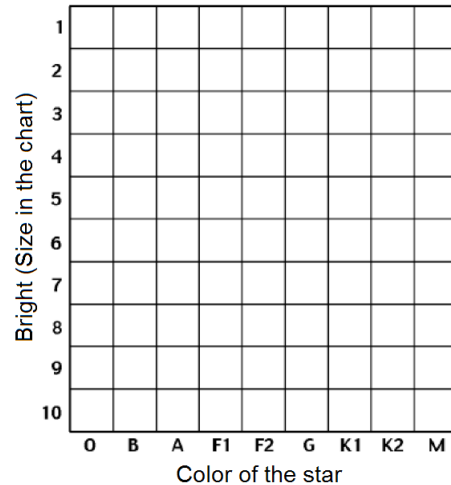
ستارگان را می‌توان در نموداری به نام هرتسپرونگ راسل (شکل ۹-الف) طبقه‌بندی کرد که نموداری است بر حسب شدت ستاره (درخشندگی یا قدر مطلق)، درجه حرارت و رنگ ستاره. ستارگان خنک درخشندگی کمتری دارند (پایین سمت راست نقشه) و ستاره‌های داغ روشن تر هستند و از درخشندگی بیشتری برخوردارند (بالا سمت چپ نقشه).

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 پیش‌تری 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 اصطلاحاً 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.



شکل ۹-الف: نمودار HR



شکل ۱۱: کاربرد

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 درخشان‌ترین 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 جرم‌ترین، روشن‌ترین و داغ‌ترین در حدود ۴۰۰۰۰ درجه کلوین) تا دسته M (کم جرم‌ترین، کم نورترین و دمای سطحی کمتر در حدود ۳۵۰۰ درجه کلوین) قرار می‌گیرند.

در بیش‌تر طول عمر یک ستاره نیروی درونی مشابهی 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 آخر 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 بزرگ‌تر 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.

سنگین‌ترین و عظیم‌ترین 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. به دلیل 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 روشن‌تر می‌شوند به همین 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 قدیمی‌تر 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

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 ستاره‌ای که نزدیک گوشه بالا سمت چپ مربع شما قرار دارد را اندازه‌گیری کنید (بر اساس اندازه آن در مقایسه با اندازه‌های مقایسه‌ای که در راهنمای حاشیه شکل ۴ آمده). سپس رنگ ستاره را تخمین بزنید (راهنمای رنگ ستاره در سمت چپ شکل ۱۰ آمده است). با یک نقطه رنگ و قدر (اندازه) ستاره اول خود را روش برگه ۱۱ علامت بزنید.

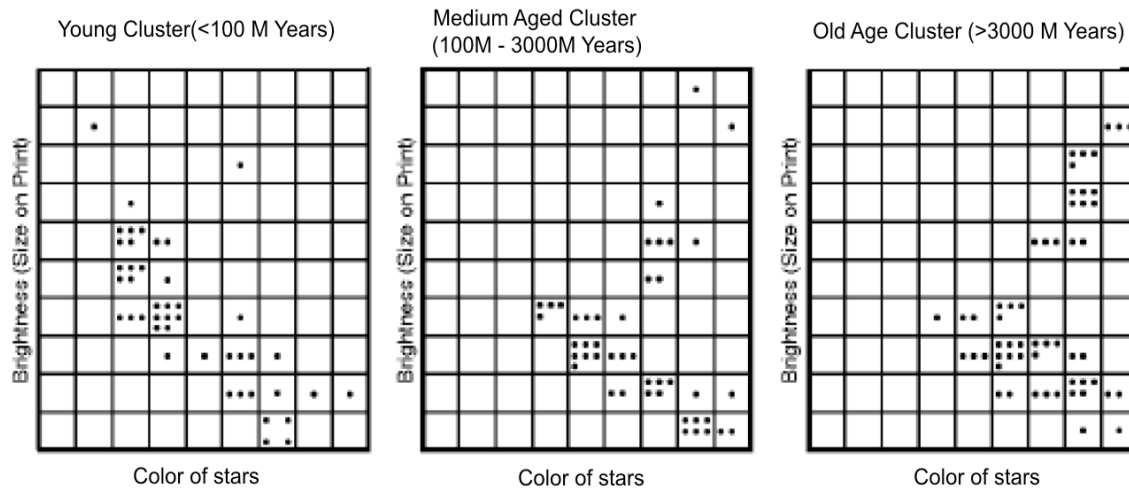
توجه داشته باشید که محور X مربوط به رنگ و محور Y مربوط به درخشش (اندازه یا قدر) ستاره است. بعد از رسم اولین ستاره، فرایند تعیین رنگ و قدر (اندازه) همه‌ی ستارگانی که در داخل مربع ۴ سانتی متری قرار می‌گیرند را ادامه دهید.

به نظر می‌رسد، ستاره‌های خوشه‌ی جعبه جواهرات را که کاربرد 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 ستاره‌های زمینه‌ای (Field star) می‌نامند. اگر وقت دارید سعی کنید چند ستاره از زمینه آن نیز برای خود تخمین بزنید. برای این کار مانند فعالیت قبل عمل کنید و این بار به جای نقطه از X استفاده کنید. می‌بینید که به نظر نمی‌رسد که ستاره‌های زمینه از الگوی خاصی پیروی کنند.

بیش‌تر ستارگان در بخش خاص رشته مانندی از نمودار قرار

۱۲- پ نشان داده شده است، سن خوشه جعبه جواهرات را از نمودار خود در شکل ۱۱ تخمین بزنید؟

مشاهده نیستند. آیا می‌توانید با مقایسه نمودارهای خوشه‌های ستاره‌ای در سنین مختلف که در شکل‌های ۱۲-الف، ۱۲-ب



۱۲-الف، ۱۲-ب و ۱۲-پ

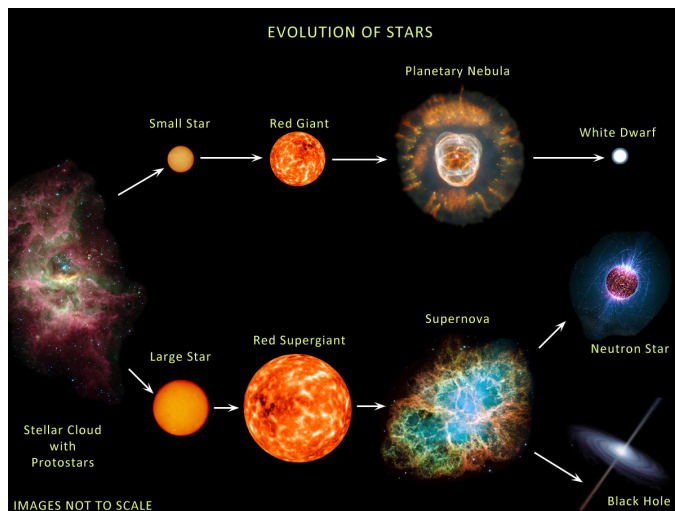
غول‌های سرخ تکامل پیدا می‌کنند. و شکل ۱۲-ت یک خوشه قدیمی را نشان می‌دهد ( تقریباً فقط ستاره‌هایی از دسته M و K در رشته اصلی دارد و بسیاری از آن‌ها در مرحله غول قرمز هستند).

اکنون می‌توانیم از خودمان بپرسیم پس موقعیت خورشید در نمودار هرتسپرونگ راسل چه خواهد بود؟

خورشید ستاره‌ای 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 هلیوم تبدیل می‌شود. مانند بسیاری از ستاره‌های دیگر همچنان در رشته اصلی و در کلاس ۵ لومینوسیتی یا درخشش قرار دارد.

اگر نمودار HR و رابطه بین رنگ (دمای سطح)، روشنایی و سن ستاره‌ها را درک کنید، می‌توانید نحوه تکامل ستاره‌ها و خوشه‌های ستاره‌ای را نیز به طور کامل درک کنید. می‌توانید زندگی ستاره‌های دسته O و B را با زندگی ستاره‌های دسته A، F، G، K 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



شکل ۱۳: تکامل ستاره‌ها وابسته به جرم آن‌ها است

## مرگ ستاره ای

با توجه به شکل ۱۳ پایان عمر یک ستاره کاملاً 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 خشن‌ترین و مهیب‌ترین پدیده‌های جهان به پایان می‌رسانند: ابرنواخترها.

بقایای این نوع پدیده‌ها اجرامی خواهند بود که هیچگونه حرارتی از خود نشر نمی‌کنند (ستاره‌های پالسا 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 هلیوم کرده و سپس به سمت تولید کربن و به ترتیب عناصر سنگین در را در پیش گرفته و نهایتاً به آهن رسیده. ادامه فرایند از آهن 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 می‌یابد. این همجوشی به بیرون از هسته پیش می‌رود و به مرور زمان ستاره مانند یک پیاز با عناصر مختلف لایه بندی می‌شود. (به شکل ۱۴-ب). هرچه به هسته نزدیک بشویم عناصر سنگین و سنگین‌تر می‌شوند.

یک ستاره با ۲۰ برابر جرم خورشید مراحل زیر را در زندگی خود دارد:

۱۰ میلیون سال هیدروژن در هسته خود می‌سوزاند.

۳۰۰ سال کربن می‌سوزاند.

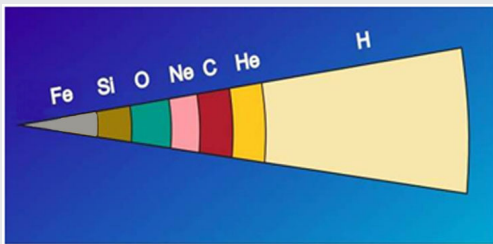
۲ روز هم زمان برای مصرف سیلیکون دارد که در این زمان احتمال انفجار ابرنواختر بسیار زیاد است

وقتی ستاره سرانجام به هسته‌ی آهنی می‌رسد، فعالیت‌های هسته‌ای متوقف می‌شود و ادامه واکنش‌های هسته‌ای امکان‌پذیر نیست. بدون وجود فشار انرژی روبه بیرون ناشی از فرایندهای هسته‌ای، فروپاشی ستاره اجتناب‌ناپذیر 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 ۱۴-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 در نتیجه یکی از پرنرژی‌ترین 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 آمده 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: شبیه‌سازی یک انفجار ابرنواختر

هنگامی که یک ستاره در حالت ابرنواختر منفجر می‌شود، اتم‌های نوری در لایه‌های بیرونی ستاره به سمت عناصر

سنگین تر در قسمت مرکزی ستاره فرومی روند 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.

این آزمایش را می‌توان در کلاس یا محیط‌های 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 دقیقاً عمودی خواهند افتاد و توپ‌ها می‌توانند با سرعت بسیار زیاد در جهت غیر قابل پیش بینی بجهند.

در بعضی اسباب‌بازی‌های فروشی‌ها یا موزه‌های علمی نوعی وسیله وجود دارد که بر مبنای همین قانده کار می‌کند. این وسیله از چهار توپ پلاستیکی کوچک 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 لایه‌های 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 شده‌اند که با یک چگالی باورنکردنی در کنار هم جمع شده‌اند 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 در حال 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 بیشتری 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 می‌چرخد.

میدان مغناطیسی ستاره در راستای محور خود، تابش سینکروترون الکترومغناطیسی قوی ایجاد می‌کند. اما از آنجایی که محور میدان مغناطیسی معمولاً با محور چرخش مطابقت ندارد (مانند زمین)، ستاره نوترونی در حال چرخش مانند یک فانوس دریایی گول 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، بل و هویس، اولین ستاره پالسار را کشف

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 شبیه‌سازی 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 نورا است.

برای ارائه این آزمایش دو توپ را روی هم قرار بدهید و در بالاترین ارتفاع ممکن در دستتان بگیرید و هم‌زمان 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 آزمایش بسیار تعجب‌آور 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. در آن 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 شده‌اند، می‌رسد. اگر این آزمایش را با استفاده از تعداد زیادی توپ حتی سبک‌تر تکرار کنید، سرعت بازگشت آن‌ها فوق‌العاده خواهد بود.

در هنگام آزمایش توپ تنیس به دو برابر ارتفاعی که توپ‌ها از آن رها شده‌اند میرسد، مراقب باشید اگر در خانه این آزمایش را انجام می‌دهید چیزی را نشکنید.

## فعالیت ۶: شبیه سازی ستاره پالسار

ستاره پالسار یک ستاره نوترونی بسیار سنگین است که با سرعت زیاد به دور خودش می چرخد. میدان مغناطیسی ستاره در راستای محور خود، تابش الکترومغناطیسی قوی ایجاد می کند. اما از آن جایی که محور میدان مغناطیسی معمولاً با محور چرخش مطابقت ندارد (مانند زمین)، ستاره نوترونی در حال چرخش مانند یک فانوس دریایی غول پیکر عمل می کند. اگر زمین در جایی از مسیر انتشار ستاره پالسار قرار بگیرد ما پالس آن را با یک تناوب منظم در ثانیه می بینیم.

می توانیم ستاره پالسار را با یک چراغ قوه شبیه سازی کنیم (شکل ۱۷ - الف). برای این کار چراغ قوه را روشن کرده و از یک بند آویزان می کنیم. سپس مانند شکل ۱۷ شروع به چرخاندن آن می کنیم. هر زمان که نور چراغ به ما برسد ما آن را مانند یک پالس مشاهده می کنیم.

اگر چراغ قوه را کمی خم کنید به طوری که در راستای شما نباشد دیگر نمی توانید هیچ نوری از آن دریافت کنید. پس برای دریافت پالس های یک ستاره پالسار باید دقیقاً در مسیر آن قرار داشته باشیم.



شکل ۱۷ الف: به هم بستن قطعات،

شکل ۱۷ ب: 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 می کند تا اینکه دوباره آن را به زمین برگرداند. اگر سنگ را با سرعت اولیه بیش تری پرتاب کنیم سنگ مدت زمان بیش تری را روبه بالا طی می کند و اگر سنگ را با سرعت ۱۱ کیلومتر بر ثانیه یعنی سرعت گریز از زمین به بالا پرتاب کنیم سنگ دیگر به زمین باز نخواهد گشت (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 می کند زیرا ما به مرکز زمین نزدیک تر شده ایم. اگر زمین به اندازه شعاع ۰/۸ سانتی متر در خود فرو ریخته و فشرده بشود سرعت گریز آن از سرعت نور نیز بیش تر می شود. از آن جا که سرعت هیچ چیز

کردند. سیگنال پالس از نقطه ای 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 می شد که این پالس ها سیگنال هایی هستند که از طرف فرازمینی ها برای ما ارسال شده اند. سپس منابع رادیویی بسیار تکان دهنده دیگری مانند مرکز سحابی خرچنگ کشف شد. دانشمندان می دانستند که این سحابی توسط یک ابرنواختر بوجود آمده است، سرانجام توانستند منبع همه این پالس ها را توجیه کنند.

پالسار ۲۱ + PSR B1937 از سریع ترین پالسارهای شناخته شده است که حدوداً بیش از ۶۰۰ بار در ثانیه به دور خودش می چرخد. قطری حدود ۵ کیلومتر دارد و اگر ۱۰ درصد سریع تر بچرخد، توسط نیروی گریز از مرکز درهم شکسته می شود.

هوش در سال ۱۹۷۴ به این خاطر برنده ی جایزه نوبل شد. یک ستاره پالسار خیلی جالب دیگر یک سیستم باینری به نام ۱۶ + PSR ۱۹۱۳ در صورت فلکی عقاب است. حرکت مداری ستارگان در میدان گرانشی بسیار شدید و تغییرات کوچک در انرژی دریافتی باعث دست یابی به این کشف شد. راسل هالس و جوزف تیلور این سیستم را مورد مطالعه قرار داده و پیش بینی های بسیاری از نظریه نسبیت از جمله انتشار امواج گرانشی را تأیید کردند. این دو آمریکایی در سال ۱۹۹۳ به دلیل تحقیقات خود موفق به دریافت جایزه نوبل شدند.





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 سربدهید. توپ یا سنگ یا تپله 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 می شود 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 شل تر کنیم، یک حفره گرانشی عمیق تر شبیه سازی می شود، و این باعث می شود تا توپ کوچک تر از آن سخت تر خارج شود این یک مدل سیاه چاله 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.

نمی تواند از سرعت نور بیشتر بشود، هیچ چیز قادر به فرار از زمین نخواهد بود و زمین به یک ساهچاله ای به اندازه ی یک تپله تبدیل می شود..

از لحاظ تئوری، سیاه چاله ها می توانند جرم بسیار کمی داشته باشند. در واقع، تنها یک مکانیزم شناخته شده وجود دارد که می تواند جرم را با تراکم بالا در یک نقطه متمرکز کند که آن را فروپاشی گرانشی می نامیم.

برای اینکه سقوط گرانشی اتفاق بیفتد، جرم بسیار زیادی مورد نیاز است. می دانیم که ستاره های نوترونی بقایای ستاره هایی با جرم  $1/44$  تا حدود ۸ برابر جرم خورشیدی هستند.

با این حال، اگر ستاره عظیم تر و سنگین تر باشد، جاذبه آن آن قدر قوی است که فضای داخلی آن ممکن است تا زمانی که به یک سیاه چاله تبدیل شود، به ریزش ادامه دهد.

بنابراین، این نوع سیاه چاله دارای جرم چندین برابر بزرگ تر از خورشید ما خواهد بود. یک تپله کوچک ساخته شده از این ماده متراکم به اندازه کل کره زمین وزن خواهد داشت.

اگرچه ما نمی توانیم مستقیماً آن ها را مشاهده کنیم، اما ما چندین مورد محتمل برای سیاه چاله بودن را از طریق انتشار مواد با سرعت بالا در اطراف سیاه چاله کشف کرده ایم. به عنوان مثال، درست در مرکز کهکشان ما چیزی مشاهده نمی شود، اما می توانیم حلقه ای 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 می تواند یک سیاه چاله باشد، با شعاع شوارتزچیلد کمی بزرگ تر از خورشید. این نوع سیاه چاله ها که در مرکز بسیاری از کهکشان ها واقع شده اند، سیاه چاله های فوق سنگین نامیده می شوند.

#### فعالیت ۷: شبیه سازی انحنای فضا و سیاه چاله

شبیه سازی انحنای دو بعدی فضا ایجاد شده توسط یک سیاه چاله با استفاده از یک تکه ورق الیاف الاستیک به نام lycra یا یک پارچه یا تور بسیار آسان است. (شکل ۱۸)



## ستاره شناسی فراتراز دید مرئی

بئاتریس گارسیا، ریکاردو مونرو، اتحادیه بین المللی ستاره شناسی، دانشگاه ملی مهندسی مندوزا، آرژانتین)، کالج ری تامر (مادرید، اسپانیا)

### خلاصه

اجرام آسمانی تابش هایی در بخش های مختلف طیف الکترومغناطیس دارند اما چشم انسان تنها قادر به مشاهده بخش کوچکی از آن، یعنی بخش مرئی است. روش هایی برای اثبات وجود سایر بخش های طیف الکترومغناطیس وجود دارد که البته با آزمایش های ساده نمی توان آن ها را آشکار ساخت. در این بخش شما با مشاهداتی فراتراز آنچه که می توان با یک تلسکوپ دید آشنا می شوید و می توانید از آن ها در مدارس ابتدایی و دبیرستان استفاده نمایید.

### اهداف

هدف این فعالیت مشاهده ی پدیده هایی فراتراز آنچه که می توان با یک تلسکوپ آماتوری رصد کرد می باشد. مانند:

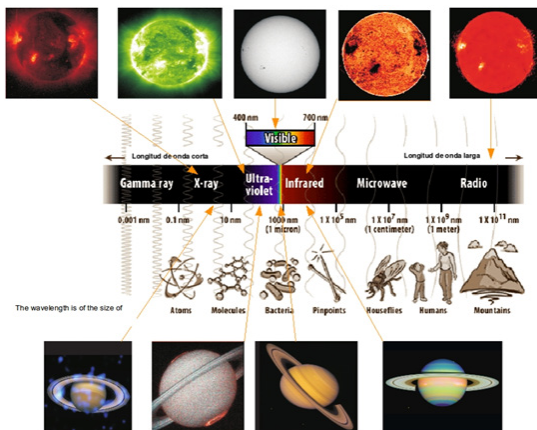
- اجرام آسمانی که تابش الکترومغناطیسی گسیل می کنند و چشم ما قادر به شناسایی آن ها نیست. ستاره شناسان به سایر بخش های طیف علاقمند هستند زیرا امواج مرئی به تنهایی نمی توانند تصویر کاملی از جهان هستی خلق کنند.
- تابش مرئی در ناحیه امواج رادیویی، فرابنفش، ریزموج و اشعه ی X

### طیف الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیس شامل مجموعه ای گسترده از طول موج ها یا فرکانس ها است که می توان منبع تولیدشان را دسته بندی نمود، البته این دسته بندی مرز دقیقی ندارد. مجموعه ی این طول موج ها با نام طیف الکترومغناطیس شناخته می شود.

شکل ۱ بخش های مختلف طیف را نشان می دهد. این شکل اندازه ی بین قله های موج (طول موج) و برخی از اجرام هم اندازه ی آن ها مانند: اتم، مگس، کوه و... را نشان می دهد تا درک درستی از اندازه ی طول موج ها بدست آید. در همین شکل تصویرهایی از خورشید و سیاره ی زحل در سایر طیف ها که چشم ما قادر به شناسایی آن ها نیست، آورده شده است. این تصاویر با استفاده از آشکارسازهای حساس به این طول موج ها ثبت شده اند.

در کیهان موادی مانند ابرهای بین ستاره ای با دمایی بسیار کم تر از دمای ستارگان وجود دارد. این ابرها امواج مرئی تابش نمی کنند و آن ها را با استفاده از طول موج های بلند فرسوخ، ریزموج ها و امواج رادیویی می توان شناسایی نمود. مشاهده ی جهان هستی در تمام بخش های طیف الکترومغناطیس که ستاره شناسان آن را رصد در طول موج های ترکیبی می نامند تصویر بهتری از ساختار، دما، انرژی و مدل حقیقی تکامل جهان هستی به ما ارائه می کند.



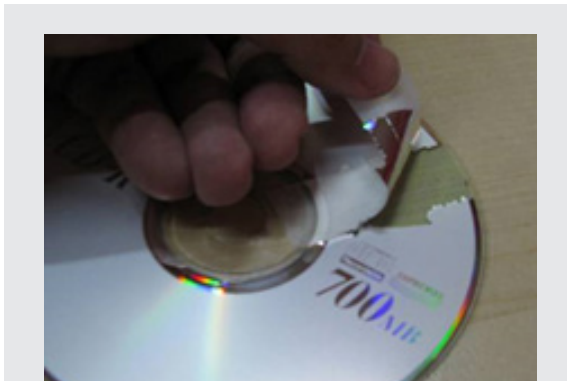
شکل ۱: طیف الکترومغناطیس به همراه اجسامی به اندازه ی طول موج های آن. خورشید (بالا) و زحل (پایین) در طول موج های مختلف (رنگ ها شبیه سازی شده است)



تصویر ۲: تصویر مرکز کهکشان راه شیری ما در طول موج های مختلف

### فعالیت ۲: ساخت طیف سنج

نور یک لامپ سفید رشته ای از همه ی رنگ ها تشکیل شده است در حالی که نور لامپ های گازی (لامپ های فلورسنت، کم مصرف و چراغ های خیابانی) تنها از برخی رنگ ها تشکیل شده است. اگر رنگ های نور را تجزیه کنیم یک طیف بدست می آید که برای هر گاز شامل مجموعه ای از خطوط رنگی خواهد بود. هر گاز یک طیف نشری مخصوص



تصویر ۲-۳: به کمک یک چسب، لایه فلزی روی CD را بردارید.

از محل DVD نگاه کنید و شکاف جعبه را به سمت یک لامپ کم مصرف 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 باریک تر باشد طول موجی که شما اندازه گیری می کنید از دقت بیشتری برخوردار است.

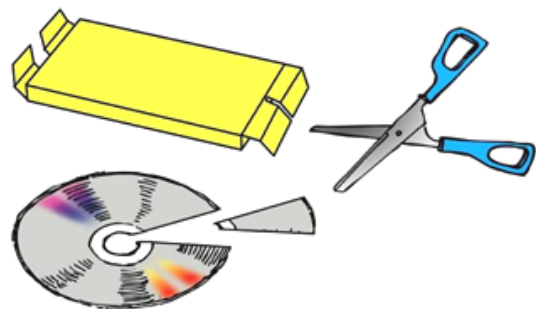


تصویر ۴: نگاه به لامپ فلورسنت

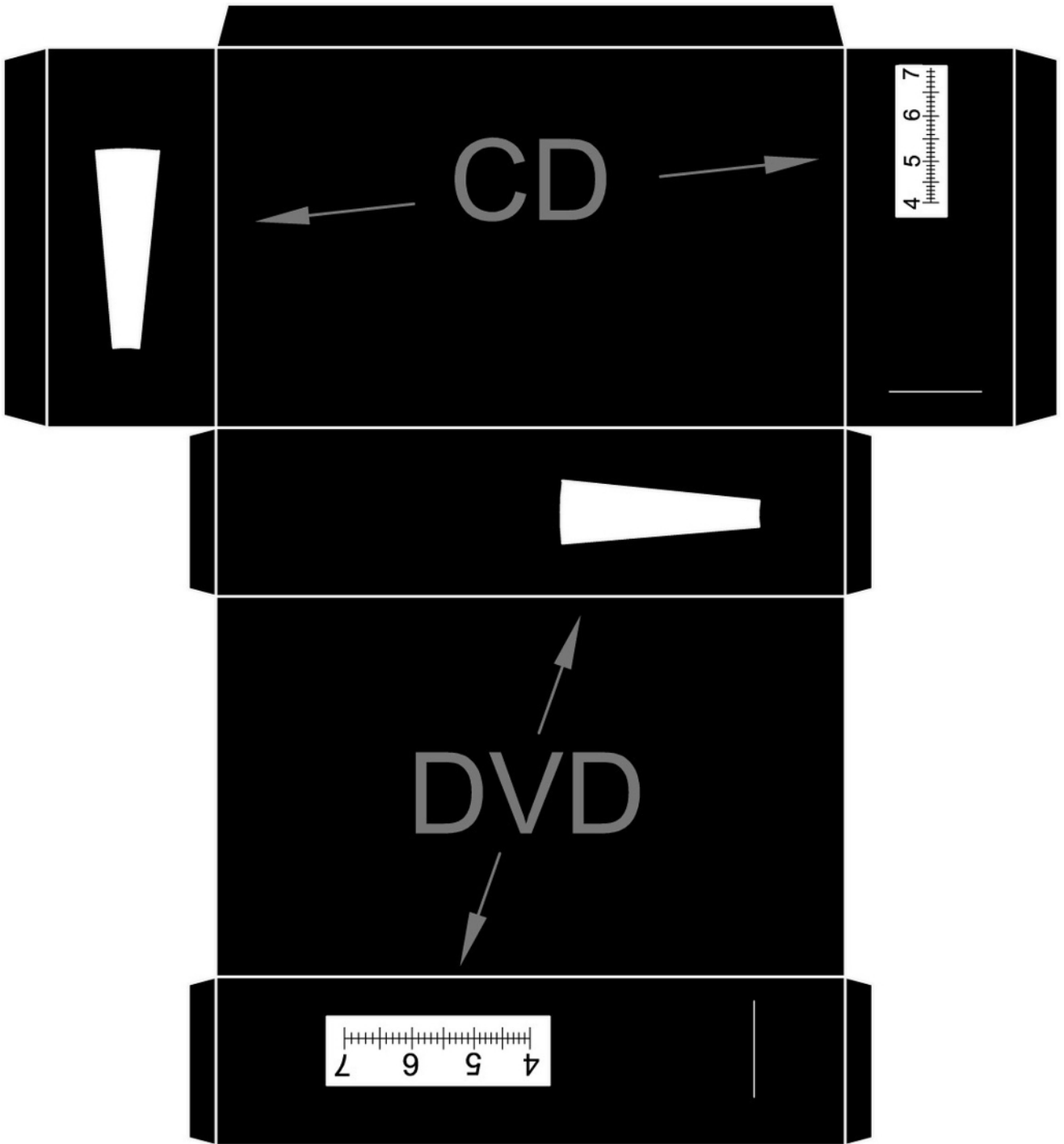
شما همچنین برای این کار می توانید از مقوا استفاده کنید. اگر این کار را انجام دادید، قسمت خطکش را برش داده و در محل مورد نظر بچسبانید. می توانید از این ابزار برای تماشای لامپ های خیابانی مانند لامپ های نارنجی (سدیم) و سفید (جیوه) نیز استفاده کنید. لامپ های رشته ای قدیمی طیفی پیوسته دارند. دانش آموزان جوان ترمی توانند پشت به خورشید بایستند و با استفاده از پخش کننده ی آب نور را تجزیه کنند و یک رنگین کمان بسازند (شکل ۶).

به خود را دارد که بارکد (نشانگر) مواد تشکیل دهنده ی آن گاز است. اگر با یک طیف سنج به نور یک کهکشان دور دست بنگریم شاهد جا به جایی خطوط نشانگر هیدورژن و سایر گازها به سمت قرمز (که با نام سرخ گرایی شناخته می شود) خواهیم بود. هر چه میزان این جا به جایی بیشتر باشد کهکشان در فاصله ی دورتری خواهد بود.

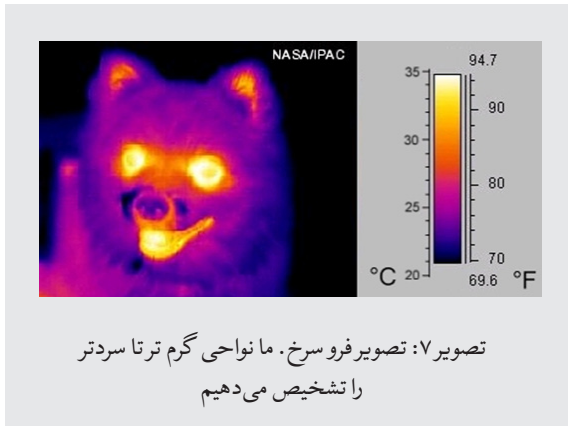
به کمک یک قیچی تیز قسمتی از یک CD یا DVD (شکل ۱-۳) بدون برچسب را جدا کنید. اگر از DVD استفاده می کنید لایه ی بالایی را از قسمت زیرین (ممکن است به قیچی یا چاقو نیاز داشته باشید) جدا کنید تا صفحه انکسار شما آماده شود. اگر از CD استفاده می کنید تنها یک لایه ی پلاستیکی وجود دارد که به دقت باید آن را از لایه ی فلزی جدا کنید. برای این کار می توانید از تیغ موکت بر یا نوار چسب استفاده کنید. یک پرینت از نمونه ی شکل شماره ۴ تهیه نمایید. اگر در ابعاد A۳ تهیه شود، دقت کار شما افزایش می یابد. نمونه را برش دهید، قسمت های سفید را نیز ببرید. سپس قسمت های مختلف را روبه داخل تا بزنید و یک شکاف نازک با توجه به مقیاس ایجاد نمایید. نیاز به بریدن قسمت درجه بندی شده نیست. حالا جعبه را به نحوی چسب بزنید که قسمت مشکی در داخل قرار بگیرد. در سوراخی که خم شده تکه ی CD یا DVD را بچسبانید.



شکل ۱-۳: وسایل مورد نیاز: DVD، قیچی، کاغذ جعبه

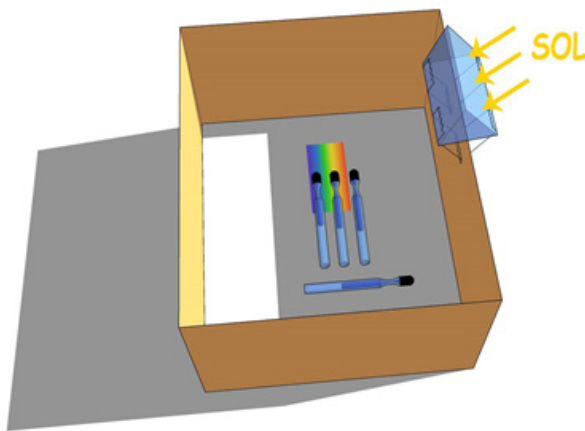


شکل ۵: طرح طیف سنج



### فعالیت ۳: آزمایش هرشل در محدوده‌ی فرورسرخ

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.



شکل ۸؛ 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 عرض‌ترین طیف ممکن در کف جعبه ایجاد شود.

### فرورسرخ

بخش فرورسرخ 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 اندازه‌گیری نمود و دریافت دماسنجی که پایین‌تر از محدوده‌ی رنگ قرمز (امروزه با نام فرورسرخ 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 فرورسرخ یا تابش فرورسرخ 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 کم‌تراست. برای مثال گرمای منتشرشده از بدن ما و حیوانات در ناحیه فرورسرخ است که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیست. هر جسمی در دمایی معین امواج فرورسرخ از خود تابش می‌کند (شکل ۶ و ۷). عینک‌های دید در شب به فرد اجازه‌ی دیدن این امواج را می‌دهد.

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 ناحیه آبی	دمای دماسنج در ناحیه زرد	دمای دماسنج در ناحیه پس از قرمز	دمای دماسنج در سایه
			بعد از ۱ دقیقه
			بعد از ۲ دقیقه
			بعد از ۳ دقیقه
			بعد از ۴ دقیقه
			بعد از ۵ دقیقه

جدول ۱: جدول داده‌ها

#### فعالیت ۴: شناسایی تابش فرسرخ با تکنولوژی مدرن

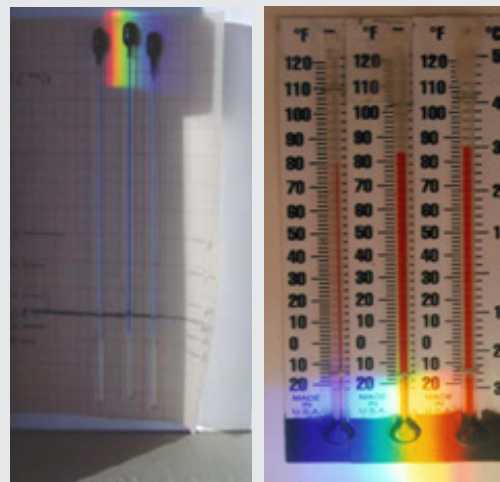
اگر بخواهیم تابش فرسرخ را با ابزارهای مدرن شناسایی کنیم اولین چیزی که به ذهن خطور می‌کند دید در شب است که امکان مشاهده امواج فرسرخ منتشر شده از بدن را فراهم می‌کند. اما این وسیله به راحتی در دسترس همه‌ی افراد نیست. پس می‌بایست به دنبال ابزاری آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر بود. کنترل تلویزیون، ضبط صوت یا مایکروویو از تابش فرسرخ 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 فرسرخ داشته باشیم. CCD یک محصول مهم تکنولوژی است که موجب پیشرفت مطالعات نور در نجوم شده است (سرواژه‌ی CCD (Charged Coupled Device). این ابزار می‌تواند در یک محدوده‌ی زمانی فوتون‌ها را جمع‌آوری 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 کارایی آن‌ها در نواحی نزدیک به فرسرخ بیشتر است. دوربین‌های مدرن و دوربین‌های فیلم‌بردارای 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.

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 ناحیه‌ی مدرج قابل خواندن باشد و نیازی به تکان دادن دماسنج در حین کار نباشد (شکل ۱-۱۵ تا ۱۶-۳)



تصویر ۱-۹: قرار دادن سه دماسنج با حباب‌های مشکی در نواحی مختلف طیف در سایه



تصویر ۲-۹: قرار گیری دماسنج‌ها در ناحیه آبی، زرد و کمی بعد از قرمز

تصویر ۳-۹: اندازه‌گیری دمای دماسنج‌ها پس از سه دقیقه

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)

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 فرسوخ نیز بشوید. اتاق را تا حد امکان تاریک نمایید. حال اگر با دوربین گوشی همراهی که نسبت به نور فرسوخ حساس است از چراغ قوه عکس بگیرید به خوبی می‌توان نور چراغ را تشخیص داد.



تصویر ۱-۱۰: کنترل با چشم غیرمسلح



تصویر ۲-۱۰: کنترل فعال با دوربین تلفن همراه

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 شگفت زده خواهید شد! برای ارسال سیگنال از کنترل به تلویزیون یا سایر ابزارهای الکترونیکی از تابش فرسوخ 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 فرسوخ یک لامپ

اغلب اجرام آسمانی امواج گوناگونی از خود منتشر می‌کنند. گرد و غبار 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 فرسوخ که به ما می‌رسد شفاف است. این موضوع در مورد سایر ابرهای غباری تاریک کهکشان مان نیز صدق می‌کند.

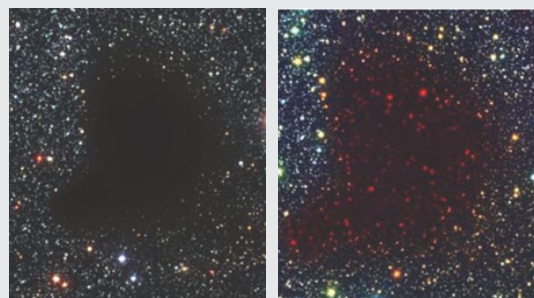


تصویر ۱-۱۲ و ۲-۱۲: پارچه‌ی نمدی کاملاً نور مرئی را مسدود می‌کند اما نسبت به تابش فرسوخ شفاف است.

### فعالیت ۶: ساخت صورت فلکی با تابش فرسوخ

می‌توانید از مغازه‌ی لوازم الکترونیکی یا به صورت آنلاین لامپ‌های ال ای دی فرسوخ 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 اهم به یکدیگر متصل می‌شوند.

شما می‌توانید مدارهای کوچکی به کمک لامپ‌های LED برای صورت‌های فلکی مشهور آسمان مانند ذات‌الکرسی، خرس بزرگ، شکارچی (با توجه به آسمان نیم کره ای که در آن زندگی می‌کنید) بسازید و سپس به کمک دوربین گوشی همراه آن‌ها را در محدوده‌ی فرسوخ مشاهده نمایید.



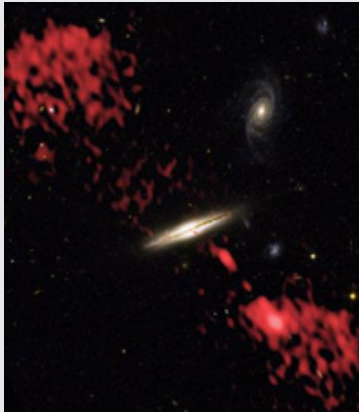
تصویر ۱-۱۱: ابر غباری در ناحیه نور مرئی

شکل ۲-۱۱: همان تصویر در طول موج فرسوخ

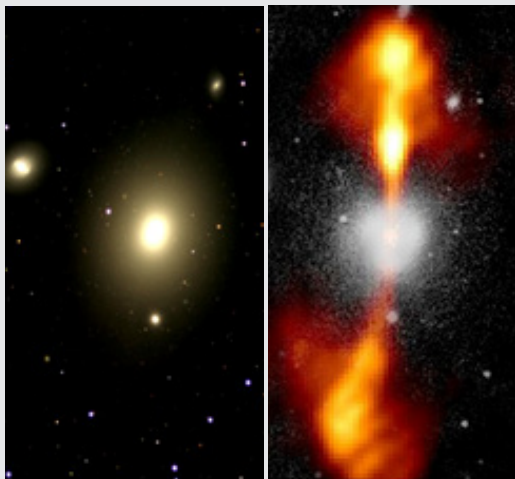
در لامپ‌های رشته‌ای پرنور عمده‌ی انرژی در محدوده‌ی نور مرئی و مقداری از آن در بخش فرسوخ منتشر می‌شود. امواج فرسوخ می‌توانند از اجرامی که نسبت به نور مرئی کدر هستند، عبور کنند.



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 (تصاویر ۱۵)



تصویر ۱-۱۵: این کهکشان جت‌هایی از خود ساطع می‌کند که تنها در محدوده‌ی امواج رادیویی قابل مشاهده است. (رنگ قرمز غیر واقعی است)



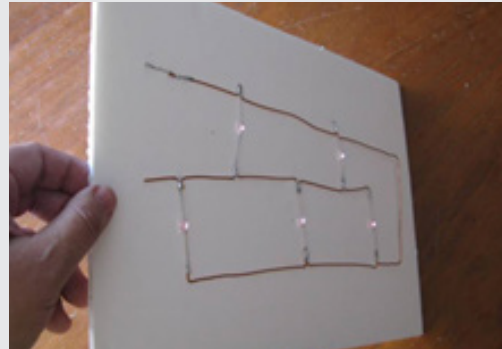
تصویر ۲-۱۵:  
کهکشان  
NGC ۴۲۶۱  
در نور مرئی

تصویر ۳-۱۵: همان  
کهکشان در محدوده‌ی  
رادیویی که داری چند جت  
از مواد است.  
(رنگ‌ها غیر واقعی است)

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



تصویر ۱-۱۳ و ۲-۱۳: 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 فرسرخ 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 و ۲-۱۴: 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

دور شدن از منبع کاهش می‌یابد. امواج رادیویی توانایی عبور از موانع و حتی دیوار نیز دارند.

برای انجام این آزمایش به دو قطعه سیم ۲۰ سانتی متری 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 سانتی متر 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 سوسر مداد را به سیم متصل به نوار بچسبانید و سر دیگر را به پایانه دوم باتری وصل کنید (تصویر ۱۶).

رادیورا روشن کرده و در موج AM (نه FM) قرار دهید. سپس با انتهای مداد به توپ سیمی ضربه زده و همزمان موج رادیورا عوض کنید تا جایی که صدای ضربه‌های توپ را بشنوید. می‌توان رادیورا دور کرد و یا موانعی مانند مقوا یا چوب در مسیر آن قرار داد. همچنین می‌توانید رادیورا 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 رادیویی

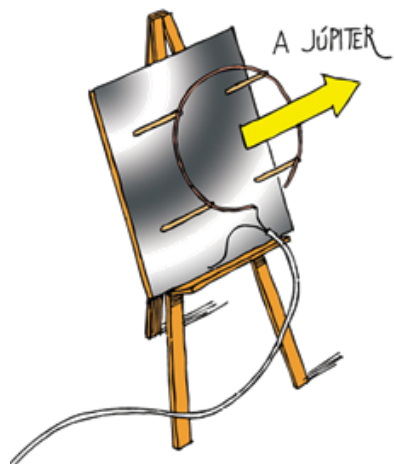
### فعالیت ۹: شنیدن صدای سیاره هرمز (مشتری)

سیاره‌ی هرمز امواج رادیویی در طول موج‌های مختلف از خود منتشر می‌کند. منبع این امواج هنوز به صورت دقیق مشخص نشده است اما احتمالاً 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 تقریباً یکسان است که هرده ساعت یک بار 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 یک بار 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 و اطمینان 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 سانتی متر تهیه کنید و با آن یک حلقه‌ی باز بسازید. سپس چهار چوب به ارتفاع ۳۰ سانتی متر به عنوان پایه به آن وصل کنید. یک صفحه‌ی چوبی به ابعاد ۶۰\*۶۰ که با یک ورق آلومینیومی پوشیده شده است 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. سردیگر 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.

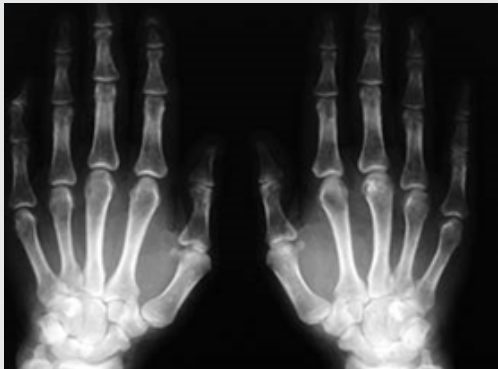
خورشید امواج فرابنفش از خود ساطع می‌کند اما خوشبختانه اتمسفر زمین (به ویژه اوزون) میزان زیادی از آن را جذب می‌کند. البته مقداری از این طول موج برای حیات ضروری است. این امواج موجب برنزه شدن پوست ما می‌شود (مقدار زیاد آن موجب سرطان پوست می‌شود)، همچنین توسط گیاهان برای فتوسنتز و سایر موارد جذب می‌شود. کاهش ضخامت لایه‌ی اوزون زمین خطرناک خواهد بود و در نتیجه زمین میزان زیادی امواج فرابنفش دریافت کرده و احتمال ابتلا به انواع سرطان‌ها افزایش می‌یابد.

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.

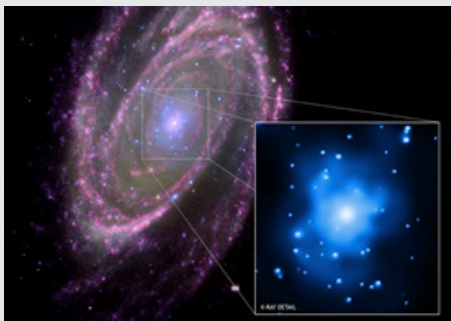
همچنین از این خاصیت در صنعت تولید کاغذ پول استفاده می‌شود؛ یک نوار کوچک فلورستنی که با قرارگیری در نور فرابنفش دیده می‌شود را در پول قرار می‌دهند و بدین ترتیب پول اصلی را از پول تقلبی تمایز می‌دهند (تصویر ۱۸). از نور فرابنفش برای ساخت دستگاه‌های تشخیص جعل استفاده می‌شود (تصویر ۱۹) بسیاری از کارت‌های شناسایی دارای نشانه‌ای هستند که به کمک نور فرابنفش قابل مشاهده است.

### اشعه‌ی X

امواج ایکس از امواج فرابنفش نیز پراثرتری تر هستند و از آن‌ها در پزشکی به منظور رادیوگرافی و سایر اشکال شناخته شده‌ی رادیولوژی استفاده می‌شود (تصویر ۲۰-۱).



تصویر ۲۰-۱: امواج ایکس استفاده شده در پزشکی



تصویر ۲۰-۲: کهکشان M81 به همراه مرکز آن در طول موج ایکس؛ که حضور یک سیاهچاله‌ی عظیم در مرکز آن را نشان می‌دهد.



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)

## 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 Intitute of Technology.

<http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>

• [http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM\\_Astronomy](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/>

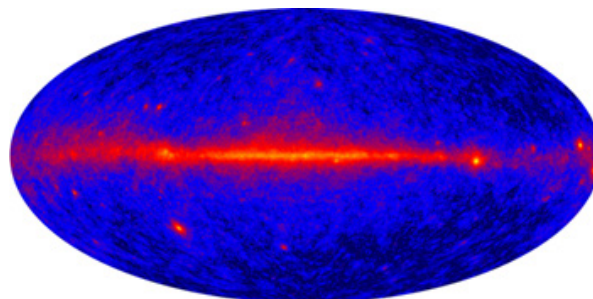
در کیهان امواج - ایکس نشانگر پدیده‌ها و اجرامی با انرژی بالا مانند کهکشان‌ها، کوازارها، ابرنواخترها و . . . است. ماموریت تلسکوپ فضایی چاندرا شناسایی و بررسی این اجرام است.

## امواج گاما

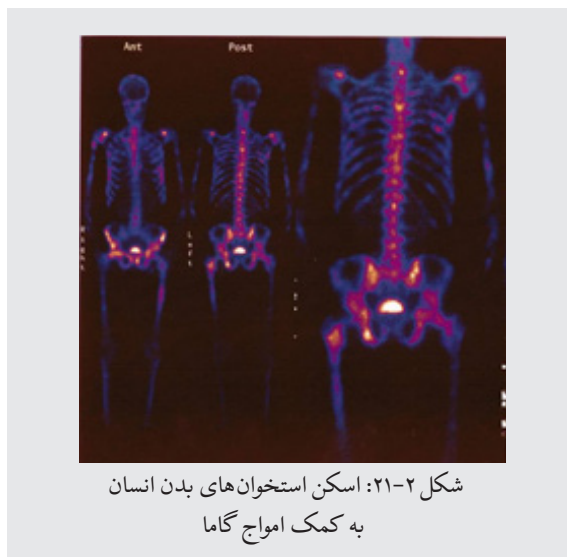
در انتهای طیف، امواج گاما با طول موجی کمتر از طول موج امواج-ایکس حضور دارند. این امواج پرانرژی ترین بخش طیف هستند و از برخورد ماده (الکترون) و پادماده (پوزیترون) به وجود می‌آیند. کیهان میزبان منابع مختلفی از امواج گاما است (شکل ۱-۲۱) و شناسایی یک انفجار عظیم از پرتوهای گاما به مدت چند دقیقه تا چند ساعت در کیهان پدیده چندان عجیبی نیست.

با توجه به طول موج بسیار کوتاه 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 شده است؛ خط مرکز تصویر نشان دهنده کهکشان راه شیری است.



شکل ۲-۲۱: اسکن استخوان‌های بدن انسان به کمک امواج گاما

## 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 مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)

### خلاصه

این بخش شامل تعدادی فعالیت، برای درک مفهوم انبساط جهان است. در نخستین فعالیت یک طیف سنج برای مشاهده 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 می کنیم. در فعالیت پنجم، به صورت کمی انبساط سطحی و ثابت هابل را برای آن محاسبه خواهیم کرد.

در فعالیت ششم، تابش زمینه ی کیهان را شناسایی 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

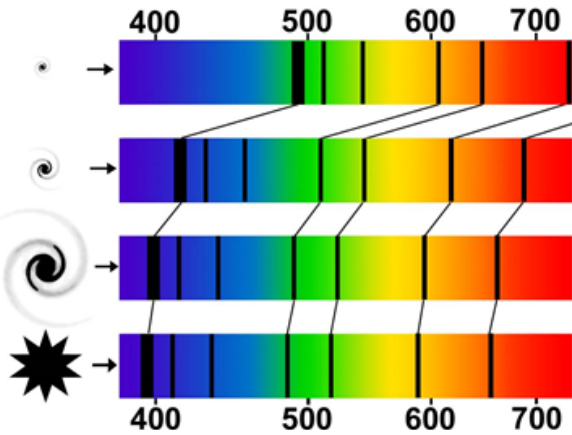
در حال حاضر نظریه انفجار بزرگ - بیگ بنگ - مقبول ترین نظریه در مورد پیدایش جهان هستی است. طبق این نظریه، عالم بر اثر یک انفجار بزرگ آغاز و شروع به انبساط نمود. کهکشان ها در فضا حرکت نمی کنند، بلکه فضای بین آن ها انبساط یافته و کهکشان ها را با خود می کشد. به همین علت، همانطور که هیچ کشوری را نمی توان مرکز سطح زمین در نظر گرفت، ما نیز نمی توانیم راجع به مرکز عالم صحبت بکنیم. سرعت دور شدن یک کهکشان، متناسب با فاصله ی آن از ما است. ثابت مربوطه، ثابت هابل نامیده می شود. قانون هابل بیانگر رابطه ی خطی بین فاصله ی کهکشان و سرعت دور شدن آن است.

مشاهده ی سرخ گرایی در طیف کهکشان ها، اولین مهر تایید بر اثبات انفجار بزرگ بود و شناسایی تابش زمینه ی کیهان زمینه ی اثبات نهایی آن را فراهم آورد.

### سرخ گرایی

اگر در آزمایشگاه به وسیله ی یک طیف سنج، به نور یک گاز گرم شده، مثلاً 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 جابه جایی اندکی در خطوط خواهیم بود. این جابه جایی با نام سرخ گرایی شناخته می شود، چرا که خطوط بیشتر کهکشان ها به سمت رنگ سرخ حرکت می کنند.



سرخ گرایی در طیف کهکشان های دوردست بیشتر است. این جابه جایی بیانگر آن است که آن کهکشان ها با سرعت بیشتری در حال دور شدن از ما هستند.

سرخ گرایی، ناشی از دور شدن کهکشان از ما است؛ مانند تغییر صدای قطار وقتی که از ما دور و یا به ما نزدیک می شود؛ جابه جایی بیشتر، سرعت بیشتر را نشان می دهد.

مطالعه ی طیف کهکشان های گروه محلی نشان می دهد که ابرماژلانی بزرگ با سرعت ۱۳ کیلومتر بر ثانیه و ابرماژلانی کوچک با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن هستند. آندرومدا با سرعت ۶۰ کیلومتر بر ثانیه در حال نزدیک شدن به ما است در حالی که M32 (یکی از قمرهای آن) با سرعت ۲۱ کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن از ما هستند. به عبارت دیگر، کهکشان های همسایه دارای حرکت های نسبی و نامنظم هستند.

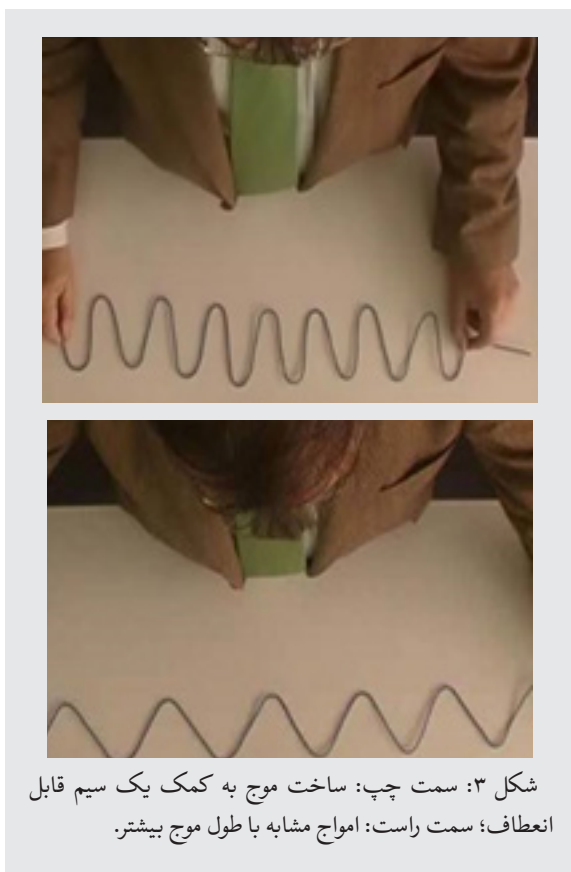
با نگاهی به خوشه ی کهکشانی سنبله که در فاصله ی ۵۰ میلیون سال نوری از ما قرار دارد، شاهد دور شدن آن با سرعت ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه خواهیم بود. در ابرخوشه ی گیسوی برنیکه در فاصله ی ۳۰۰ میلیون سال نوری سرعت دور شدن بین ۷۰۰۰ تا ۸۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه است. اما در جهت مخالف نیر کهکشان M74 با سرعت ۸۰۰ کیلومتر بر ثانیه و کهکشان M77 با سرعت ۱۱۳۰ کیلومتر بر ثانیه در حال دور شدن هستند. بررسی کهکشان های محوی که در فاصله ی بسیار دوری از ما قرار دارند، سرعت دور شدن بسیار بیشتری را نشان می دهند: NGC375 با سرعت ۶۲۰۰ کیلومتر بر ثانیه، NGC562 با

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: کش آمدن 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 ساختمان‌ها 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 در مورد پرتوهای کهکشانی رخ می‌دهد، طول موج افزایش می‌یابد؛ قسمت‌های 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 به نام خود او نامیده شد: کهکشان‌های

سرعت ۱۰۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه، با 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؟

## فعالیت ۱: اثر داپلر

در اثر داپلر، طول موج صدا با حرکت منبع آن تغییر می‌کند. همه‌ی ما این اثر را به خوبی در مسابقات اتومبیل‌رانی و موتورسواری به هنگام دور و نزدیک شدن آن‌ها تجربه کرده ایم. تجربه‌ی آشناتر این اثر، ماشین آتش‌نشانی و یا سوت قطار است.

شما می‌توانید به سادگی این اثر را به کمک یک ساعت زنگ‌دار، کیسه‌ی پارچه‌ای و نخ تجربه کنید.

ساعت را درون کیسه‌ی پارچه‌ای قرار داده و سپس به کمک نخ آن را محکم می‌کنیم. حالا آن را بالای سر می‌چرخانیم، می‌توانیم هنگام نزدیک شدن به حضار ببینیم 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.

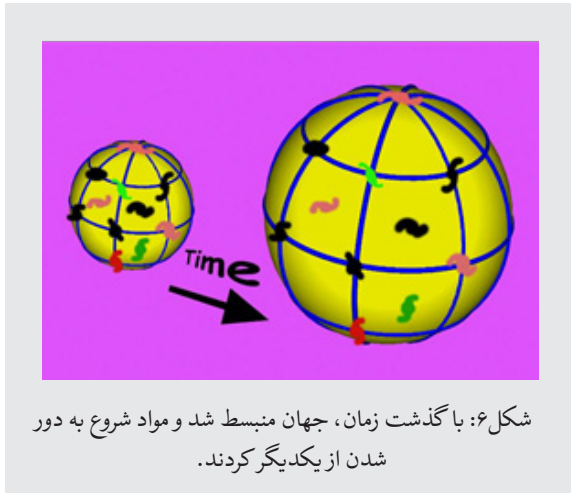


شکل ۲ الف: ساعت، کیسه، نخ



شکل ۲ ب: ساعت را به دور سر خود می‌چرخانیم. حضار شاهد تفاوت صدای زنگ خواهند شد.

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.



شکل ۶: 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 دور را به هم مربوط می‌کند، با نام ثابت هابل شناخته می‌شود. قانون هابل بین فاصله و سرعت کهکشان رابطه‌ی زیر را برقرار می‌کند:

$$v = H \cdot d$$

با دانستن سرعت و فاصله‌ی برخی از کهکشان‌ها، می‌توان این ثابت را به صورت تقریبی به دست آورد. سرعت کهکشان‌ها را به توجه به سرخ‌گرایی آن‌ها به دقت می‌توان اندازه گرفت، اما تعیین فاصله به ویژه در مورد کهکشان‌های دور دست، 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.

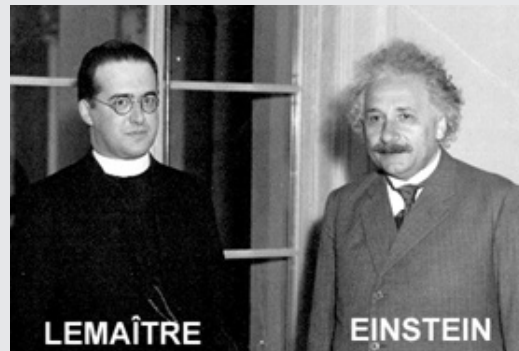
### فعالیت ۳: جهان بروی یک کش

ادوین هابل دریافت که همه‌ی کهکشان‌ها در حال دور شدن از ما هستند. کهکشان‌های دورتر، سریع‌تر 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 بر روی یک کش پهن و با کمک خط کش،

دور دست، 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. دور شدن کهکشان‌ها از ما بدین معنا نیست که ما در مرکز عالم قرار داریم، بلکه برای یک ناظر بیگانه در گوشه‌ی دیگر از عالم نیز، همین اتفاق رخ می‌دهد و برای او نیز همه چیز در حال دور شدن است. درست مانند آتش بازی: همه‌ی 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.

یک بادکنک و مقداری دانه‌های ریز (مثل کاژوچو) 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 به هم نزدیک نمی‌شوند. این یک مدل بسیار ساده برای درک مفهوم انبساط عالم است.



شکل ۸: دانه‌هایی که بر سطح بادکنک کم باد چسبیده‌اند.



شکل ۸: وقتی که بادکنک شروع به باد شدن می‌کند، دانه‌ها از هم دور می‌شوند.

### فعالیت ۵: محاسبه‌ی ثابت هابل

قانون هابل به ما می‌گوید که سرعت که 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

در هر یک سانتی‌متر، یک نشانه قرار دهید و آن‌ها 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 آن‌ها نیز دو برابر می‌شود؟



شکل ۷: نوار کشی در حالت معمولی



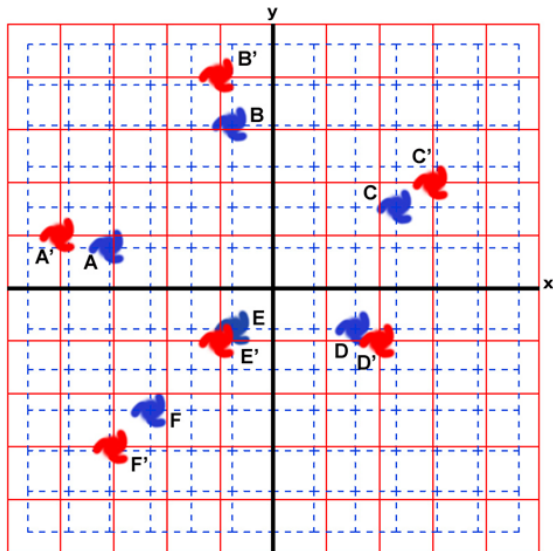
نوار کشی در حالت کشیده شده.

فرض کنید که زمان صرف شده برای کشیدن کش، یک ثانیه بوده است. آیا سرعت دور شدن همه‌ی کهکشان‌ها مشابه بوده، یا برخی سریعتر دور شدند؟ ساکنان کهکشان بعدی، کهکشان ما و سایر کهکشان‌ها را چگونه می‌بینند؟ آیا برای آن‌ها همه‌ی کهکشان‌ها در حال دور شدن هستند؟

### فعالیت ۴: 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





شکل ۹: چهارخانه‌ی خطوط پیوسته (قرمز) مشابه خطوط خط چین (آبی) هستند اما انبساط یافته‌اند. کهکشان‌ها بر روی چهارخانه قرار دارند.

ثانیه، عالم انبساط یافت و خطوط توری و کهکشان به رنگ قرمز نشان داده شد.

جدول ۱ زیر نقشه را پر کنید. در هر ردیف، اطلاعات مربوط به هر کهکشان را یادداشت نمایید. برای مثال: مختصات با توجه به مربع‌های آبی (خطوط نقطه چین) 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  $\Delta d$  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 تقریباً ثابت است.

Galaxia	Coordenadas x,y	d=distancia al origen	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
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	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A					
A'					
B					
B'					
C					
C'					
D					
D'					
E					
E'					
F					
F'					

جدول ۱: مختصات نوشته شده به صورت نمونه

## انفجار بزرگ

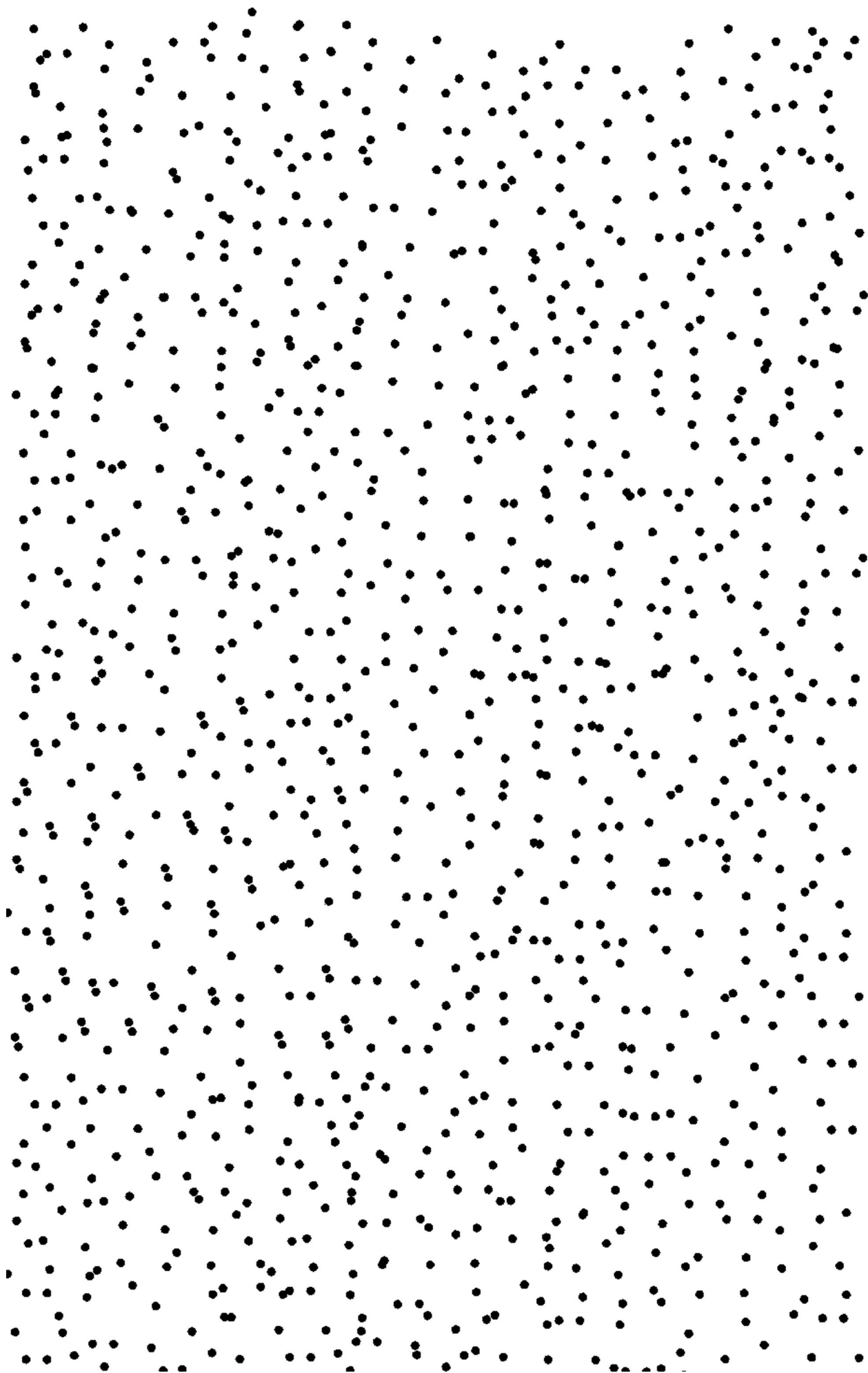
در حال حاضر، انفجار بزرگ به عنوان تئوری پیدایش عالم، به صورت گسترده در جامعه علمی پذیرفته شده است؛ البته همچنان برخی از افراد نسبت به آن شک دارند و احساس می‌کنند که برخی جزئیات سربه‌مهر باقی مانده‌اند. در سال ۱۹۹۴ مجله آمریکایی Sky & Telescope مسابقه‌ای برای نام‌گذاری دوباره‌ی آن برگزار کرد. از میان ۱۲۰۰۰ پیشنهاد دریافتی، هیچ کدام نتوانست جایگزین نام قبلی شود. این نام توسط ستاره‌شناسی به نام فرد هویل، که تعصبات ضد مذهبی داشت، در یک برنامه‌ی رادیویی بیان شد. وی فکر می‌کرد که این ایده بیش از حد با وجود یک خالق سازگار است.

با مشاهده‌ی 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 نمی‌دهد. زیرا علم در مورد چگونگی کارکردن اجزا صحبت می‌کند و علم می‌تواند

در مورد چگونگی انفجار بزرگ صحبت کند؛ اما به سؤالاتی مانند چرایی موجودیت ماده پاسخ نمی‌دهد. 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 غیرممکنی دارند. به همین دلیل، این تئوریه‌ها علمی نیستند.

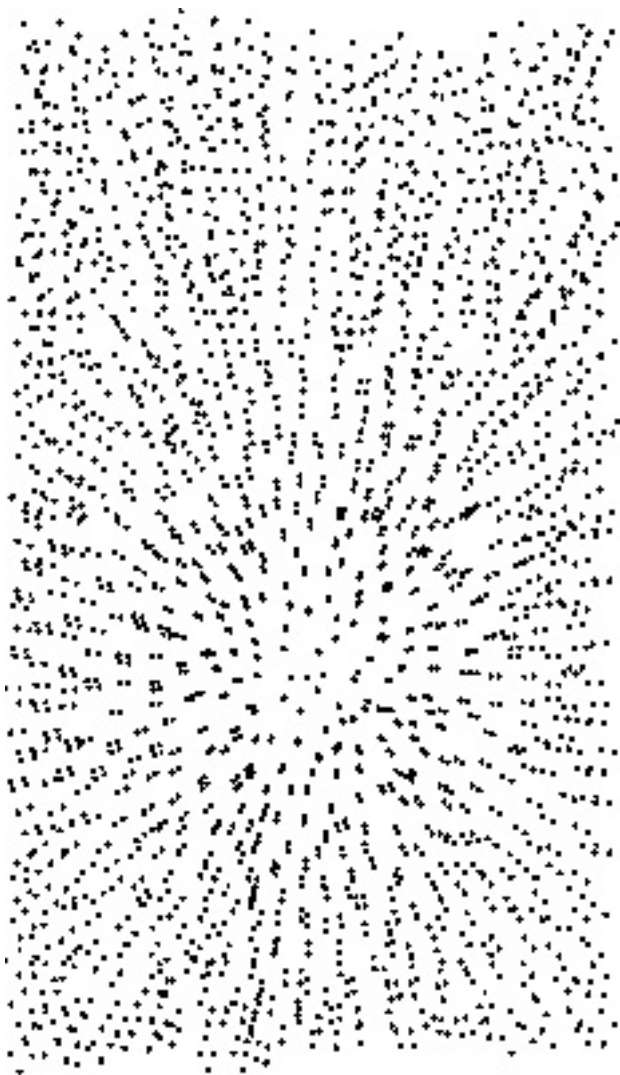
به علم، بازمی‌گردیم. در آن لحظه‌ی ابتدایی، همه‌ی ماده و انرژی بی‌نهایت متراکم و کوچک بود. انفجار بزرگ، انفجار فضا در لحظه‌ی آغاز بود. از آن لحظه به بعد با قوانینی که وجود دارد، ماده شروع به تشکیل شدن کرد و عالم فعلی را ایجاد نمود.



شکل ۱۰: این تصویر را بر روی یک طلق شفاف پرینت کنید، سپس یک پرینت که ۱۰٪ بزرگ تر است، نیز فراهم کنید.

## فعالیت ۶: هیچ مرکزی برای انبساط وجود ندارد.

در صفحه‌ی بعد، تصویری (شکل ۱۰) وجود دارد که نقاط آن نمایانگر کهکشان‌ها در یک زمان معین هستند. از آن تصویر یک کپی بر روی کاغذ شفاف تهیه نمایید. سپس بر روی یک کاغذ شفاف دیگر کمی آن را بزرگتر 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 دور شدن هستند. حال اگر مکان انطباق را جابه‌جا کنید (شکل ۱۱-ب)، دوباره مشابه خواهد بود؛ بنابراین در فضا: همه‌ی کهکشان‌ها 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 ۱۱ب: ناظری در یک نقطه‌ی دیگر نیز جهان را در حال دور شدن از خود می‌بیند: جهان هستی مرکزی ندارد.

## سیر تکاملی 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.

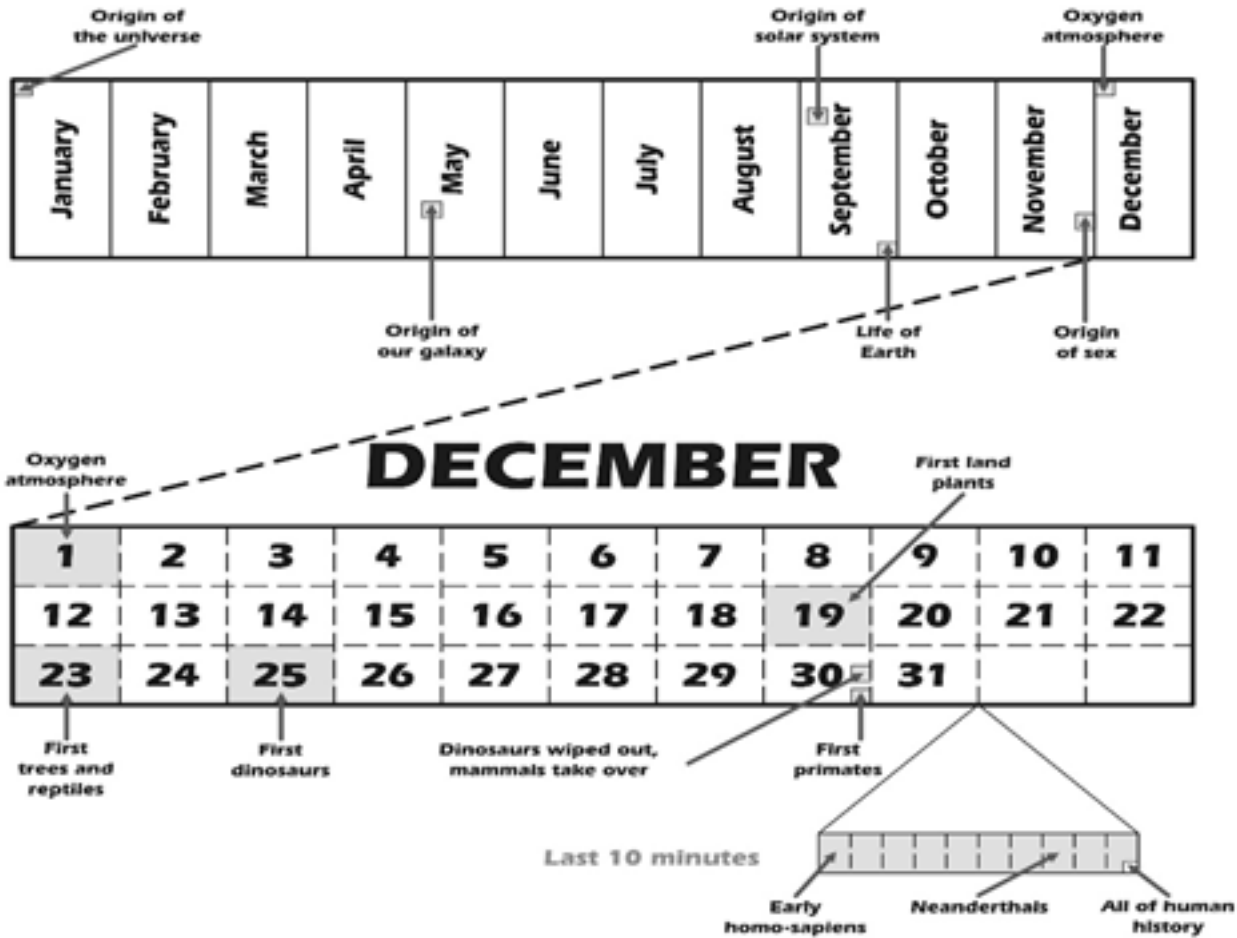
در ماه آوریل، کهکشان راه شیری ما به وجود آمد. در ماه اوت، خورشید تشکیل شد و تا پایان همین ماه زمین کروی گردید؛ اما تا ماه اکتبر اکسیژنی بر روی زمین یافت نمی‌شد. اگرچه سلول‌های زنده‌ی بسیار ساده (پروکاریوت‌ها) فوراً بر روی زمین ظاهر شدند، اما سلول‌های هسته‌دار (یوکاریوت‌ها) در دومین روز دسامبر و اولین ارگانسیم‌های چندسلولی در دوازدهم دسامبر پدیدار شدند. در نوزدهمین روز همان ماه، اولین ماهی‌ها و در روز بیست و یکم تا بیست و دوم، گیاهان، حشرات و دوزیستان تشکیل شدند. در روز بیست و پنجم



شکل ۱۱الف: ترکیب دو پرینت، که یکی ۱۰۵٪ بزرگتر است.

است که انسان نشاندرتال 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 دودهم ثانیه پایانی در جریان است.

دسامبر دایناسورها پدیدار شدند که تا بیست و هشتم 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



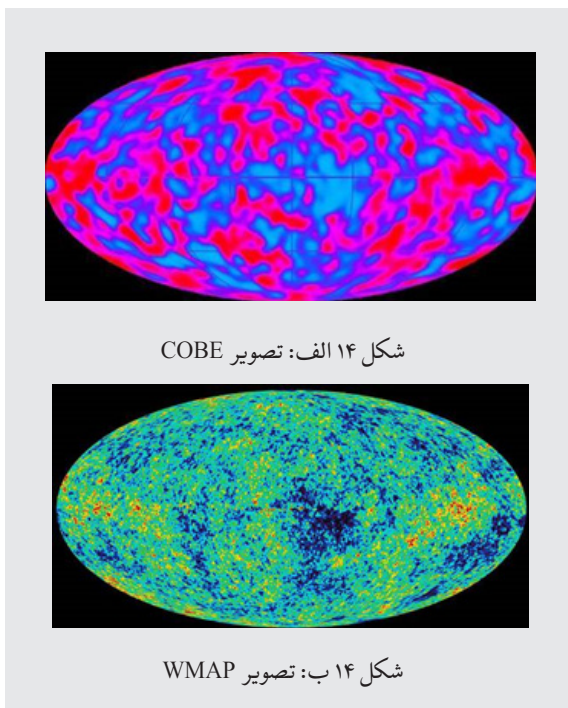
شکل ۱۲: تقویم کیهانی. تاریخ فشرده شده‌ی جهان در طول یک سال. همه‌ی تاریخ ثبت شده‌ی بشری در ۲۱ ثانیه آخر رخ داده است.

## تابش زمینه‌ی کیهان

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 نقطه‌ای که مشاهده کنید، یکی از آن‌ها، تابش زمینه‌ی کیهان است. این تابش در محدوده‌ی ریزموج - مشابه فرکانگی - 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 اختر فیزیک جزیره‌ی ترفی قناری، این نوسانات بر روی زمین نیز شناسایی شد. در سال ۲۰۰۱، ناسا تلسکوپ فضایی WMAP با وضوح بالا را، برای مطالعه‌ی تابش زمینه‌ی کیهان، به فضا پرتاب کرد.



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 از یکدیگر جدا شده و فوتون، الکترون، پروتون و ذرات بنیادین ایجاد شدند. همزمان با انبساط عالم، دما شروع به کاهش نمود. پس از ۳۰۰۰۰ سال، دما به اندازه‌ای کاهش یافت که اتم‌ها و به صورت عمده هیدروژن و هلیوم ایجاد شدند. چگالی کاهش یافت و فوتون‌ها آزادانه در تمام جهات شروع به حرکت کردند؛ آن‌ها نور بودند. دانشمندان می‌گویند که جهان شروع به پدیدار شدن نمود. آن فوتون‌ها، هنوز نیز در فضا در حال جابه‌جایی هستند اما دمای آن‌ها کاهش یافته و به همان میزان، طول موج آن‌ها افزایش یافته است (شکل ۱۳)؛ این فوتون‌های بسیار سرد، تنها انرژی با دمای ۲٫۷ درجه کلوین را منتقل می‌کنند که امروزه با نام تابش زمینه‌ی 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 رادیو تلسکوپ 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 آن‌ها 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،

این نوسانات، احتمالاً مربوط به همان زمان ابتدایی شکل‌گیری کهکشان‌ها است. ما نمی‌دانیم چه عاملی موجب این نوسانات در چگالی شد. فقط می‌توان گفت که یک چین‌خوردگی در آن نواحی رخ داده است و چند صد میلیون سال بعد از انفجار بزرگ، چگالش در پیش‌کهکشان‌ها آغاز شد و تقریباً همزمان با آن اولین ستارگان در این کهکشان‌ها به وجود آمدند.

## فعالیت ۷: شناسایی تابش زمینه‌ی کیهان

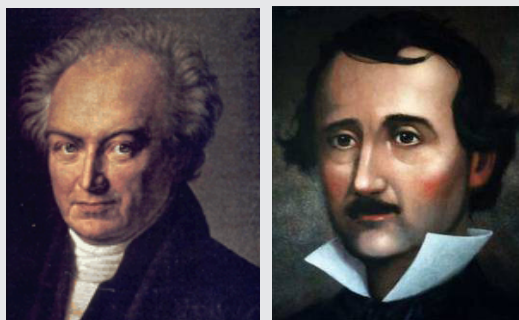
حدود ۳۰۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ، فوتون‌ها از ماده جدا شده و شروع به گردش آزادانه در عالم نمودند. با انبساط عالم، طول موج فوتون‌ها نیز افزایش یافت. امروزه این طول موج حدود ۲ میلی متر تخمین زده می‌شود که در ناحیه‌ی ریزموج طیف قرار دارد و با تابش جسمی سیاه با دمای ۲٫۷ کلون برابر است.

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 (شکل ۱۴-الف) و ماهواره‌ی WMAP (شکل ۱۴-ب) اندازه‌گیری 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 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 تقریباً 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 بر روی کره‌ای به شعاع  $R_1$  قرار دارند. تعداد 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



شکل ۱۵: برخی از نقاطی که در تلویزیون‌های 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 اولبرز در تاریخ باقی ماند.

## 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 به راحتی آن را بر روی یک کره‌ی زمین انجام دهیم. آن‌ها می‌توانند بفهمند که مسیر بین دو نقطه بر روی زمین، همیشه یک منحنی است.

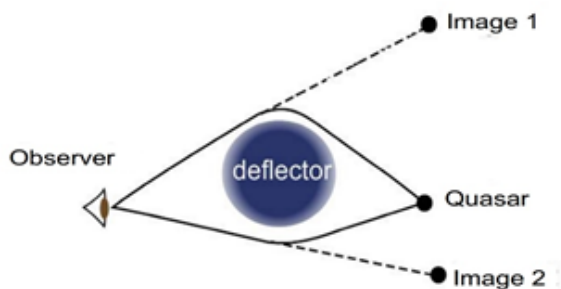


شکل ۱۸ الف و ب: اگر فضا خمیده باشد، کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه یک منحنی است



شکل ۱۸ پ: کوتاه‌ترین مسیر بر روی زمین، یک خط مستقیم نیست.

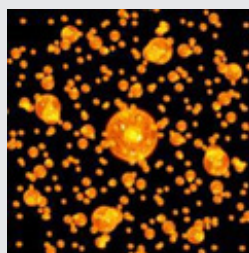
به صورت عمومی، عدسی گرانشی را می‌توان یک عدسی معمولی در نظر گرفت، با این تفاوت که عمل انحراف در فضا توسط حجم عظیمی از ماده‌ی موجود در مسیر نور، که انحراف‌کننده نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد.



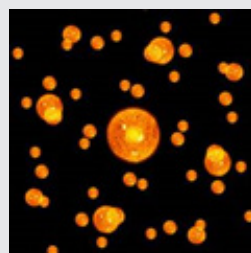
شکل ۱۹ الف: ناظر دو تصویر می‌بیند و به نظر می‌رسد که نور از دو منبع متفاوت است.

چشمان ما همیشه سطح یک ستاره را می‌بیند و ما نقاط نوری می‌بینیم. حال اگر این در آسمان رخ دهد، شب می‌بایست کاملاً درخشان باشد.

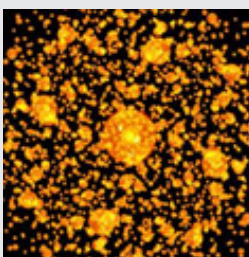
بدیهی است، که این موضوع درست نیست. پارادوکس اولبرز مجادله‌های زیادی در دنیای علمی ایجاد کرد که تا ابتدای قرن بیستم و پیدایش نظریه‌ی انفجار بزرگ ادامه داشت. استدلال‌ها به خودی خود صحیح بودند، اما مشکل اصلی از اصول اشتباهی بود که در نظر گرفته شده بودند. در واقع با انبساط عالم، نور ستارگان دور دست، سرخ‌گرایی بیشتری نسبت به مکان واقعی آن‌ها 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 آن‌ها می‌نگریم. ستارگان بسیار دور دست در ابتدای انفجار بزرگ متولد شده‌اند، اما ما نمی‌توانیم بیشتر از آن را ببینیم، زیرا لایه‌های نامحدودی ستاره نداریم، بنابراین اصل ۱ نادرست است.



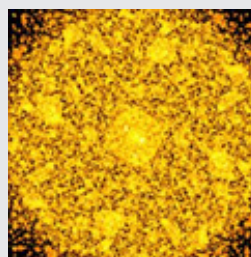
اما ستارگان دور دستی نیز هستند که نورشان را ارسال می‌کنند.



نور رسیده از ستارگان نزدیک



هرچه دورتر، ستاره‌ها نیز بیشتر



از هر نقطه‌ی آسمان، نور یک ستاره را می‌توان دریافت کرد.

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.





شکل ۲۰ 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 پایه دار 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 پراز آب میوه قرار دهید و به پرتونور نگاه کنید.

براحتی می‌توان انحراف فضا را در این شبیه سازی مشاهده کرد. یک کاغذ سفید شطرنجی در زیر لیوان قرار دهید و یک لیوان پراز آب سیب روی آن قرار دهید. حال می‌توان انحراف خطوط شطرنجی را دید.



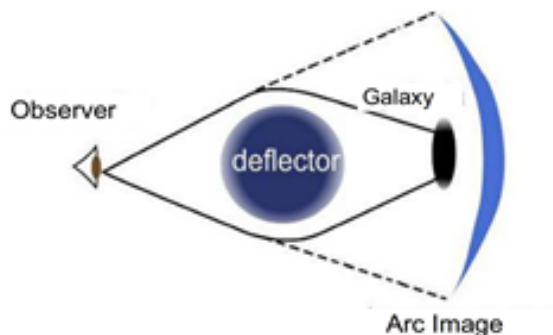
شکل ۲۱ الف و ب: اعوجاج را می‌توان در کاغذ شطرنجی زیر لیوان پر مشاهده کرد.

به پرتونور نگاه کنید. ما آن را از راست به چپ و از بالا به پایین حرکت می‌دهیم. می‌بینیم که نور، نقطه‌ای نیست. آب میوه موجب تکرار تصویر و یا ایجاد کمان می‌شود. در نتیجه لیوان به مانند یک عدسی عمل کرده و موجب انحراف خط سیر نور شد. در برخی موارد می‌توان شکل‌های بی‌نظم، نقاط قرمز روشن، چهار نقطه‌ی قرمز و یا کمان قرمز بین نقاط مشاهده نمود.



شکل ۱۹ ب: تصویری از کوازار دوگانه‌ی،  $Q0957 + 561$ ، منحرف کننده، کهکشانی در نزدیکی بخش B است.

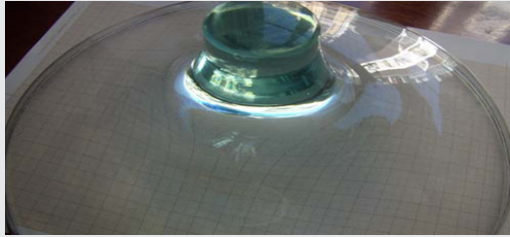
عدسی گرانشی موجب انحراف دسته‌ی نور ساطع شده از جرم نجومی می‌شود. اگر این اجرام، منابع نور نقطه‌ای (مانند ستاره یا کوازار) باشند، آن‌ها در مکان‌هایی متفاوت با مکان اصلی خود دیده می‌شوند، و گاهی اوقات ممکن است چند تصویر از جرم تولید شود. اگر اجرام منتشر کننده نور وسیع باشند (مانند کهکشان‌ها)، تصاویری با 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: قوس‌های درخشان عظیم تشکیل شده توسط خوشه کهکشان Abell 2218



شکل ۲۳: تغییر شکل خانه های شطرنجی



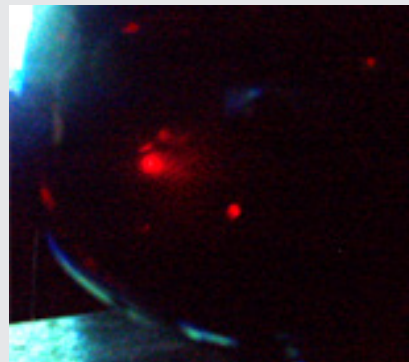
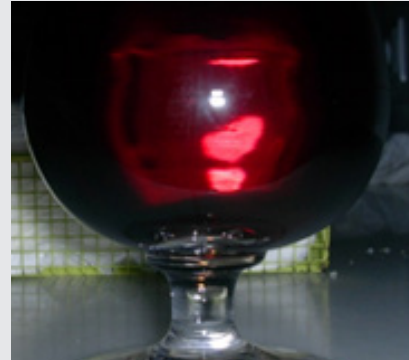
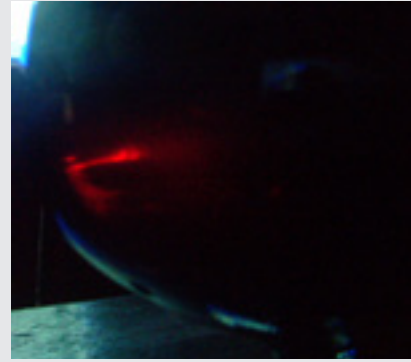
شکل ۲۴ الف، ب و پ: پایه ی لیوان می تواند بسیاری از شکل های ساخته شده توسط عدسی گرانشی را شبیه سازی کند. تکه های قوس، نقاط و حلقه ی انیشتین

### کتابشناسی:

- Moreno, R. Experimentos para todas las edades. Ed. Rialp., Madrid. 2008.
- Moreno, R. Taller de Astrofisica. 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>



شکل ۲۲ الف: پرتوی نور منحرف شده به صورت یک قوس میان دو نقطه ی قرمز درخشان شکل ۲۲ ب: یک مستطیل بی شکل شکل ۲۲ پ: صلیب انیشتین

همچنین می توانیم به کمک پایه ی لیوان، شبیه سازی عدسی گرانشی را انجام دهیم. پایه ی لیوان شیشه ای را روی کاغذ شطرنجی قرار می دهیم و از آن نگاه می کنیم. خطوط کاغذ دچار انحنای شده اند. با حرکت دادن پایه ی لیوان به آرامی از راست به چپ بالای یک جسم (مثلا دایره ای به شعاع سه سانتی متر) می توان اشکالی که توسط عدسی گرانشی مشاهده می شوند را تولید نمود.

## سیارات و فراخورشیدی‌ها

رزا ماریا رز، هانس دیگ، اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)، موسسه اختر فیزیک 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. هر فعالیت 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 منظومه شمسی

### منظومه شمسی

دانش‌آموزان با استفاده از مدل‌های مقیاسی منظومه 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	۴۸۷۸	$۵۷/۹ \times ۱۰^۶$
ناهید	۱۲۱۸۰	$۱۰۸/۳ \times ۱۰^۶$
زمین	۱۲۷۵۶	$۱۴۹/۷ \times ۱۰^۶$
Marte	۶۷۶۰	$۲۲۸/۱ \times ۱۰^۶$
مشتری	۱۴۲۸۰۰	$۷۷۸/۷ \times ۱۰^۶$
زحل	۱۲۰۰۰۰	$۱۴۳۰/۱ \times ۱۰^۶$
اورانوس	۵۰۰۰۰	$۲۸۷۶/۵ \times ۱۰^۶$
نپتون	۴۹۰۰۰	$۴۵۰۶/۶ \times ۱۰^۶$

جدول ۱: 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 دانش‌آموزان تفاوت اندازه‌ی سیارات را درک خواهند کرد.

با استفاده از مقیاس هر یک سانتی متر، ۱۰۰۰۰ کیلومتر، قطر سیارات به شرح زیر خواهد بود: خورشید ۱۳۹ سانتی متر، تیر ۰٫۵ 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.



شکل ۲: 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

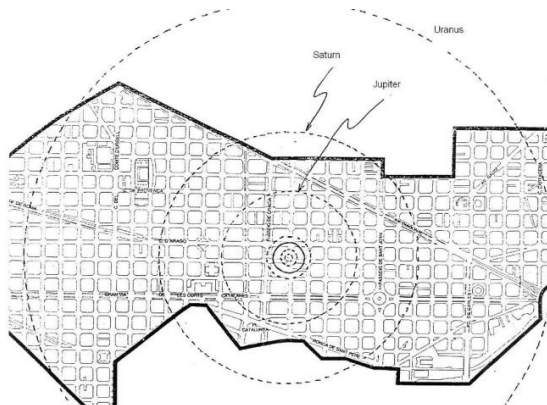
در یک گوشه حیاط قرار داده شود و سیارات به ترتیب: تیر، به اندازه‌ی سربیک سوزن ته گرد (۱ میلی متر) در فاصله‌ی ۱۰ متری، یک سوزن با سربزرگ تر (۲ میلی متر)، در فاصله‌ی ۱۹ متری به عنوان ناهید، یک سوزن مشابه دیگر (قطر ۲ میلی متر) به عنوان زمین در فاصله ۲۷ متری، بهرام یک سوزن ته‌گرد کوچک (۱ میلی متر) در فاصله‌ی ۴۱ متری از خورشید قرار داده می‌شوند. در این حالت معمولاً 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 آنها 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 پونگ (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 (قطریک سانتی متر) در فاصله‌ی ۸۰۰ متری، به عنوان نپتون قرار خواهند گرفت.

در نظر داشته باشید که این مدل منظومه شمسی در مدرسه جانمی شود. 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 دانش آموزان 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 اشیاء متفاوت به عنوان سیارات (مثلاً 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

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 ۱۰۰۰۰۰۰ 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 توالی 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 ساده‌ای نیست، در حقیقت کنار هم قرار دادن دو ویژگی فاصله و اندازه کار دشواری است و چندان هم برای دانش آموزان مفید نیست. به عنوان یک پیشنهاد می‌توان این مدل را در حیاط 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 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 می توان از دانش آموزان خواست که یک کره به اندازه یک ماشینی ظرفشویی در نظر بگیرند. مدرس می تواند فعالیت مشابهی با توجه به شهر خود انجام دهد.



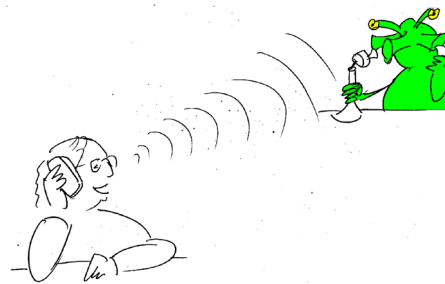
شکل ۶: تصویری از شهر متز فرانسه.

در شهر متز (فرانسه) اجزای منظومه شمسی در خیابان ها و میادین پخش شده اند، هم چنین تابلویی از اطلاعات در کنار آن ها، برای افرادی که در آن مکان ها قدم می زنند قرار داده شده است.

### مدل فاصله ی نور

در ستاره شناسی از سال نوری به عنوان واحدی برای اندازه گیری استفاده می شود، که اغلب به عنوان واحد اندازه گیری زمان، اشتباه گرفته می شود. این مفهوم را به کمک مدل منظومه شمسی می توان نشان داد. سرعت نور سیصد هزار کیلومتر در ثانیه است، یعنی نور در مدت یک ثانیه مسافتی معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر را طی می کند. برای مثال، فاصله زمین تا ماه ۳۸۴،۰۰۰ کیلومتر است، و نور؛ این مسافت را در مدت ۱٫۳ ثانیه طی می کند.

$$\frac{384,000}{300,000} = 1.3 \text{ seconds}$$

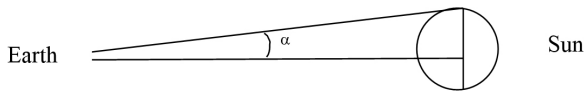


شکل ۷: یک مثال دیگر

با استفاده از این واحد، می توان 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 ۴۳/۲ دقیقه، کیوان ۱/۳۲ ساعت، اورانوس ۲/۶۶ ساعت، نپتون ۴/۱۶ ساعت.) از دانش آموزان بخواهید که یک ویدئو کنفرانس بین خورشید و سیارات را تصور کنند.

ما در اینجا فاصله نزدیک ترین ستاره را معرفی می کنیم، 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 می توانید از دانش آموزان بخواهید تا با استفاده از مدل های منظومه شمسی، فاصله تا این ستاره را محاسبه کنند. در مدل حیاط مدرسه، اگر هر ۱ سانتی متر را معادل ۵۶۰۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم، 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  $\alpha$  است. برای مقادیر کوچک  $\alpha$ ، ما  $\tan \alpha \approx \alpha$  را قرار می دهیم. (برحسب رادیان)



شکل ۸: از زمین، خورشید با زاویه  $\alpha$  دیده می شود.

می دانیم که قطر خورشید  $1/4 \times 10^6$  در نتیجه شعاع آن  $1/8 \times 10^6$  است و فاصله زمین تا خورشید  $150 \times 10^6$  کیلومتر است. در نتیجه:

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radians}$$

و برحسب درجه

$$\frac{0,0045 \cdot 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

اندازه خورشید از روی زمین حدود  $0,51^\circ \approx 2 \times 10^{-5}$  نیم درجه خواهد بود. به صورت مشابه نیز برای سایر سیارات، می توان محاسبه کرد، اندازه خورشید را در جدول ۲ محاسبه کرده ایم و می توان به کمک این جدول اندازه نسبی خورشید را نشان داد (شکل ۹).



شکل ۱۰: مدل چگالی

چگالی	سایر مواد	چگالی	مواد معدنی
۱,۳	گلی سیرین	۲,۳	گچ
۰,۲۴	Cork	۲,۶	اورتوکلاز
۲,۷	آلومینیوم	۲,۲-۱,۱	گوگرد
۷,۸۶	آهن	۲	آلیت
۳,۱ - ۲,۷	سیمان	۲,۶۵	کوارتز
۲,۸ - ۲,۴	شیشه	۱,۷	براکس
۷,۳	قلع	۴	سنگ روی
۲,۵ - ۱,۸	خاک رس	۵,۲	پیریت
۱,۲۵	باکلیت	۵,۴	گلیول قرمز
۰,۹۰	چوب بلوط	۲,۷	کلسیت
۰,۵۵	چوب کاج	۷,۵	سرب

جدول ۴: مثالی از چگالی اجسام مختلف

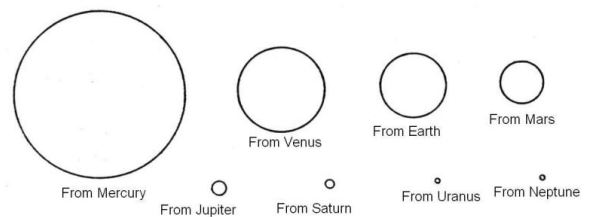
جدول سه، چگالی سیارات را با چگالی مواد معدنی متفاوتی (که مجموع ای از آن‌ها در آزمایشگاه هر مدرسه ای یافت می‌شود)، یا سایر موادی که به آسانی یافت می‌شود، مانند شیشه، سرامیک، چوب و... مقایسه کرده است. به کمک جدول ۴، مواد با چگالی مورد نظر را بیابید. اگر از موادی غیر از مواد ذکر شده در جدول استفاده نمودید، 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

سیاره	$\tan \alpha$	$\alpha$ (°)	$\alpha$ (°) approx
تیر	۰,۰۲۴	۱,۳۸۳	۱,۴
ناهید	۰,۰۱۲۹	۰,۷۴۳	۰,۷
بهرام	۰,۰۰۶	۰,۳۵۲	۰,۴
مشتری	۰,۰۰۱۸	۰,۱۰۳۱	۰,۱
زحل	۰,۰۰۰۹۷۹	۰,۰۵۷	۰,۰۶
اورانوس	۰,۰۰۰۴۸	۰,۰۲۷۸۶	۰,۰۳
نپتون	۰,۰۰۰۳	۰,۰۱۷۸	۰,۰۲

جدول ۲: اندازه خورشید در سیارات مختلف



شکل ۹: 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 <sup>۳</sup> )
خورشید	۱,۴۱
تیر	۵,۴۱
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

کمتر از یک است، بنابراین بر روی آب شناور می ماند.

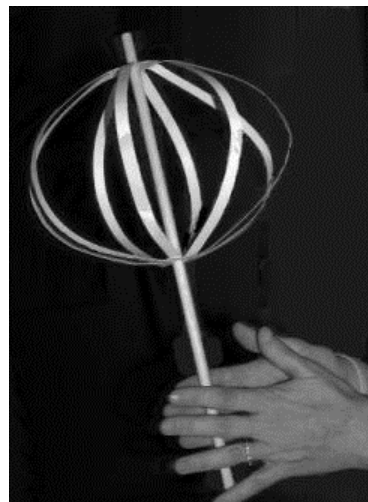
## مدل صاف کردن سیارات

برای تجسم تغییر شکل سیارات گازی بر اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخششان، ما یک مدل ساده می سازیم. با توجه به شکل ۹، با یک چوب و تعدادی نوارهای کاغذی، می توان 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 می کند.



شکل ۱۱: مدلی برای شبیه سازی پخ شدگی

## مدلی برای دوره ی سیارات

سیارات با سرعت و دوره ی مداری متفاوتی به دور خورشید در حال گردش هستند (جدول ۵). با دانستن دوره چرخش و میانگین فاصله سیاره تا خورشید، می توان سرعت میانگین مداری سیاره در مدار را به دست آورد. برای مثال زمین را نظر بگیرید، البته می توان 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  $R = 1.5 \times 10^8 \text{ km}$  است، سرعت  $v = 2,582,750 \text{ km / day} = 107,740 \text{ km / h} = 29.9 \text{ km / s}$  خواهد بود. همچنین در نظر داشته باشید که خورشید با سرعت  $220 \text{ km / s}$  یا به عبارتی  $800,000 \text{ km / h}$  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	$57/9 \times 10^6$	۴۷٫۹۰	۱۷۲۴۴۰
ناهید	۲۲۴٫۷۰	$108/3 \times 10^6$	۳۵٫۰۲	۱۲۶۰۷۲
زمین	۳۶۵٫۲۶	$149/7 \times 10^6$	۲۹٫۷۸	۱۰۷۲۰۸
بهرام	۶۸۶٫۹۷	$228/1 \times 10^6$	۲۴٫۰۸	۸۶۶۸۸
مشتری	۴۳۳۱٫۵۷	$778/7 \times 10^6$	۱۳٫۰۷	۴۷۰۵۲
زحل	۱۰۷۵۹٫۲۲	$1430/1 \times 10^6$	۹٫۶۹	۳۴۸۸۴
اورانوس	۳۰۷۹۹٫۱۰	$2876/5 \times 10^6$	۶٫۸۱	۲۴۸۷۶
نپتون	۶۰۱۹۰٫۰۰	$4506/6 \times 10^6$	۵٫۴۳	۱۹۵۵۸

جدول ۵: داده های مداری سیارات منظومه شمسی

تیر، سریع ترین و نزدیک ترین سیاره به خورشید و نپتون، دورترین و کندترین سیاره است. رومیان باستان متوجه شدند که تیر بسیار سریع حرکت می کند بنابراین آن را پیام رسان خدایان نامیده و با پاهای بالدار نمایش دادند. یک سال در سیاره ی تیر، ۸۸ روز به طول می انجامد. برای مثال، اگر چند هفته با چشم غیر مسلح به رصد بپردازیم، مشتری و زحل را خواهیم دید که آهسته تر از بهرام و ناهید در میان صورت های فلکی دایره البروج جابه جا می شوند.

### مدل گرانش سطحی

فرمول نیروی گرانش،  $F = G \frac{Mm}{d^2}$ ، به ما اجازه می‌دهد که محاسبه گرانش سطحی  $g$ ، وارده بر سطح سیاره ای با جرم  $M$  را می‌دهد. با در نظر گرفتن جرم واحد ( $m = 1$ ) بر سطح سیاره  $d = R$  (شعاع سیاره)، و ثابت جهانی گرانش  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ، می‌توان جاذبه‌ی سطحی را بدست آورد. اگر جرم سیاره از رابطه‌ی  $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$  که چگالی سیاره  $R$  شعاع سیاره باشد، ما بدست می‌آوریم:

$$g = \frac{4}{3} \pi G \rho R$$

با جایگزین کردن مقادیر مربوط به هر دو متغیر طبق جدول ۶ (شعاع بر حسب متر، چگالی بر حسب  $\text{kg/m}^3$  و  $\text{g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) می‌توان مقدار جاذبه‌ی سطحی هر سیاره را محاسبه نمود.

اجرام	R متوسط شعاع (km)	چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )	g گرانش سطحی ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )
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	۲٫۴۸
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:

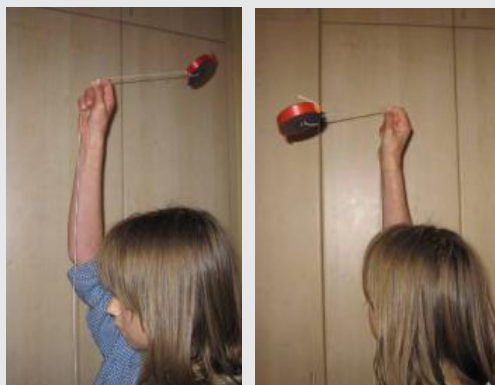
$$g_{\text{تیر}} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5400 \text{ kg/m}^3 = 3.7 \text{ m/s}^2,$$

$$g_{\text{ناهید}} = \frac{4}{3} \pi G \cdot 6052 \times 10^3 \text{ m} \cdot 5300 \text{ kg/m}^3 = 8.9 \text{ m/s}^2.$$

به صورت مشابه می‌توان  $g$  را برای سایر سیارات نیز بدست آورد، در جدول ۷، مقادیر جاذبه‌ی سطحی نسبت به زمین با حرف  $g$  نشان داده شده است.

### مدل ترازوی عقربه‌ای

هدف این مدل، بهینه کردن ۹ ترازوی عقربه‌ای (هشت



شکل ۱۲: شبیه‌سازی حرکت دایره‌ای سیارات.

این یک آزمایش ساده برای تجربه‌ی رابطه‌ی بین فاصله و دوره‌ی مداری است.

یک جسم نیمه سنگین مثلاً گردورا 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 دایره‌ای 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 سرنخ را در محل گره در دست نگه داشته، و سپس شروع به چرخش آن با حداقل سرعت ممکن در صفحه‌ای موازی کرده، تا جسم ما در مدار خود باقی بماند. مشاهده می‌کنیم که اجسام با شعاع کمتر، زمان کوتاه‌تری نیز برای چرخش نیاز دارند.



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 همه‌ی ترازوها، دو عدد فنر تنظیم کننده وجود دارد. در نظر داشته باشید که در پایان کار فنرها را باید به جای خود برگردانیم. (شکل ۱۳)

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



شکل ۱۴: منظومه شمسی با ترازو

### مدل دهانه‌ها

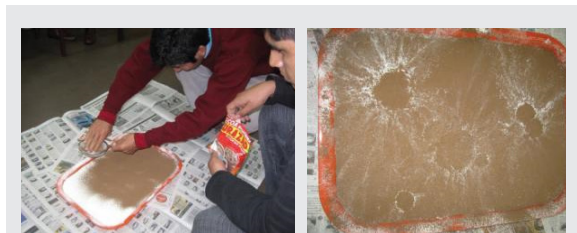
بیشتر دهانه‌های منظومه‌ی شمسی ناشی از آتش‌فشان نیستند، بلکه بر اثر برخورد شهاب سنگ‌ها با سطح سیارات و قمرها به وجود آمده‌اند.

۱. در ابتدا به منظور رعایت نظافت، کف زمین یک روزنامه قدیمی پهن کنید.

۲. سپس به کمک یک الک، لایه‌ی ای آرد به ضخامت ۲-۳ 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 را بریزید. دهانه‌های برخوردی شما ایجاد می‌شوند.

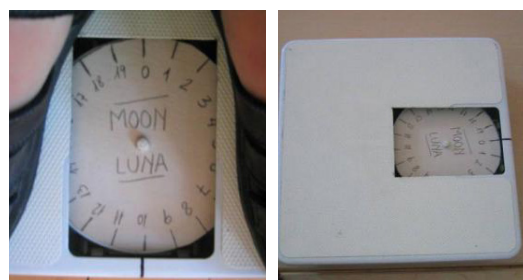


شکل ۱۵: سمت چپ: شبیه‌سازی دهانه‌ها، سمت راست: نتیجه برخورد

۵. ممکن است با تغییر ارتفاع، جرم، نوع ماده و... دوباره آزمایش کنید. در برخی موارد شما می‌توانید دهانه‌هایی با قلعه‌ی 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.



شکل ۱۳: ترازو با مقیاس عوض شده

است.

برای مقایسه نتایج به دست آمده، سرعت فرار در اجزای منظومه شمسی به شرح زیر می باشد:

( 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، می توان 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 چین ها تا می زنیم.

سپس از یک جعبه نگهداری دارو یا غذای ماهی استفاده می کنیم مطمئن شویم که محفظه درون استوانه موشک به خوبی قرار می گیرد. سپس پایه های نگهدارنده را به موشک وصل کنید و در پایان مخروط سر را قرار دهید.



شکل ۱۶: 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 می کنیم و یک چهارم قرص جوشان را در آن می اندازیم. در ظرف را بسته و موشک را روی آن قرار می دهیم. بعد از یک دقیقه موشک پرتاب می شود. بدون شک می توان این آزمایش را بارها و بارها انجام داد ولذت برد. ( در حالت حداکثر سه چهارم آسپرین می ریزیم و از پرتاب لذت می بریم. ) همچنین می توان از بی کربنات و سرکه نیز برای پرتاب موشک استفاده کرد.

فرمول حرکت با شتاب ثابت را در نظر بگیرید که در آن  $e$  مسافت طی شده و  $a$  شتاب است:

$$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0$$

اگر ما شتاب را با  $g$  جایگزین و سرعت اولیه را برابر با صفر در نظر گرفته، بر سطح سیاره  $R = \frac{1}{2} gt^2$  و  $v = gt$  بدست می آوریم. بعد از حذف زمان متغییر:

$$v = \sqrt{2gR}$$

سپس می توان 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 می توان سرعت فرار را محاسبه کرد.

### محاسبه سرعت فرار با استفاده از فرمول های انرژی جنبشی و پتانسیل:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad E_p = -G \frac{Mm}{R}$$

$$\frac{1}{2} mv_e^2 - G \frac{Mm}{R} = 0$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}$$

که  $v_e$ ، سرعت فرار

$G$  ثابت جهانی گرانش ( $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ ).

$M$  جرم ستاره،  $m$  جرم پرتابه،  $R$  شعاع ستاره،

$g$  شتاب گرانش بر سطح ستاره. بر روی زمین،  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

برای مثال ما سرعت فرار برخی از سیارات را محاسبه می کنیم، مثلاً زمین:

$$v_{\text{زمین}} = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9.81 \text{ m s}^{-2} \cdot 6378 \times 10^3 \text{ m})^{1/2}$$

$$= 11186 \text{ m/s} \approx 11.2 \text{ km/s}$$

به صورت مشابه، برای کوچکترین سیاره، تیر:

$$v_{\text{تیر}} = (2 \cdot 3.78 \text{ m s}^{-2} \cdot 2439 \times 10^3 \text{ m})^{1/2}$$

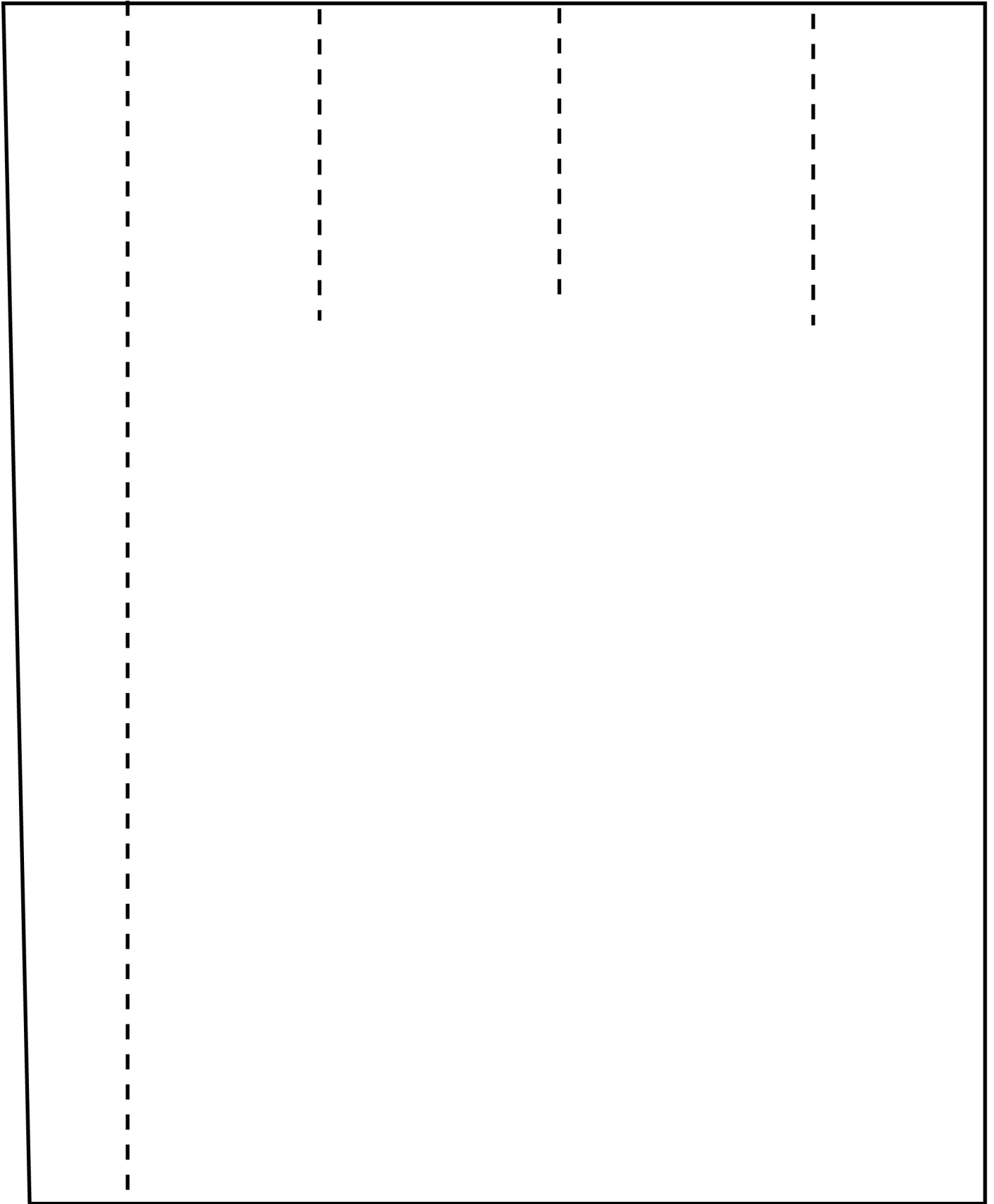
$$= 11186 \text{ m/s} \approx 11.2 \text{ km/s}$$

برای بزرگ ترین سیاره، مشتری:

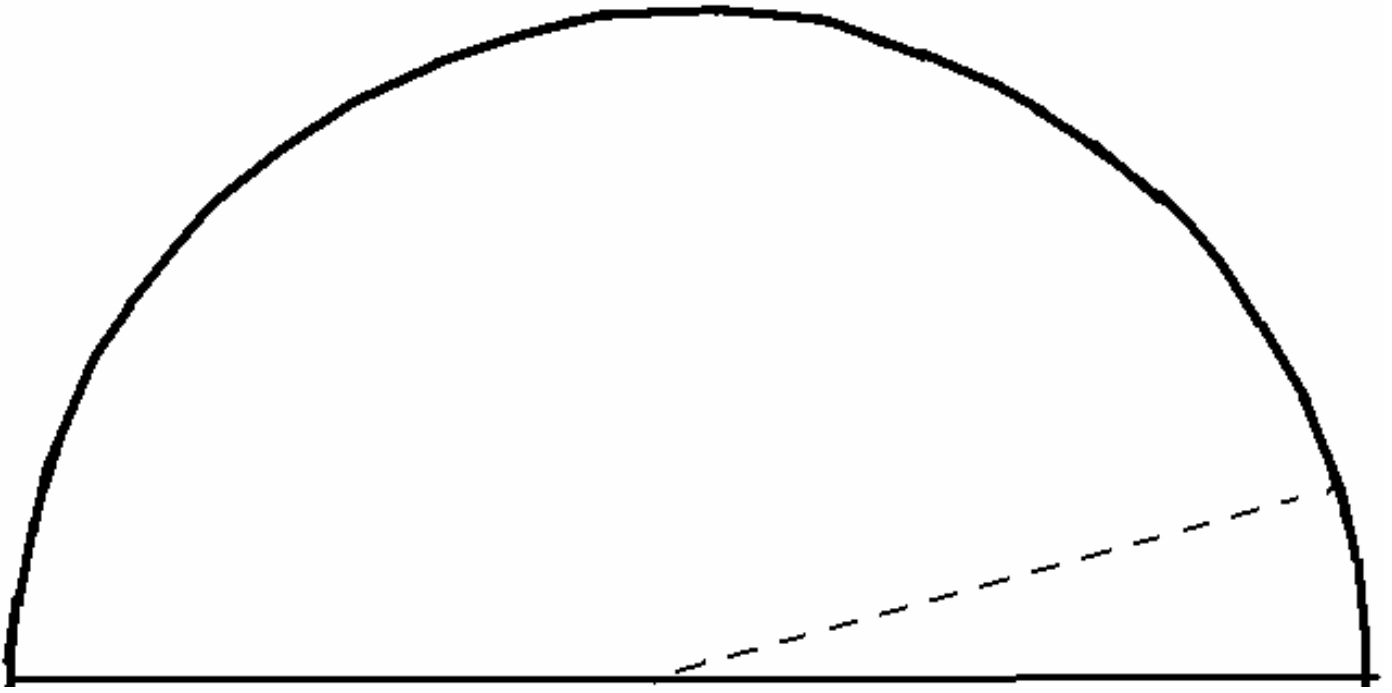
$$v_{\text{مشتری}} = (2 \cdot 23.1 \text{ m s}^{-2} \cdot 71492 \times 10^3 \text{ m})^{1/2}$$

$$= 57471 \text{ m/s} \approx 57 \text{ km/s}.$$

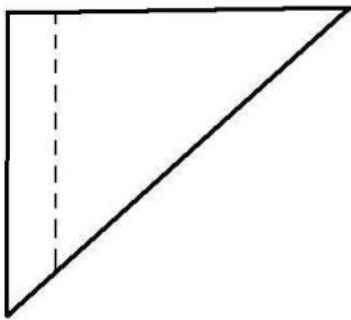
بدیهی است که پرتاب موشک از روی تیر خیلی آسان تر از زمین است، اما پرتاب از روی مشتری با سرعت فرار  $60 \text{ km/s}$  سخت



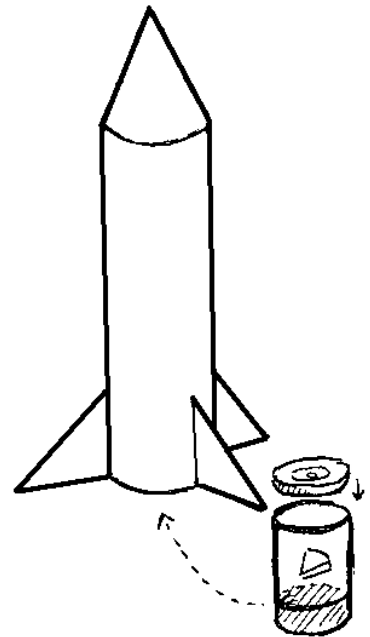
شکل ۱۹: بدنه موشک . در محدوده نقطه چین ها، پایه ها را قرار دهید.



شکل ۱۹: درپوش موشک



شکل ۱۹: مدلی برای سه پایه



شکل ۱۸: یک طرح ساده

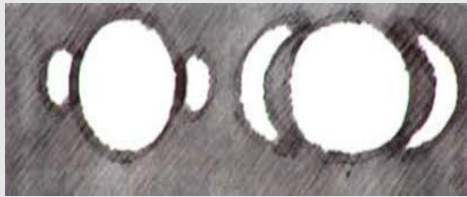
## فراخورشیدی

ستاره شناسان، ۴۰۰۰ سیاره و ۵۰۰ سیستم چندگانه سیاره ای کشف کرده اند. در شکل یک، تصویریکی از اولین سیاراتی که عکس برداری شده است را مشاهده می کنید.

تمام موضوعات این کارگاه، بخشی از تحولات تکنولوژی می باشد که پیشرفت در این زمینه موجب شده است. برخی موارد ممکن است در آینده از اهمیت آن ها کاسته شود؛ اما خوب است که در کلاس درس مطرح شوند. این شاخه به شدت در حال رشد است و ممکن است، برخی از بخش های آن به روزرسانی 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 می کردیم تا هویگنس با تلسکوپ قوی تر خود به زحل نگاه کند و راز حلقه های آن را کشف کند. برای چندین سال، جامعه علمی ساختار زحل را اشتباه تفسیر کرد. نمونه ای از آن را می توان در نقاشی ورین ۱۳۶۳-۱۶۳۸ دید. او با توجه به مشاهدات گالیله، کیوان به مانند سه ستاره ترسیم کرد.



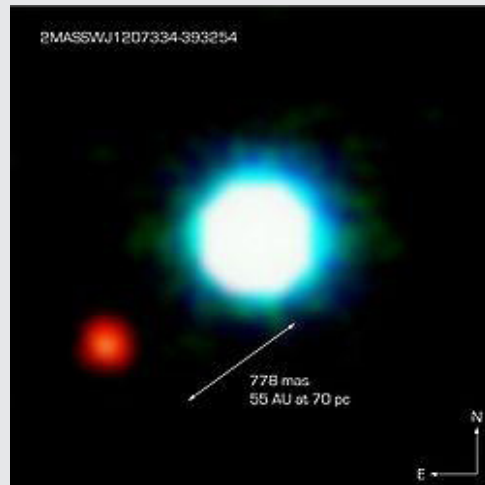
شکل ۲۱: زحل در نقاشی روپین (۱۶۳۶-۱۶۳۸) و نقاشی گالیله ۱۶۱۰.

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 فراخورشیدی ها

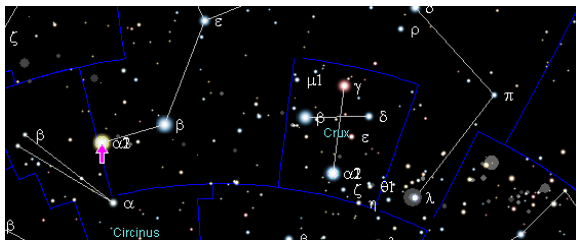
سیارات فراخورشیدی، سیاراتی هستند که به دور ستاره ای غیر از خورشید ما در حال گردش هستند و به منظومه شمسی تعلق ندارند، NASA فهرستی

(<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 می شود. برای نام گذاری سیاره فراخورشیدی حرف A در نظر گرفته نمی شود و اولین سیاره کشف شده با حرف b بعد از نام ستاره مشخص می شود (برای مثال: Pegasi b51) سایر سیاره های کشف شده پس از آن به ترتیب



شکل ۲۰: اولین سیاره 2M1207b که در ۱۶ مارس ۲۰۰۳ با تلسکوپ ۸ متری VLT جرم آن ۳-۱۰ برابر جرم خورشید 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)

درصد جرم خورشید و ۰٫۱ درصد درخشندگی آن را دارد. با این ویژگی‌ها، سیاره‌ی جدید، دمایی در حدود ۴۰ درجه زیر صفر

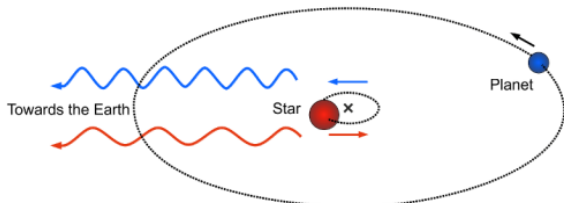


شکل ۲۲: آلفا قنطورس در نزدیکی صلیب جنوبی

یکی از راه‌های امکان وجود حیات در سیستم‌های سیاره‌ای پیرامون کوتوله قرمز این است که سیاره به اندازه‌ای 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 تراز 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 سیاره‌ای به کمک رصد ستاره مرکزی منظومه صورت می‌گیرد.



شکل ۲۳: روش سرعت شعاعی برای شناسایی سیارات.

Pegasus b 15 اولین سیاره‌ای 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، اندازه‌گیری می‌شود. ستاره و سیاره به دور مرکز جرم می‌چرخند. این حرکت، موجب جابه‌جایی 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، چنین اکثر

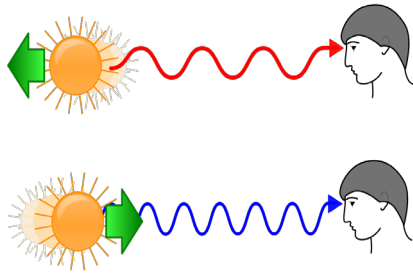
با حروف بعدی الفبا: e, d, c, ... نشان داده می‌شوند (برای نمونه: ۵۱ Pegasi e or ۵۱, Pegasi d ۵۱, Pegasi c ۵۱). ترتیب حروف ارتباط با دوره‌ی مداری سیارات یا سایر ویژگی‌های آن‌ها ندارد. علاوه بر این، در سال ۲۰۱۹ اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، برای ۱۹ سیاره فراخورشیدی کشف شده، نام‌هایی پیشنهاد کرد. برای مثال: سیستم ستاره اسپیلون آندرومدا (به جدول ۸ نگاه کنید)، ستاره اصلی (Ups And) دارای نام Titawin نیز می‌باشد و سیارات b, c و d با نام‌های Saffar, Samh 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 نزدیک‌ترین ستاره‌ها به ما در فاصله‌ی ۴٫۲ سال نوری است. این فاصله را می‌توان با فاصله‌ی سیارات خودمان در منظومه شمسی مقایسه کرد. آلفا - قنطورس نزدیک به ۱۰۰۰۰ برابر دورتر از آخرین سیاره‌ی منظومه شمسی، نپتون، از ما قرار دارد، این فواصل عظیم شناسایی سیارات پیرامون ستارگان را بسیار سخت می‌کند، تا اینکه تکنولوژی‌های رصدی در پایان قرن گذشته رو به پیشرفت رفت.

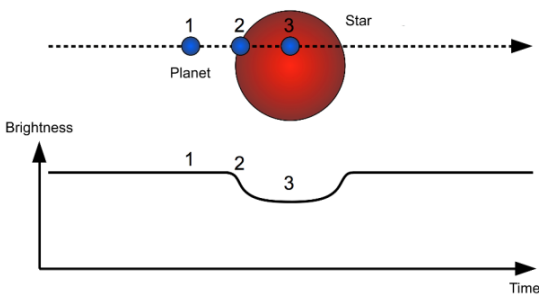
آلفا - قنطورس سومین ستاره پرنور آسمان شب است. این ستاره در واقع یک سیستم سه‌گانه است که از یک دوتایی، آلفا قنطورس A و B به همراه یک ستاره کوتوله با نام پروکسیما قنطورس تشکیل شده است. پیرامون ستاره سوم که یک کوتوله قرمز است، یک سیاره سنگی با ویژگی‌های بسیار شبیه به زمین کشف شد: پروکسیما b، نزدیک‌ترین 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 هر ۱۱ روز به دور ستاره مادر می‌چرخد، کمی بزرگ‌تر از زمین بوده و احتمالاً دارای 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



شکل ۲۵: وقتی منبع نزدیک می‌شود، آبی و وقتی دور می‌شود، قرمز به نظر می‌رسد.

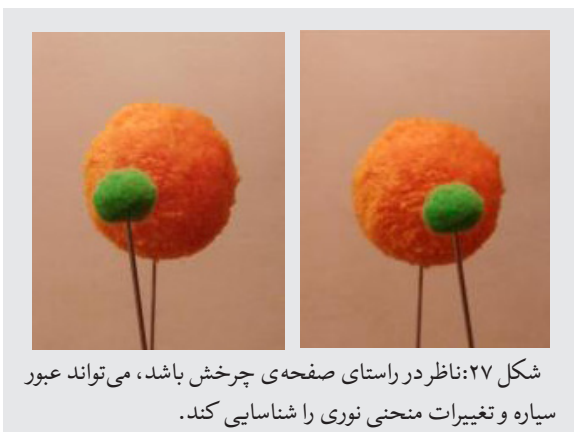
این اثر داپلر ناشی از حرکت نسبی است، و وقتی سیاره به دور ستاره‌ی مادر حرکت می‌کند رخ می‌دهد. وقتی سیاره‌ی فراخورشیدی، از ما دور می‌شود، طول موج به سمت قرمز، و وقتی به ما نزدیک می‌شود، طول موج به سمت آبی جابه‌جا می‌شود.



شکل ۲۶: روش گذر، برای شناسایی سیارات.

### فعالیت ۶: شبیه‌سازی گذر

روش گذر را به کمک دو توپ ساده می‌توان شبیه‌سازی کرد. یک توپ بزرگ به عنوان ستاره‌ی مادر و یک توپ کوچک به عنوان سیاره. اگر راستای دید رصدگر با صفحه‌ی مدار 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 ستاره، می‌تواند عبور سیاره و تغییرات منحنی نوری را شناسایی کند.

سیستم‌های سیاره‌ای 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  $R_p$  را در مقایسه با اندازه ستاره مرکزی  $R_*$  از طریق فرمول زیر بدست آورد:

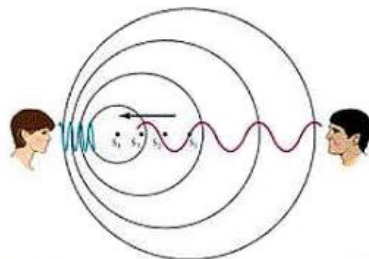
$$R_p / R_* = \sqrt{dF / F}$$

$dF / F$  تغییر نسبی روشنایی به هنگام عبور سیاره است. (برای مثال  $dF / F = 0.01$  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 و صدا 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 جابه‌جا می‌شود. هنگامی که ستاره شروع به دور شدن می‌کند، طول موج افزایش و نور به سمت قرمز انتهای طیف مرئی جابه‌جا می‌شود.



شکل ۲۴: وقتی منبع نزدیک می‌شود، طول موج کاهش و وقتی منبع شروع به دور شدن می‌کند، طول موج افزایش می‌یابد.



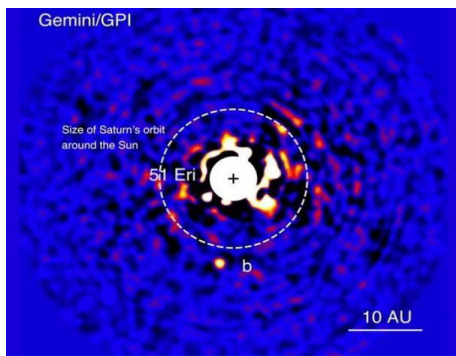
شکل ۳۰: در ابتدا با یک عدسی



شکل ۳۰: عدسی دوم را بر روی عدسی اول قرار دهید، ابتدا یک و سپس دو نقطه ظاهر می شود. در همه ی این ها، عدسی اول ثابت است.

### روش شناسایی مستقیم

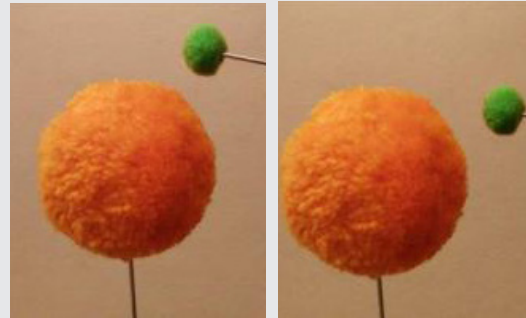
روش مستقیم، از تصاویری با کیفیت بالا، برای شناسایی سیاره پیرامون ستاره ها استفاده می کند. به علت نور زیاد منتشر شده از ستاره، این روش برای شناسایی سیاره هایی که به اندازه ی کافی از ستاره ی مرکزی دور بوده و در عین حال جوان هستند و همچنان بر اثر گرمای ناشی از شکل گیری می درخشند، موفقیت آمیز بوده است.



شکل ۳۱: روش شناسایی مستقیم، برای یافتن سیارات.

### مثال هایی از سیستم های فراخورشیدی

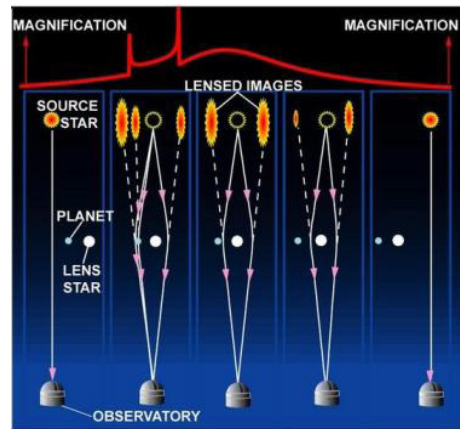
مشهورترین سیارات فراخورشیدی دارای جرمی معادل جرم سیاره ی مشتری، بزرگ ترین سیاره ی منظومه ی شمسی هستند.



شکل ۲۸: ناظر خارج از صفحه ی چرخش سیاره باشد، نمی تواند تغییرات منحنی نوری را مشاهده کند.

### روش عدسی میکروگرانشی

روش دیگر که کمتر استفاده می شود، روش عدسی میکروگرانشی است. در این روش، عدسی که موجب افزایش درخشندگی ستاره ی زمینه می شود، ناشی از تراز شدن آن با سیاره ی فراخورشیدی و ستاره ی مادر است. سیستم فراخورشیدی به صورت یک عدسی عمل کرده و موجب روشنایی بسیار شاخصی می شود (خط قرمز در شکل ۲۹). برای اجرای این روش، سه جز (ستاره ی زمینه، سیستم فراخورشیدی و زمین) می بایست 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 سیاره ی فراخورشیدی به دور ستاره ی مادر را می توان شبیه سازی کرد. در ابتدا، تنها از یک لیوان استفاده کرده و چیزی مشاهده نمی کنیم. سپس از هر دو استفاده کرده در این حالت یک یا دو نقطه نمایان می شود.



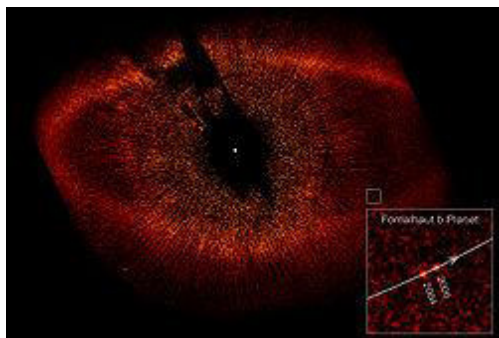
دارای اندازه ای قابل مقایسه با زمین تا  $1.5R_p$  (شعاع زمین) هستند. این نشان می‌داد که سیاراتی از این دست بیشتر متداول هستند، اما با تصحیح و پیشرفت تکنولوژی‌های شناسایی، موفقیت در شناسایی اجرامی با جرم و اندازه‌ی بزرگ تر، افزایش یافته است.

به همین علت جرم و اندازه‌ی سیارات فراخورشیدی برحسب واحد جرم مشتری ( $57/9 \times 10^6 \text{ kg}$ )  $M_j$  و شعاع مشتری (km)  $R_j$  بیان می‌شود. تعداد کمی سیاره (در حدود ۲۰) دارای جرمی قابل مقایسه با زمین هستند. با این حال سیارات زیادی (در حدود ۷۰۰، یا ۲۰ درصد سیارات شناخته شده)

	متوسط (AU)	(روز)	مشتری یا جرم زمینی		(Km)
Ups And b	۰.۰۵۹	۴.۶۱۷	۰.۶۹ $M_j$	۱۹۹۶	۱۲۴۰۰۰*
Ups And c	۰.۸۳	۲۴۱.۵	۱.۹۸ $M_j$	۱۹۹۹	۱۷۶۰۰۰*
Ups And d	۲.۵۱	۱۲۷۴.۶	۴.۱۳ $M_j$	۱۹۹۹	۲۲۱۹۹۹*
Ups And e	۵.۲۴	۳۸۳۲.۵	۱.۰۶ $M_j$	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

جدول ۳: چهار سیستم فراخورشیدی چند سیاره ای پیشنهادی. داده‌ها از فهرست ۲ سیارات فراخورشیدی استخراج شده است (به جز آخرین ستون). این سیارات به روش شعاعی شناسایی شده اند به همین علت اندازه آن‌ها دقیق نیست. برای سیاراتی با جرم ۰.۵ تا ۲۰ برابر  $M_j$ ، شعاعی در حدود ۰.۷ تا ۱.۴ مشتری شناخته شده است (۵۰ تا ۱۰۰ هزار کیلومتر) که ارتباط اندکی با جرم آن‌ها دارد. برای سیارات زمین مانند GJ ۸۶۱، شعاع آن‌ها با فرض برابر بودن چگالی آن‌ها با زمین، محاسبه می‌شود.

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 51 Pegasi بود. بعد از آن فراخورشیدی‌های بسیاری کشف شدند: کوتوله قرمز (eg Iota Draconis in 1998)، غول ستاره‌ی (Gliese 876 in 1998)، کوتوله قهوه‌ای (2M1207 in 2004)، ستاره‌ی نوع (A) (Fomalhaut in 2008)، کوتوله سفید (WD1145-1017 in 2008)، پیرامون ستاره‌های دوتایی (Kepler-16b in 2011).



شکل ۳۲: سیاره Fomalhaut b در ابر غبار بین سیاره‌ی ای Fomalhaut در تصویری از تلسکوپ فضایی هابل، با موقعیت های 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،  $1 \text{ AU} = 1 \text{ m}$  است. با این مقیاس می‌توان سیارات فراخورشیدی را به مانند پنج سیاره‌ی نخست منظومه شمسی در کلاس جا داد. برای اندازه، هر ۱۰,۰۰۰ 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 ستاره‌ی ای با شعاع ۱۰,۰۰۰ کیلومتر، قطر ۰٫۵ سانتی متر در این مدل دارد.

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 Upsilon Andromeda, Gliese 581, Kepler-62, and Trappist-1 را نشان می‌دهد. سیستم‌های سیاره‌ی ای Upsilon Andromeda و Gliese 581 به کمک روش سرعت شعاعی شناسایی شده‌اند، 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 حاشیه‌ای 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 مدارهای بسیار نزدیک تراز سیاره‌ی تیر به خورشید دارند). برخی دیگر سیارات فاصله‌ی زیادی دارند مانند منظومه 2M1207b (کل ۱) با سیاره‌ی 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.

نام سیاره	فاصله متوسط (AU)	دوره مداری (سال)	جرم (جرم مشتری)	شعاع (Km)
تیر	۰٫۳۸۷۱	۰٫۲۴۰۹	۰٫۰۰۰۲	۲۴۳۹
ناهید	۰٫۷۲۳۳	۰٫۶۱۵۲	۰٫۰۰۲۶	۶۰۵۲
زمین	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۳۲	۶۳۷۸
بهرام	۱٫۵۲۳۷	۱٫۸۸۰۹	۰٫۰۰۰۳	۳۳۹۷
مشتری	۵٫۲۰۲۶	۱۱٫۸۶۳۱	۱	۷۱۴۹۲
زحل	۹٫۵۵۴۹	۲۹٫۴۷۱۴	۰٫۲۹۹۴	۶۰۲۶۸
اورانوس	۱۹٫۲۱۸۵	۸۴٫۰۴	۰٫۰۴۵۶	۲۵۵۵۹
نپتون	۳۰٫۱۱۰۴	۱۶۴٫۸۰	۰٫۰۵۴۱	۲۵۲۶۹

جدول ۴: سیارات منظومه شمسی

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	۰٫۳۰ AU	۰٫۸ cm	۳ cm	۱۵۲۰۰
Gliese 581 c	۰٫۴۱ AU	۱٫۶ cm	۴ cm	۳۲۰۰۰
Gliese 581 d	۰٫۷۳ AU	۱٫۱ cm	۷ cm	۲۲۰۰۰

جدول ۷: ستاره‌ی مادر Gliese ۵۸۱ یک کوتوله قرمز  $M_{2,5V}$  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 و سیاره‌های 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.

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 متر در مدل مورد استفاده. محدوده‌ی حیات در قسمت سبز قرار دارد.

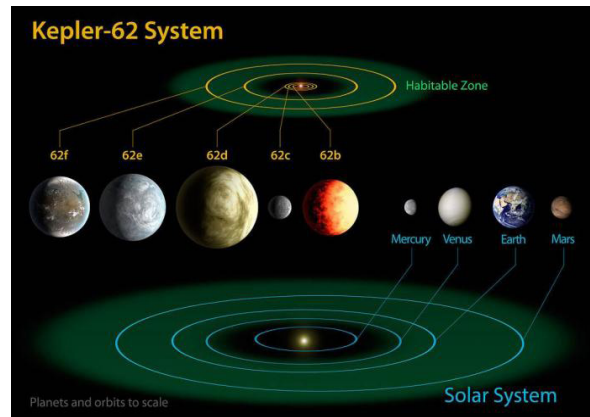
با توجه به شرایط بیان شده در مقیاس، مقادیر برای منظومه شمسی محاسبه شد (جدول ۲). برای سایر سیستم‌های ذکر شده در جدول ۱ نیز می‌توان مقادیر فاصله و شعاع را حساب کرد. برای ساده‌سازی این فرایند، جدول داده‌ها با توجه به مقیاس برای آن‌ها محاسبه شده است.

با اولین سیستم سیاره‌ای 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 کوچک تر 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

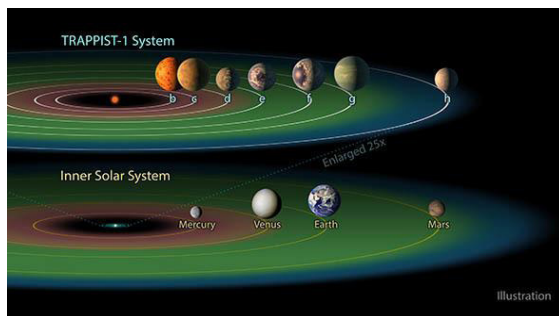
جدول ۶: سیارات گازی؛ قابلیت حیات به آن معنا که ما می‌شناسیم را ندارند، بنابراین تمایل به مطالعه‌ی سیاراتی سنگی و زمین مانند بیش تر است.

Trappist - 1	فاصله AU	قطر /km	فاصله مدل	قطر مدل
Trappist-1 b	۰٫۱۲	۱۴۲۸۴	۱٫۲ cm	۱٫۴ cm
Trappist-1 c	۰٫۱۶	۱۳۹۵۲	۱٫۶ cm	۱٫۴ cm
Trappist-1 d	۰٫۲۲	۹۹۹۰	۲٫۲ cm	۱٫۰ cm
Trappist-1 e	۰٫۳۰	۱۱۵۹۵	۳٫۰ cm	۱٫۲ cm
Trappist-1 f	۰٫۳۹	۱۳۳۲۸	۳٫۹ cm	۱٫۳ cm
Trappist-1 g	۰٫۴۷	۱۴۶۲۸	۴٫۷ cm	۱٫۵ cm
Trappist-1 h	۰٫۶۲	۹۸۵۰	۶٫۲ cm	۱٫۰ cm

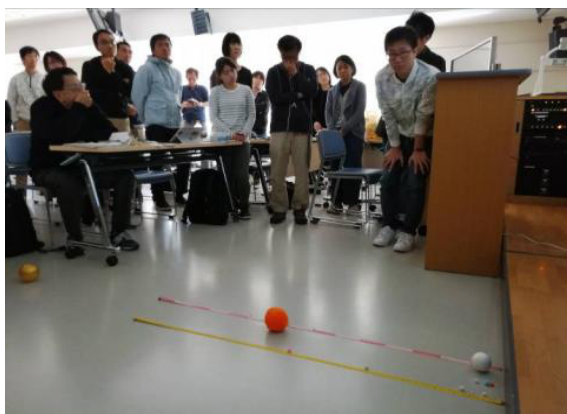


شکل ۲۷: مقایسه منظومه Kepler-62، با منظومه شمسی. رنگ سبز، کمربند حیات را نشان می‌دهد که امکان حیات در آن وجود دارد. منبع: Source NASA Ames / JPL-Caltech.

جدول ۹: ستاره‌ی مادر Trappist-1، یک کوتوله قرمز M8V که در صورت فلکی قوس در فاصله ۴۰ سال نوری است. ستاره‌ی ای هست که تقریباً بزرگ‌تر 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، ناحیه‌ی 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 باشد.

یک کوتوله‌ی قرمز با نام 2MASS J23062928-0502285، به روش گذر در سال ۲۰۱۴ توسط تلسکوپ تراپست مورد بررسی قرار گرفت و طی آن سه سیاره‌ی زمین مانند: c، b، d و Trappist-1 کشف شد. مطالعات بعدی به کمک تلسکوپ‌های هابل، کپلر، اسپیتزر و تلسکوپ‌های مستقر در شبلی، منجر به شناسایی کامل هفت سیاره شد. پنج سیاره (g و b، c، d، f) اندازه‌ی مشابه زمین دارند و دو سیاره‌ی دیگر (h و d) اندازه‌ی ای بین مریخ و زمین دارند. سه سیاره (g و e، f) 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 زمین (۳٫۴-۵٫۶ گرم بر سانتی متر مکعب). سیاره c و e کاملاً سنگی، سیاره b، d، f، g و h 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 احتمالاً یخ زده هستند. چگالی Trappist-1e اندکی بیشتر از زمین است. علاوه بر این اتمسفر Trappist-1b، مانع فرار اثر گلخانه‌ای شده و فشار آن ۱۰۱ تا ۱۰۴ بار بخار آب است. در سیارات c، d، e و f اتمسفر هیدروژن-هلیوم وجود ندارد. سیاره g نیز مشاهده شده است، اما اطلاعات چندانی در مورد آن در دسترس نیست.

هنوز سوالات بی‌پاسخ 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 آخرین 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، بناتریس گارسیا، الکس کوستا، فلوریان سیتز، آنا ویوله اسکوزه، مادلین روخاس، اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)، ITEDA و دانشگاه ملی مهندسی، آرژانتین، دبیرستان فارو، (پرتغال)، 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

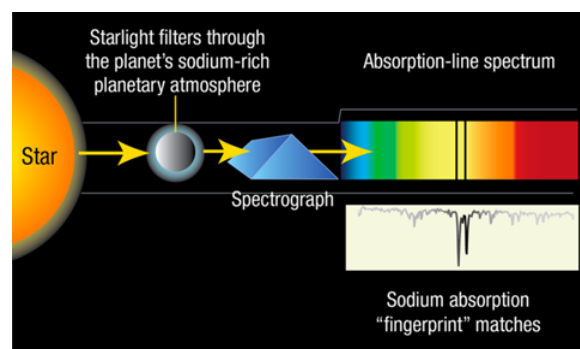
### اهداف

- 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

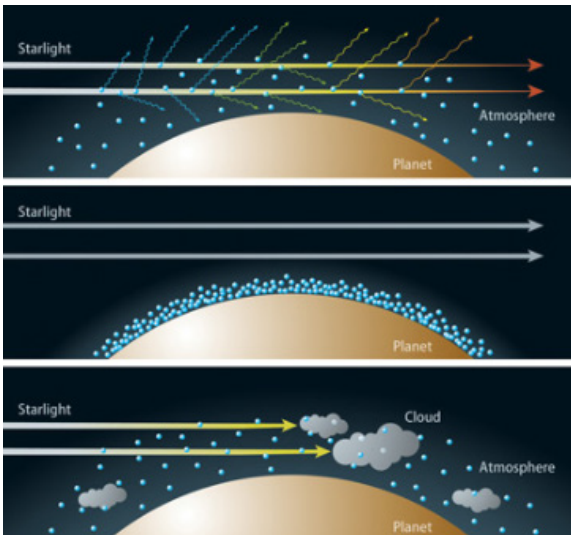
### پیدایش منظومه سیاره‌ای

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 از منظومه‌ها 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 پی برد (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱: استفاده از طیف‌سنجی برای مطالعه‌ی اتمسفر سیاره HD



شکل ۲: چطور می‌توان به وجود آب یا سایر مولکول‌های ارگانیک در اتمسفر یک سیاره پی برد؟ 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 تقسیم‌بندی، 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 شرکت‌کنندگان 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:



تصویر ۳: در ابر همه مخلوط هستند. تعداد بیشتری از شرکت کنندگان نماینده گاز هستند. در ابر همه ی شرکت کنندگان به صورت تصادفی دست یکدیگر را گرفته و یک شبکه را تشکیل می دهند.



تصویر ۴: شرکت کنندگان شروع به جدا شدن می کنند. آن ها که گاز هستند در مرکز، و آن ها که غبار هستند دست های یکدیگر را گرفته و پیرامون مرکز قرار می گیرند.



تصویر ۵: شرکت کنندگانی که غبار هستند با تشکیل گروه شروع به تشکیل سیارات زمین سان می کنند.



تصویر ۶: ذرات باقی مانده شروع به تشکیل سیارات غول پیکر می کنند: تعداد زیادی گاز و کمی گاز.

متن داستان	کارهای شرکت کنندگان
یک ابر با مقدار زیادی گاز و کمی غبار وجود داشت.	همه در ابر حضور دارند. تعداد بیشتری از شرکت کنندگان به عنوان ابر حضور دارند. همه ی شرکت کنندگان، به صورت تصادفی دست های همدیگر را گرفته و یک ابر تشکیل می دهند.
گاز در مرکز ابر و غبار در پیرامون آن جمع شد.	شروع به جدا شدن می کنند. شرکت کنندگانی که در نقش گاز هستند به سمت مرکز رفته و آن ها که غبار هستند دست یکدیگر را گرفته و حلقه ای پیرامون مرکز تشکیل می دهند.
حرکت های زیادی وجود داشت. ذرات گاز سایر گازها و ذرات غبار سایر غبارها را جذب می کردند.	آن ها شروع به چرخش، حرکت، ضربه زدن، لرزش و پریدن می کنند. برخی از آن ها بر اثر حرکت پرتاب می شوند و برخی دیگر به وسیله ی سایر اجزای همانند، در آغوش کشیده می شوند. (گاز با گاز، غبار با غبار)
در مرکز یک هسته ی چگال کدر تشکیل شده و پیرامون آن دیسکی از غبار و گاز قرار دارد.	آن ها (گاز) در مرکز جمع شده و پیرامون آن ها ذرات غبار در حالی که دست های همدیگر را گرفته به صورت حلقه قرار می گیرند. نکته: همه ی گازها در مرکز قرار ندارند، برخی از آن ها خارج از دایره گاز قرار دارند.
این هسته ها در نهایت خورشید و یا ستاره ی داغ منظومه فراخورشیدی را تشکیل می دهند.	خورشید یا ستاره ی داغ شروع به تابش می کند. بنابراین پرتوهای آن در تمام جهات پراکنده می شود. نکته: زمانی که خورشید و یا ستاره ی داغ شروع به تابش می کنند گاز سبک شروع به دور شدن می کند.
برخی سیارات کوچک از واحدهای بزرگ و یا یا دانه های بزرگ غبار، سنگ و مانند آن تشکیل می شوند.	شرکت کنندگانی که نماینده غبارند با هم جمع شده و سیارات زمین سان را می سازند. نکته: همه ی غبارها در تشکیل سیارات زمین سان مشارکت نمی کنند. برخی از آن ها در نواحی دوردست قرار می گیرند.
سیارات غول پیکر در جایی دور از خورشید یا ستاره ی داغ که مولکول های گاز بدون هیچ مانعی می توانند به هم بپیوندند، تشکیل می شوند.	شرکت کنندگان باقی مانده با هم جمع شده و سیارات غول پیکر را تشکیل می دهند: مقدار زیادی گاز و کمی غبار. نکته: علت اصلی تفاوت دما بین سیارات غول پیکر گازی و سیارات سنگی فاصله ی زیاد آن ها از خورشید یا ستاره داغ است.

جدول ۱: داستان پیدایش منظومه شمسی





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

وجود آمده‌اند (سبید آبی)

۲. عناصری که در ستارگان ایجاد شده‌اند (سبید زرد)

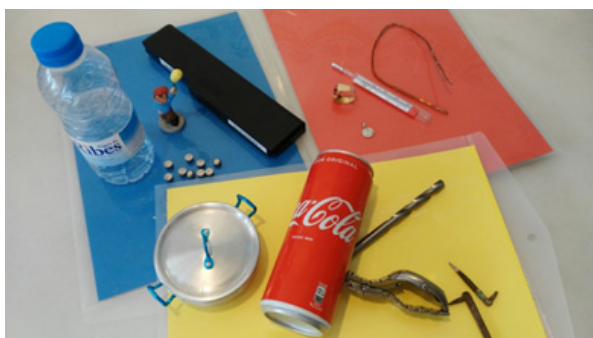
۳. عناصری که در انفجارهای ابرنواختری شکل گرفته‌اند

(سبید قرمز)

هریک از اشیای زیر را در یک سبید (آبی، زرد و قرمز) قرار دهید:

حلقه: Gold Au	مته دریل: Titanium Ti	گاز بادکنک Helium He	مداد تراش Nickel Ni
موبایل/باتری لیتیم: Lithium Li	شمع ماشین Platinum Pt	سیم برق مسی: Copper Cu	محلول یدادین: Iodine, I
بطری آب معدنی Hydrogen H	دیگ آشپزی قدیمی: Aluminium Al	مداد سیاه: Graphite C	گوگرد در کشاورزی: Sulfur, S
بطری فلزی نوشابه: Aluminium Al	ساعت مچی: Titanium Ti	مدال: Silver Ag	لوله آب قدیمی: Lead Pb
مداد تراش: Zinc Zn	ناخن زنگ زده قدیمی: Iron Fe	دماسنج: Gallium Ga	جعبه کبریت: Phosphorus P

جدول ۲: دسته‌بندی اشیای



تصویر ۸: دسته‌بندی صحیح.

## 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) عناصر متفاوت 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، لیتیم و بریلیوم به وجود آمدند.

۲) عناصر سنگین تری 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، اسکاندیم، تیتانیم، وانادیم، کرومیوم و آهن.

۳) سایر عناصر تشکیل دهنده‌ی جدول تناوبی بر اثر انفجارهای عظیم ابرنواختری ایجاد شدند. برخی از آن‌ها 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

اشیای موجود در فهرست به سه سطح در سه سبید دسته‌بندی می‌شوند:

۱. عناصری که در نخستین دقایق بعد از انفجار بزرگ به

ناحیه آبی: موبایل یا باتری پستی 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 ویژگی های زیر هستند: کمبود این عنصر موجب نقص در عملکرد می شود (در صورتی که در غلظت مناسب باشد، برگشت پذیر است).

- زمانی که ارگانسیم فاقد این عنصر باشد قادر به رشد و تکمیل چرخه ی حیات نیست
- این عنصر به صورت مستقیم بر روی ارگانسیم تاثیر گذاشته و وارد چرخه ی متابولیک آن می شود.
- اثر این عنصر قابل جایگزینی با سایر عناصر نیست
- فهرستی از عناصر زیستی موجود در بدن انسان بر اساس فراوانی در زیرارائه شده است.
- عناصر فراوان: اکسیژن، کربن، هیدروژن، نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، گوگرد، سدیم، کلر، آهن و منیزیم
- عناصر کمیاب: فلور، روی، مس، سیلیس، وانادیم، منیزیم، ید، نیکل، مولیبدن، کروم و کبالت.
- همه ی موجودات زنده به نسبت یکسانی از عناصر ضروری نیاز ندارند. در شکل ۹ عناصر ضروری مانند لیتیم، کادمیم، آرسنیک و ... پررنگ شده اند.

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

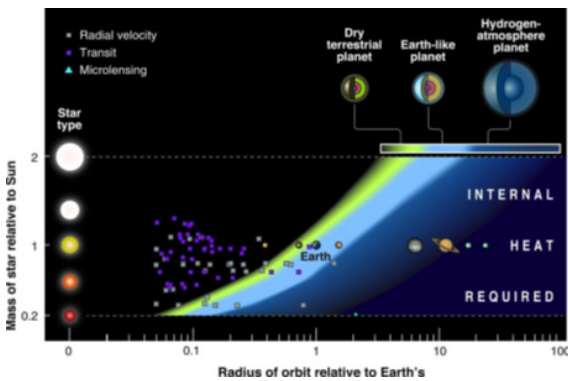
اگرچه هدف اصلی این کارگاه این نیست اما یک تمرین مناسب ساخت جدول تناوبی با استفاده از اشیایی است که روزانه از آن ها استفاده می کنیم. هر شی نماینده ی یک عنصر است. این تمرین کمک مناسبی برای درک جدول تناوبی توسط دانش آموزان است.

### خورشید یک ستاره ی نسل اول نیست

ستارگان نسل اول از هیدروژن و هلیوم انفجار بزرگ ساخته شده اند (و مقداری هلیومی که خودشان تولید کرده اند). ستارگان با عناصر سنگین تر از یک ابر اولیه باقی مانده از انفجار

با مقایسه جدول تناوبی در شکل های ۷ و ۹ می توان دریافت که تمامی عناصر اصلی (به جز هیدروژن) در ستاره ها ساخته شده اند. بدون عناصر سنگین تر که بر اثر تکامل ستاره ای ایجاد شده اند ما وجود نداشتیم. برخی از عناصر سنگین تر که به میزان کمی یافت می شوند در ستارگان و برخی دیگر در اثر انفجارهای ابرنواختری به وجود آمده اند. با این حال بخش زیادی از آن ها بر اثر واکنش های هسته ای در هسته ی ستارگان به وجود آمده اند؛ ما فرزندان ستارگان هستیم! ما از غبار ستاره ها ساخته شده ایم.

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 ۶.۱ mbar 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.



تصویر ۱۳: 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. لطفاً به این اطلاعات مهم توجه داشته باشید:

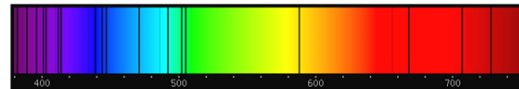
شرط لازم فاصله‌ی مداری سیاره است که جایگاه آن در ناحیه حیات را مشخص می‌کند اما برای اینکه سیاره شرایط حیات را دارا باشد کافی نیست. برای مثال: ناهید و مریخ شرط دیگر برای زیست‌پذیری، جرم سیاره است. جرم سیاره باید به اندازه‌ای زیاد باشد تا بتواند به کمک جاذبه، اتمسفر را نگه دارد. علت اصلی این که هم‌اکنون 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

ابرنواختری ایجاد شده‌اند. انفجار ابرنواختری عناصر سنگین‌تر را براساس همجوشی ایجاد می‌کند. برای مثال طیف خورشید شامل خطوط سدیم است که 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 شده است. یک نظریه‌ی قابل‌پذیرش این است که خورشید از یک ابر اولیه باقی مانده از حداقل دو انفجار ابرنواختری ایجاد شده است. در نتیجه خورشید را می‌توان یک ستاره‌ی نسل سوم در نظر گرفت.

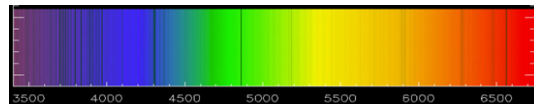
به چند نمونه از طیف که در زیر نشان داده شده است توجه کنید:

در طیف مربوط به یک ستاره نسل اول خطوطی از عناصر ابتدایی را می‌توان مشاهده کرد (شکل ۱۰).

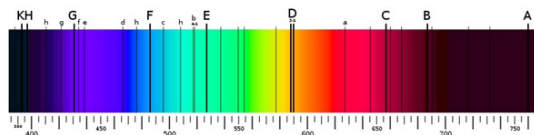
طیف خورشید با خطوط سدیم که به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۱۲)



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.



شکل ۱۱: 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 پررنگ تر است).

## ناحیه حیات

معمولاً 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

از شکل‌گیری را از دست داده است.

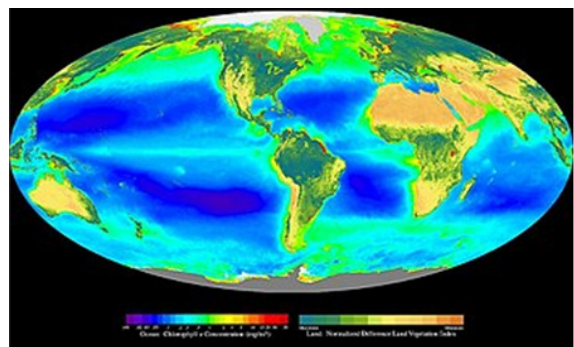
ممکن است که سیاره در محدوده‌ی ناحیه حیات نباشد، اما معیارهای لازم برای وجود برخی از انواع حیات بر روی سیاره یا برخی از قمرهای آن وجود داشته باشد. این مورد ممکن است درباره بعضی از قمرهای مشتری و زحل صدق کند.

### اخترزیست‌شناسی مقدماتی: فرایند شکل‌گیری 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 به‌سزایی بر روی اتمسفر و اقلیم زمین دارد؛ هر ساله ارگانسیم‌هایی با قابلیت فتوسنتز ۱۰ درصد از کربن دی‌اکسید اتمسفر را به کربوهیدرات تبدیل می‌کنند. بنابراین افزایش غلظت کربن دی‌اکسید اتمسفر بر اثر فعالیت‌های 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 اکسیژنی	فتوسنتز نااکسیژنی
$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + 1/2 O_2$	$H_2S \rightarrow 2H^+ + 2e^- + S$

شکل ۱۴: فتوسنتز اکسیژنی و غیراکسیژنی.



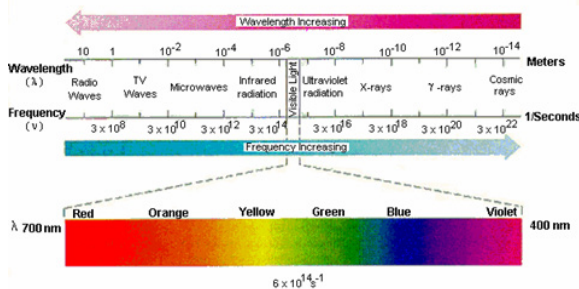
شکل ۱۵: این تصویر توزیع فتوسنتز در سیاره ما توسط فیتوپلانکتون‌ها در اقیانوس‌ها و پوشش گیاهی سطح زمین را نشان می‌دهد.

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 اتمسفر شد و غلظت آن افزایش یافت و انفجار بزرگ حیات به شکلی که امروزه می‌شناسیم امکان‌پذیر شد. اتمسفر 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 ارگانسیم‌های فتوسنتزی حدود ۱۰۰ میلیارد تن کربن را به صورت مواد آلی در می‌آورند.

اولین گام در تبدیل انرژی نور به انرژی شیمیایی 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 بر اثر نور برانگیخته شده است). 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

یا لامپ‌های هالوژنی اجتناب کنید زیرا مقدار زیادی 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 زمان سنج 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 پراثری تراکترومغناطیس 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.

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 دی‌اکسید 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 کاملاً 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. احتمالاً 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 مریا 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 مریا 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 لامپ‌های رشته‌ای

## 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 کیسه ی زیپ دار 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 جمع شدن گاز کربن دی اکسید در کیسه خواهید بود. بعد از بیست دقیقه حباب ها به دلیل آزاد شدن گاز کربن دی اکسید که یکی از فرآورده های نهایی تخمیر است، در داخل کیسه ظاهر می شوند. وجود این گاز نشان دهنده حضور میکروارگانیسم های زنده در کیسه می باشد.



تصویر ۲۱: آزمایش کنترل با حباب های کربن دی اکسید نشان دهنده وجود حیات است

فرآیند در سیاره ای قلیایی (برای نمونه نپتون یا تیتان هر دو دارای آمونیاک هستند): آزمایش را با استفاده از هر ماده قلیایی موجود (سدیم بی کربنات، آمونیاک و...) در آب تکرار کنید و صبر نمایید تا حباب ها ظاهر شوند تا مشخص شود میکروارگانیسم زنده ای وجود دارد یا خیر. اگر حباب ظاهر شد، نشان دهنده زنده بودن میکروارگانیسم ها است.

Ph در مواد قلیایی؛ سدیم بیکربنات:  $Ph=8.4$  و آمونیاک خانگی:  $Ph=11$

فرآیند در سیاره ای 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.

علاوه بر این با گذشت زمان برهمکنش میان پرتوهای فرابنفش خورشید با مولکول های اکسیژن موجب تولید اوزون می شود. این فرآیند از ما در برابر پرتوهای پرانرژی فرابنفش محافظت می کند؛ البته به UVA و UVB که در تولید ویتامین D در پوست انسان کمک می کنند، اجازه عبور می دهد.

متغیرهای جایگزین برای آزمایش: غلظت بی کربنات در محلول مورد استفاده، دما، منبع نور با رنگ و شدت متفاوت (سایر متغیرها را ثابت نگه داشته و تاریکی را در تمام نمونه ها کنترل کنید)، از پیش قرارگیری برگ ها در تاریکی یا نور و... .

## فعالیت ۵: بررسی امکان حیات در شرایط سخت

تخمیر برای تولید الکل یک فرآیند بی هوازی است که به کمک مخمرها (قارچ ها) صورت می گیرد. به همراه باکتری، تخمیر یک فرآیند پایه ای برای تامین انرژی میکروارگانیسم ها است. مخمرها قند (گلوکز) را به اتیل الکل یا اتانول و کربن دی اکسید تبدیل می کنند. اگرچه تخمیر فرآیندی 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 پایه گذاری کنید. در صورت مشاهده این گاز متوجه می شوید که تخمیر صورت گرفته و در نتیجه احتمال حیات را آزموده اید.

برای اینکه آزمایشات میکروبیولوژی به نتایج قابل اعتماد دست یابند نیازمند به زمان نیاز دارید. در این آزمایش وجود یا عدم وجود کربن دی اکسید به شما اجازه می دهد که مشخص کنید که تغییر در شرایط محیطی امکان وجود حیات را فراهم می کند یا خیر. در همه نمونه های آزمایشی از یک محصول که در آب وجود دارد شروع کنید. برای مشاهده تغییرات آزمایش نمونه ها را در ابتدای کارگاه آماده کنید. شرایط ۷ فرآیند متفاوت را پس از یک ساعت می توان مشاهده کرد.

برای این انجام این آزمایش یک قاشق مخمر که میکروارگانیسم زنده و در دسترس است (از مخمر نان که به راحتی در فروشگاه ها به فروش می رسد استفاده کنید)، یک لیوان آب ولرم (دمای ۲۲ تا ۲۷ درجه سانتی گراد) و یک قاشق شکر به عنوان غذای مصرفی میکروارگانیسم ها استفاده کنید. از روش مشابه در آزمایش کنترل و سایر آزمایش های پیشرفته در شرایط سخت استفاده خواهیم کرد.

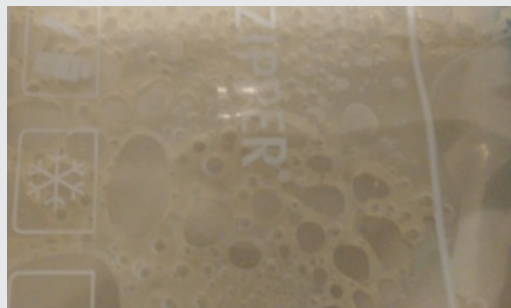
که توسط لامپ مخصوص تولید می شود قرارداد دهید. اگر از لامپ فرابنفش در نواحی انرژی بالا (UV-C) یا (UV-B) استفاده شود حباب پدیدار نمی شود؛ این بدین معناست که حیات امکان پذیر نیست. اما استفاده از لامپ های تجاری که نور سیاه نامیده می شوند دارای انرژی پایین فرابنفش (UV-A) هستند. این نور برای حیات خطرناک نیست و معمولا در کشاورزی برای تسهیل در رشد گیاهان از آن استفاده می شود. با استفاده از این نوع لامپ تعدادی حباب تشکیل می شود. اگر حباب ظاهر شد یعنی حیات وجود دارد.

فرآیند در سیاره ای گرم (مانند ناهید با اثر گلخانه ای): 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 می توان 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** سیاره ای 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 زیادی اکسید کربن در اتمسفر اثر گلخانه ای شدیدی به وجود آمده که موجب افزایش دما در نواحی پست استوایی تا حدود ۴۶۴ درجه سانتی گراد شده است. با وجود اینکه فاصله ناهید تا خورشید دو برابر سیاره تیر است و تنها ۲۵ درصد پرتوهای خورشیدی را دریافت می کند اما همین اثر گلخانه ای موجب گرم تر شدن آن نسبت به تیر شده است. ابرها به صورت عمده از ذرات گوگرد و سولفوریک اسید تشکیل شده اند و کاملا سیاره را می پوشانند. به همین دلیل جزییات سطح آن برای ناظر خارجی غیرقابل مشاهده است.

**مریخ** زیر سطح یخی دنیای بیابانی این سیاره آب شور می تواند وجود داشته باشد. این آب می تواند میزبان حیات موجوداتی باشد که توانایی تحمل شرایط سخت حیات دارند. در گذشته این سیاره مکان متفاوتی بود. ما می دانیم مریخ در گذشته متفاوت و احتمالا بسیار شبیه به زمین بوده است. این سیاره دارای اقیانوس، آتش فشان 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 سیاره ی 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.



تصاویر ۲۲ و ۲۳: محلول قلیایی و محلول نمکی با حباب هایشان.

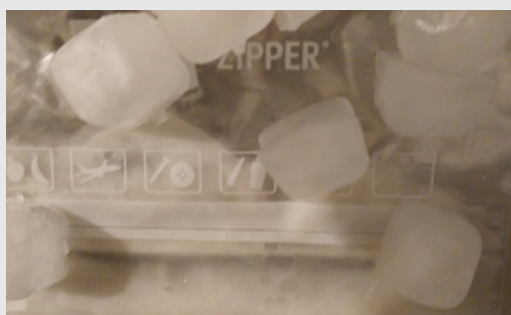
فرآیند در سیاره ای اسیدی (مانند ناهید که دارای باران سولفوریک اسیدی است): آزمایش را با حل کردن سرکه، لیمو یا هر اسید در دسترس دیگر در آب تکرار کنید.

مواد اسیدی؛ سرکه: ۲.۹، لیمو: ۲.۳

### فرآیند در سیاره ای یخی

(برای مثال اروپا یا Trappist-1):

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 می شود. در صورت در دسترس بودن یخچال یا فریز از آن ها نیز می توان استفاده کرد. اگر حبابی مشاهده نشود، حیات وجود ندارد.



تصویر ۲۴: محلول یخ زده بدون حباب

فرآیند در سیاره ای با تابش فرابنفش (مانند مریخ): آزمایش مشابه را انجام دهید اما کیسه مخمر و شکر زیر نور فرابنفشی

علاوه بر این مریخ سیاره‌ای است که تابش فرابنفش خورشید را دریافت می‌کند؛ تابش‌هایی (UV-B و UV-C) 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 تقریباً 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 تشکیل شده است 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 فضایی‌های گالیله صورت گرفت و نشان داد که این قمر دارای مغناطیس سپر (مگنتوسفر) است و ممکن است با شیوه‌ای مشابه شیوه شکل‌گیری مغناطیس سپر زمین به وجود آمده باشد؛ مغناطیس سپر زمین بدلیل حرکت مواد رسانی در داخل آن به وجود آمده است.

**تیتان** قمر زحل. باورها بر این است که این قمر دارای

اقیانوسی از آب، آمونیاک و احتمالاً 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 مهم تر هستند؟

در جدول زیر برخی از ویژگی‌های سیارات فراخورشیدی ذکر شده است. سیارات فراخورشیدی که مناسب نیستند را رد کنید، شاید زمین دوم را بیابید. می‌توانید برخی از معیارها را پس از جدول پیدا کنید.

نوع طیفی ستاره/دمای سطحی ستاره	جرم ستاره مادر نسبت به جرم خورشید	فاصله سیاره تا ستاره بر حسب واحد نجومی	شعاع سیاره نسبت به شعاع زمین	جرم سیاره نسبت به جرم زمین	نام سیاره فراخورشیدی
A6V	۱,۳۳	۱۱,۸	۱,۸,۵	۴,۱۰۰	Beta Pic b
G0V	۱,۱۰	۰,۰۵	۱,۵,۱	۴۱۹,۰	HD 209458 b
A5V	۱,۵۶	۶۸,۰	۱,۴,۲	۲۲۲۶	HR8799 b
G2V	۱,۰۴	۱,۰۵	۱,۵۹	unknown	Kepler-452 b
G	۰,۸۱	۰,۰۱	۱,۲۰	۱,۶۹	Kepler-78 b
M3.5V	۰,۲۹	۰,۰۹	unknown	۲,۱۹	Luyten b
G8.5V	۰,۷۸	۰,۰۲	unknown	۳,۱۱	Tau Cet c
F	۱,۴۳	۰,۰۶	۱,۶,۳۴	۳۸۷	TOI 163 b
M8	۰,۰۸	۰,۰۱	۱,۰۹	۰,۸۶	Trappist-1 b
K8V	۰,۰۷	۲۴	unknown	۴	TW Hya d (yet unconfirmed)
F5V	۱,۰۷	۰,۰۹	۲,۳۹	۱۲,۶	HD 10613 b
M1V	۰,۵۷	۰,۰۹	۱,۲۰	۱,۹۷	Kepler-138c
K2V	۰,۶۹	۰,۰۲	۱,۴۱	۲,۸۰	Kepler-62f
M5V	۰,۱۲	۰,۰۵	۱,۱۰	۱,۳۰	Proxima Centauri b
F5V	۱,۰۷	۰,۰۹	۲,۳۹	۱۲,۶	HD 10613 b
A	۱,۷۹	۱,۹۸	۱,۲۱	unknown	KIC 5522786 b

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 نپتون) 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، ابرزمین‌سان. شعاع سیارات زمین‌سان کم‌تر از دو برابر شعاع زمین و جرم سیارات ابرزمین‌سان 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	K دما	ناحیه حیات AU
O6V	۴۱۰۰۰	۹۰۰-۴۵۰
B5V	۱۵۴۰۰	۴۰-۲۰
A5V	۸۲۰۰	۵٫۲-۲٫۶
F5V	۶۴۰۰	۲٫۵-۱٫۳
G5V	۵۸۰۰	۱٫۴-۰٫۷
K5V	۴۴۰۰	۰٫۵-۰٫۳
M5V	۳۲۰۰	۰٫۱۵-۰٫۰۷

جدول ۴: ناحیه حیات وابسته به نوع طیف ستاره است.

گونه‌ی طیفی با یک حرف (O, B, A, F, G, K, ) می‌شوند و به زیر مجموعه‌ای از 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 حداقل ۱۰۹ سال از تکامل خود را سپری کرده باشد.

$$t_x/t_s = (M_x/M_s)/(L_x/L_s)$$

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 حدوداً نیرویی برابر با

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{*3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

دوره زندگی یک ستاره کسری از دوره حیات خورشید خواهد بود. نمونه ساده شده‌ی این فرمول به شکل زیر است:

$$t^* \sim 10^{10} \times (M_s/M)^{2.5} \text{ years}$$

حد بالای جرم ستاره را محاسبه کنید، مدت زمان رشته اصلی حداقل ۳ میلیارد سال است.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = 1.6 M_s$$

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 نکرده است.

### 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، بتاتریس گارسیا، رزا ماریا رز اتحادیه بین‌المللی ستاره‌شناسی، CLEA (نیز، فرانسه) مدرسه ری تامر (مادرید، اسپانیا)، دانشگاه ملی مهندسی (مندوزا، آرژانتین)، دانشگاه مهندسی کاتولونیا (بارسلونا، اسپانیا)

رصد شب‌های پیش از تریب 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 برنامه‌ی استلاریوم را روی گوشی خود نصب کنید یا به مجلات یا کتاب‌های نجومی رجوع کنید. در اینترنت سایت‌های بسیاری مانند [www.heavens-above.com/skychart](http://www.heavens-above.com/skychart) یا [www.skyandtelescope.com](http://www.skyandtelescope.com) وجود دارد که با تنظیم زمان، تاریخ و موقعیت جغرافیایی می‌توانید نقشه‌ی آسمان را از آن‌ها دریافت کنید.

### خلاصه

یک شب رصدی می‌تواند لذت بخش 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 حتماً از قبل برنامه‌ریزی کنید. اما فراموش نکنید که از تماشای آسمان پرستاره‌ی شب با چشمان غیرمسلح یا یک دوربین دوچشمی نیز لذت ببرید.

### اهداف

- نحوه انتخاب مکان، زمان و تاریخ مناسب، وسایل مورد نیاز و چگونگی برنامه‌ریزی برای شب رصدی
- آموزش برنامه‌ی استلاریوم
- شناسایی معضل آلودگی نوری

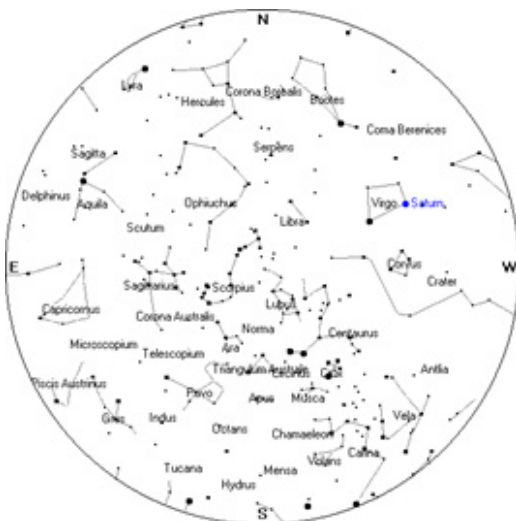
### انتخاب مکان و زمان

تاثیر نور آتمسفر بر 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 پر نور خواهد بود و تنها می‌توان ستارگان پر نور را در آسمان مشاهده کرد. در تریب آخر، هلال کاهنده ماه نیمه شب طلوع می‌کند و از ابتدای شب تا سپیده دم فرصت رصد وجود دارد. احتمالاً بهترین زمان برای



تصویر ۱: نمونه‌ای از یک نقشه آسمان شب برای عرض‌های نیمه شمالی در اواسط ماه جولای و ساعت ۲۲



تصویر ۲: نمونه‌ای از یک نقشه آسمان شب برای عرض‌های نیمه جنوبی 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 سلول‌های 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 تاریک تراست 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 پلک قرمز بیوشانید 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 شرکت‌کنندگان 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 می‌کنند؛ پس می‌توان از آن به عنوان یک برنامه‌ی جایگزین در آب و هوای ابری نیز استفاده کرد.

ستاره‌هایی که می‌توانیم بینیم 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 (برزان‌نشسته)، گیسوی برنیکه، شیر، قوس و عقرب 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، رجل الجوزا، 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

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](http://www.heavens-above.com) به دست آورد.



شکل ۴: قطر و گشودگی لنز

### رصد با دوربین دوچشمی

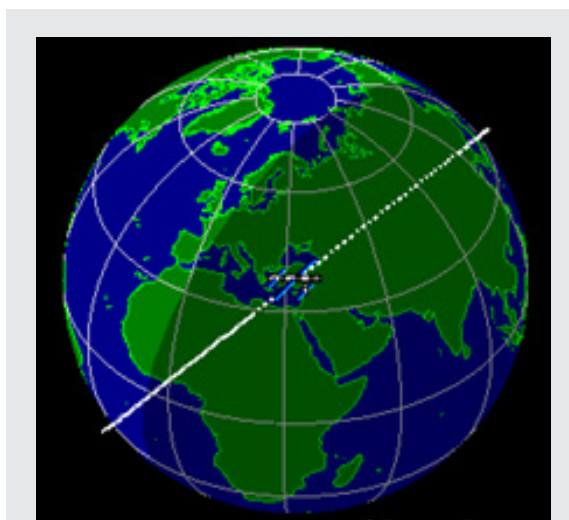
دوربین دوچشمی، یک ابزار در دسترس و مفید برای رصد است. دوربین دوچشمی با توانایی جمع‌آوری نور بیشتر نسبت به مردمک چشم و بزرگ‌نمایی نسبتا کم، این امکان را فراهم می‌کند تا دانش آموزان اجرامی مانند خوشه‌های ستاره‌ای، سحابی‌ها و ستارگان دوتایی که در نگاه اول کم‌نور و محو به نظر می‌رسند را با وضوح بهتری مشاهده 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 شیئی 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

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 عطارد در زمان غروب خورشید بیشتر می‌باشد؛ البته گاهی این دو سیاره را می‌توان در زمان طلوع خورشید رصد کرد و با تماشای آن‌ها در شب‌های پس از برنامه رصد آسمان تماشا کنید.

چند ساعت پس 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 ربیعی 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

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 دوقلودر 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 خوشه‌های 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 خوشه‌های کروی زیبایی هستند.

### رصد با تلسکوپ

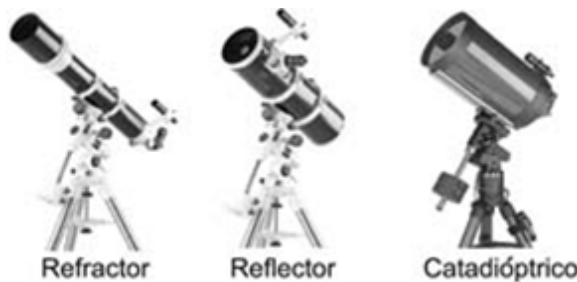
اغلب مردم می‌دانند که کار تلسکوپ بزرگ نشان دادن اجرام دور دست است اما کمتر کسی می‌داند که تلسکوپ وظیفه‌ی مهم جمع‌آوری نور را نیز بر عهده دارد. دهانه‌ی تلسکوپ نسبت به چشم ما نور بیشتری جمع‌آوری می‌کند. حتی اگر بزرگنمایی افزایش یابد این توانایی جمع‌آوری نور بیشتر است که به دیدن اجرام کم‌نور کمک می‌کند.

هر تلسکوپ شامل دو بخش اصلی عدسی شیئی و چشمی است. در تلسکوپ‌های شکستی عدسی شیئی 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 شیئی قابل‌تغییر است و استفاده از اندازه‌های مختلف آن‌ها در تغییر بزرگ‌نمایی تاثیر به‌سزایی دارد.

هر چه عدسی شیئی بزرگ‌تر باشد نور بیشتری جمع‌آوری کرده و اجرام کم‌نورتری می‌توان رصد کرد. قیمت عدسی‌های باکیفیت از آینه‌هایی با همان قطر بسیار بیشتر است به همین دلیل معمولاً تلسکوپ‌های بزرگ از نوع بازتابی هستند. رایج‌ترین 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 قرارگیری عدسی چشمی هدایت می‌شوند. آینه‌ی ثانویه مقدار کمی از نور ورودی را مسدود می‌کند که از آن صرف‌نظر 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 و به 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 تلسکوپ فاصله‌ی 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 محوشدن تصویر می‌شود.



شکل ۵: انواع تلسکوپ‌های نوری

سازندگان تلسکوپ‌ها معمولاً از نسبت کانونی برای توصیف تلسکوپ‌ها استفاده می‌کنند؛ برای مثال  $f/6$  یا  $f/8$ . نسبت کانونی، فاصله‌ی کانونی عدسی شیئی 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  $f/8$  و قطر عدسی شیئی ۶۰ میلی‌متر می‌توان فاصله‌ی کانونی را از ضرب آن دو به صورت  $480 = 60 \times 8$  به دست آورد. در یک عدسی با قطر مشابه نسبت کانونی بزرگ‌تر، بزرگ‌نمایی و میدان دید کوچک‌تری به همراه خواهد داشت.

گشودگی بیشتر دهانه تلسکوپ موجب جمع‌آوری نور بیشتر شده و اجرام کم‌نور را بهتر می‌توان دید. همچنین سطح توان تفکیک را افزایش داده که به کمک آن جزئیات 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 جزئیات 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 کم نور 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 اختلالات جوی، نیز موجب لرزش تصویر تلسکوپ می‌شود. این پدیده در بین منجمان با نام خطای سبینگ (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 مفر می‌باشد. یک مقرب‌ی کیفیت با هر بار لمس تلسکوپ می‌لرزد. در نتیجه جدا از حس سرگیجه، تصویر شروع به رقصیدن کرده و جزئیات تصویر قابل مشاهده نخواهد بود. بنابراین وجود یک مفر محکم و پایدار ضروری است.

دو نوع مفر وجود دارد: سمتی-ارتفاعی و استوایی. مقرهای سمتی-ارتفاعی بسیار ساده و با کمترین مزیت می‌باشند. این مفر 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 جابه‌جایی و کارکردن با آن بسیار آسان است. در مفر 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 مفر 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 مخصوصاً در تلسکوپ‌هایی که بزرگ‌نمایی بالا دارند تصویر به سرعت از میدان دید خارج می‌شود.

اگر مفر تلسکوپ شما از نوع استوایی است پیش از استفاده می‌بایست به کمک ستاره‌ی 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. همچنین 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؛ احتمالاً انجام این مرحله کمی برای تازه کارها دشوار خواهد بود.

### حرکت‌های آسمان

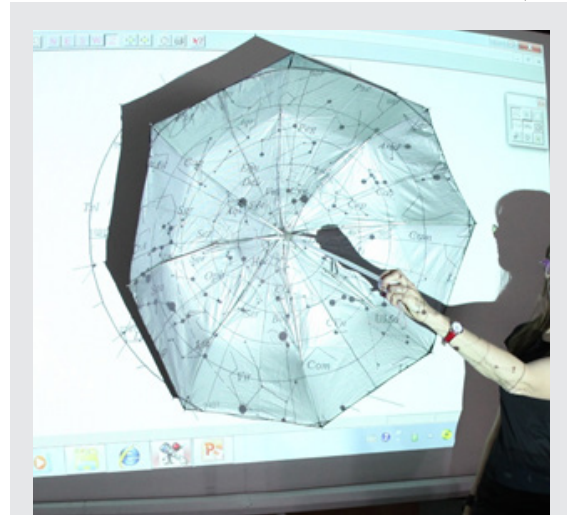
حرکت آسمان یک حرکت نسبی ناشی از حرکت انتقالی و چرخشی زمین است. این امر موجب دو حرکت اساسی آسمان می‌شود: حرکت روزانه و سالانه.

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 تقریباً 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 نظر گرفتن شاخص قابل درک با چشم غیر مسلح 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 غیر مسلح 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 صورت‌های 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 ویدئوپروژکتور

هر چتر برای شبیه‌سازی آسمان یک نیم‌کره در نظر گرفته می‌شود. محل برخورد میله‌ی اصلی و پارچه به عنوان قطب سماوی و لبه‌ی 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 دقیقاً جایی است که میله‌ی چتر از پارچه عبور کرده‌است.

بهار: دلو

تابستان: شکارچی

پاییز: شیر

زمستان: عقرب

صورت‌های فلکی بزرگ که معمولاً 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 دقیقاً 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.

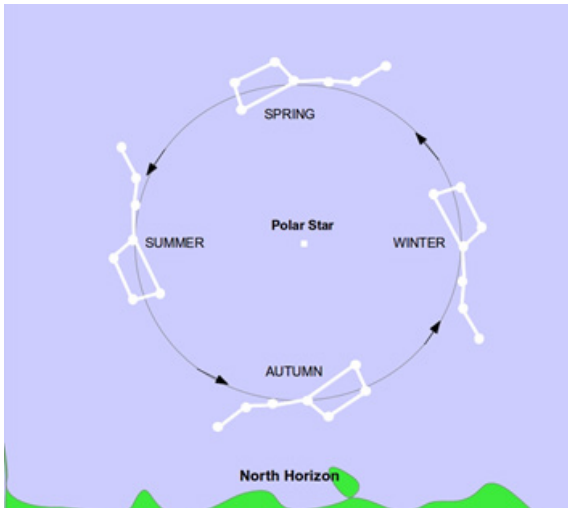


تصویر ۸: استفاده از چتر نیم‌کره شمالی برای دانش‌آموزان

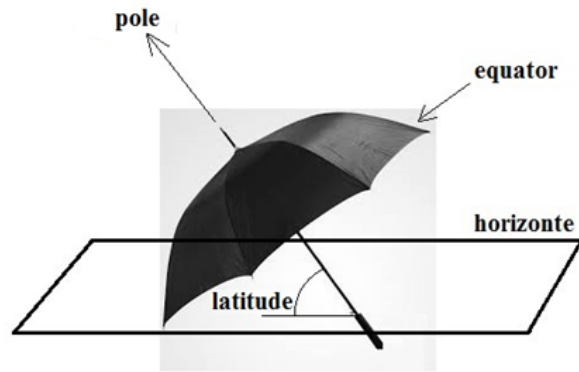
میله‌ی چتر را در راستای محور قطبی نیم‌کره قرار می‌دهیم (مشابه محور چرخش زمین)

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 تقریباً 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.





تصویر ۱۰: موقعیت نسبی صورت فلکی خرس بزرگ در اطراف قطب شمال در طول سال (در زمان یکسان)



تصویر ۹: 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 تقریباً 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 گفته می‌شود یک صورت فلکی در فصل خاصی قابل رصد است بدین معناست که این صورت فلکی در ماه‌های همان فصول 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 بدیم 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.

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 خواهد گرفت (موقعیت آن‌ها در فصل 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 قطعاً نسبت به آنچه بر روی چتر ترسیم 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

سگ هایش در افق ظاهر خواهند شد.

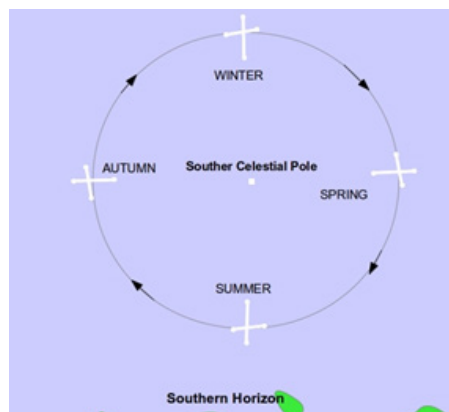
نیم‌کره‌ی جنوبی

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.



تصویر ۱۱: 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 قطعاً نسبت به صورت‌های فلکی ترسیم شده 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 نزنند.

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 هر دو 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

درون جعبه به آن نگاه می‌کند تصویری مطابق با آسمان ببیند.



تصویر ۱۲ 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 ۱۲ الف و ب» ببیند. ستارگان یا همان نقاطی که نشان‌دهنده آن‌ها هستند بر اثر ورود نور بیرونی به درون جعبه دیده می‌شوند.



تصویر ۱۳: نمای شکارچی از داخل جعبه. هر حفره نشان‌دهنده یک ستاره است

تاثیر می‌گذارد زیرا ساعت طبیعی را که بر اساس 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 از خارج 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

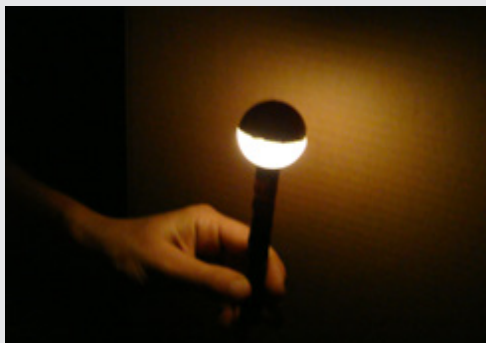
هدف این آزمایش نشان دادن تاثیر نورهای پوشیده نشده، درک تاثیر مثبت دیدگاه نجومی در این زمینه، انتخاب عایق مناسب برای کنترل آلودگی نوری و مشخص کردن امکان بهبود وضعیت رصد ستارگان در مکان‌هایی است ما نورهای فراوان آسمان آن‌ها را روشن کرده‌ایم، می‌باشد.

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 انجام این کار ابتدا مکان ستاره‌ها را مشخص کنید و سپس با توجه به میزان قدر هر کدام، حفره‌ی متناسبی ایجاد نمایید (مطابق شکل‌های ۱۲ الف و ب). تصویر صورت فلکی در قسمت بیرونی می‌بایست آینه‌ی تصویر اصلی صورت فلکی باشد تا زمانی که دانش‌آموز از

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 ۱۴ الف و ب).



تصویر ۱۶ الف: لامپ بدون سپر محافظتی



تصویر ۱۶ ب: لامپ با سپر محافظتی

این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله‌ی 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 نور 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 محدودیده می‌شوند. در این حالت دوربین عکاسی که نوردهی آن خودکار باشد نمی‌تواند به درستی بر روی ستارگان فوکوس کند. در مقابل نور پوشیده

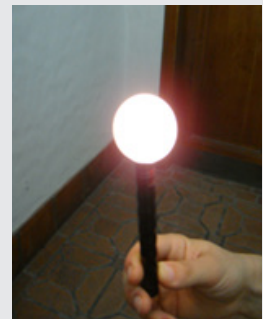


تصویر ۱۴ الف: توپ تنیس ساده / تصویر



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 ۱۵ الف و ب» آن را در محل مورد نظر در توپ قرار دهید.



تصویر ۱۵ الف: سر چراغ قوه را باز کنید / تصویر ۱۵ ب: توپ تنیس بر روی چراغ قوه قرار می‌گیرد تا شبیه لامپ‌های توی خیابان شود

**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	

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, Colección Astronomía, 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.

سمت استوایی	
نمای نزدیک جرم انتخاب شده	
حالت شب	
نمای کامل صفحه/پنجره	
حالت چشمی (شبه سازی جرم از درون چشمی تلسکوپ)	
ماهواره در حال حرکت	
جا به جایی در تصویر	←, →, ↑, ↓
بزرگ نمایی	<b>Repág</b>
خارج شدن از بزرگ نمایی	<b>Avpág</b>
انتخاب یک سیاره به عنوان مبدا و تماشای یک سیاره دیگر به عنوان مقصد. برای بازگشت به زمین دوباره همین روند را طی کنید	CTRL G
	May+T
ضبط تصویر	CTRLS
خروج	

خطوط صورت های فلکی	
نام صورت های فلکی	
شمایل صورت های فلکی	
شبکه استوایی	
شبکه سمت + افق	
زمین/افق	
نمایش جهت های جغرافیایی	
جو	
سحابی ها و نام آن ها	
نام سیارات	

## علم نجوم باستانی و پتانسیل آموزشی آن

خوان آنتونیوبل مخته آویس

موسسه اخترفیزیک جزایر قناری (اسپانیا)

### مقدمه

علم نجوم باستانی، باستان شناسی نجومی، نجوم فرهنگی، قوم شناسی نجومی، تاریخچه ی نجوم و... در سال های اخیر جهان علم با گسترش مخاطبان دانشجویی شروع به شناسایی زیرشاخه هایی کرده است که بتوان به کمک آنها میان علم نجوم و علوم انسانی سنتی یا همان علوم اجتماعی (باستان شناسی، تاریخ، قوم شناسی، مردم شناسی، تاریخ هنریا فلسفه و...) ارتباط برقرار کند.

از اواسط دهه ی ۱۹۸۰ میلادی اصطلاح علم نجوم باستانی با ضمیمه ی علم نجوم باستانی که توسط مایکل هوسکین در مجله ی تاریخ نجوم منتشر می شد (و متأسفانه دیگر منتشر نشد) رواج یافت. (علی رغم این که اصطلاح معتبر علم نجوم باستانی به ارتباط میان نجوم و باستان شناسی اشاره دارد گاهی تلاش شده از این اصطلاح برای ارتباط سایت های باستان شناسی و بازدید موجودات فرازمینی از آن ها استفاده شود. متأسفانه اشتباه در نظر گرفتن اصطلاحات علمی به جای شبه علم یک سنت دیرینه است؛ به همین دلیل است که ستاره شناسان ترجیح می دهند برای معرفی خود به جای استفاده از اصطلاح ستاره شناس، خود را نام گذاران ستارگان بنامند. درست همانطور که زیست شناسان، بوم شناسان، مردم شناسان و سایر پژوهشگران برای معرفی خود از اصطلاح درمانگران آن علم استفاده می کنند.

### علم نجوم باستانی چیست؟

در کتاب "تاریخچه ی نجوم: دانشنامه"، نوشته منجم باستان شناس و مدیر رصد خانه ی گریفیت در لس آنجلس، ادوین کروپ، تعریف زیر از این اصطلاح ارائه شده است:

علم نجوم باستانی مطالعه ی بین رشته ای 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:

تقویم ها، رصد کاربردی، فرقه ها و اسطوره های آسمانی، نمایش نمادین وقایع، مفاهیم واجرام نجومی، جهت گیری نجومی گورها، معابد، اماکن مقدس و مراکز شهری، کیهان شناسی سنتی و اعمال تشریفاتی سنت های نجومی.

مسلماً این تعریف به اندازه ای گسترده است که موضوعات متنوعی را پوشش دهد. با این حال مفهوم علم نجوم باستانی

که بدین گونه بیان شده است از دو حوزه بسیار مهم که نجوم به طور کامل با علوم اجتماعی، تاریخ نجوم و نجوم باستانی ارتباط دارد، چشم پوشی می کند. 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 می دهد. قوم شناسی نجومی با دنبال کردن نشانه های نجوم در سنت های شفاهی فرهنگ هایی که در حال حاضر وجود دارند و براساس نظرات برخی محققان و منابع مکتوب فرهنگ هایی که از بین رفته اند (تاریخچه فتوحات و پژوهشات انسان شناسی باستان) طیف وسیعی از موضوعاتی که با نجوم باستانی در ارتباط هستند را به خوبی پوشش می دهد. در واقع تعاریف مرزهای بین این سه رشته بسیار نادرست است و مطالعاتی که مربوط به این دسته بندی ها می باشد 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) می نامند».

### علم نجوم باستانی در کجا قرار دارد؟

یکی از مهم ترین تفاوت های میان علم نجوم باستانی و علوم فیزیکی سخت جایگزینی زبان "نجومی" با زبانی سازگارتر از منظر علوم اجتماعی است. باید به خاطر داشت که علم نجوم باستانی شاخه ای 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 رشته هایی مانند باستان شناسی دورنما (شامل همه ی معانی اصطلاح دورنما میشود)، تاریخچه ی ادیان و یا باستان شناسی نیرو به کار گرفته می شود. بنابراین ممکن است برای یک منجم که در درجه اول در علوم کمی آموزش دیده است پاسخ دادن به پرسش هایی که باستان شناسان به آن ها علاقه مندند یا خود منجمان مطرح می کنند دشوار باشد. با این حال برای افراد علاقه مند به نجوم مهم است که با ریشه های خود آشنا شوند و درک کنند که چگونه افراد در فرهنگ های مختلف با استفاده از رصدهای خود از آسمان چشم اندازشان نسبت به جهان پیرامون به یک جهان بینی منسجم و معنادار تبدیل شده است.

برای انجام پژوهش های اساسی در زمینه علم نجوم باستانی همکاری نزدیک بین باستان شناسان و ستاره شناسان ضروری است. این همزیستی میان رشته ای نتیجه طبیعی نیاز باستان

شناسان، قوم شناسان و مورخان نجوم به تسلط بر فنون نجومی مانند نجوم موضعی یا مکانیک سماوی و ابزارهای ریاضی مانند مثلثات کروی است که فراتر از 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 لزوماً نمی‌توان هر آنچه را که در علم نجوم باستانی مطالعه می‌شود را میان رشته‌ای 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<sup>۱۴</sup> در قدمت‌گذاری که به طور گسترده‌ای توسط دانشمندان، مورخان و باستان شناسان پذیرفته شده است. این مسئله زمانی پیچیده می‌شود که دانشمندان که علاقمند به استفاده از دانش خود در زمینه موضوعات تاریخی هستند و کسانی که از ابزارهای فیزیکی و ریاضی برای تئوری‌های غیرمعمول استفاده یا سواستفاده می‌کنند باعث ترس و وحشت هر دو گروه باستان شناسان و قوم شناسان می‌شوند. گاه در این میان تلاش دانشمندان مسئولیت‌پذیری که سعی می‌کنند به درجه‌ای از شناخت رویکردهای نجومی در باستان شناسی برسند توسط افرادی که به گفته دانشمندان بریتانیایی افراد افراط‌گرا هستند، بی‌نتیجه می‌ماند.

مرز بین آنچه علم است و آنچه نیست باید مبتنی بر استفاده از قوانین اساسی مانند تیغ اوکام، ساده‌ترین 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 دانش‌آموزان 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 آزمایش‌های 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)
- برنامه‌های شهری، به ویژه آن‌هایی که دارای یک چارچوب متعامد منظم (بسیار معمول در سراسر جهان) هستند.

- پناهگاه‌های جوامع بومی (پلی‌نزی یا آمریکا)
- عبادتگاه‌های 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 قوم‌شناسی 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 بیشتر مصاحبه‌ها 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 اخیراً به رصد آسمان پرداخته‌اید تا چیزی در آن بیابید؟  
- آیا 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 معمولاً 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 شده است؟

- 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 اخیراً 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 تأثیری بر باران دارد؟  
- آیا ماه تأثیری 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 بیبارد؟  
- آیا شانه‌ای می‌شناسید که مشخص کند ممکن است باران بیبارد؟

- 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 ماهی‌گیری) می‌شناسید؟

- اگر قرار باشد باران بیبارد، آیا می‌توانید با نگاه کردن به آسمان بگویید چه زمانی اتفاق می‌افتد؟ (\*)

- چه زمانی آن را مشاهده می‌کنید؟ (\*)  
توجه (\*): هدف از طرح دو پرسش آخرین است که متوجه شویم آن فرد بدون این که نام Caba uelas را ذکر کنیم،

اطلاعی از آن دارد یا خیر. در غیراین 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 این جا 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 پیش‌بینی

کند؟

- اسم او چیست؟

- آیا پیش‌بینی‌های 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 "جهت‌گیری 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 شده است. 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 شمال غرب آفریقا پیش از ظهور اسلام نمونه بسیار خوبی از احترام و بازتاب این سنت‌های کهن است. جزایر قناری به خوبی نمایشگر اتمام غربی فرهنگ کوبین 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-شمال غرب قرار دارند. در بخش پیوست با در نظر گرفتن چندین احتمال که اغلب حذف شده‌اند به تشریح این قانون عجیب پرداخته شده است. 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. . . .). جهت‌یابی می‌توانید از "وگل (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 تقریباً بر روی 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 داشته است.

بین قرن‌های ۳ و ۷ توصیه‌هایی 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 کلاسیکی ۱۹۹۸). این مورد طی قرون وسطی نیز مورد تایید هونوریوس آگوستدونسس (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 کلاسیکی ۲۰۱۰، ۲۰۰۴).

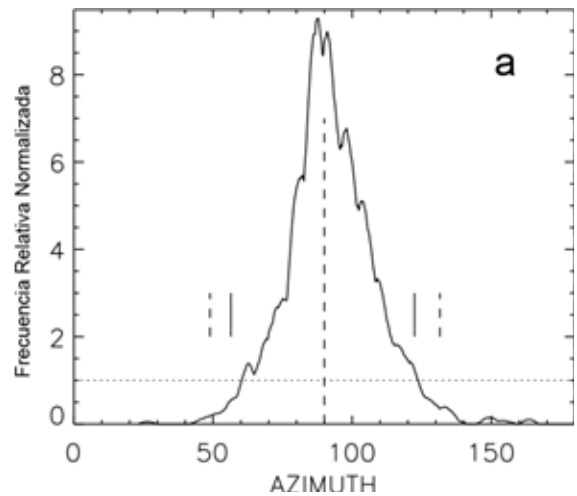
از سوی دیگر منع استفاده از زمان انقلابین می‌تواند به اهمیت این زمان‌ها در ادوار پیشین و معابد بی‌شمار بت پرستانی که در این مسیر قرار داشته‌اند، ارتباط داشته باشد (برای مثال بلمونته ۲۰۱۲ را بررسی کنید).

با وجود این نسخه‌ها همچنان ابهام پابرجاست. کدام اعتدال باید در نظر گرفته شود؟ براساس پژوهشات مک کلاسیکی (۲۰۰۴) احتمالات مختلفی وجود دارد: اعتدال بهاری رومی ۲۵م ماه مارس اتفاق افتاد. در حالی که در یونان ۲۱م ماه مارس اتفاق افتاد، این تاریخ مورد پذیرش شهروای 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. هر کدام از این تعاریف مربوط به تاریخ‌های مختلفی می‌باشند و از این رو جهت‌گیری‌هایشان اندکی تفاوت دارند (سجاده ۱۹۹۹، گنزالس - گارسیا و بلمونت 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 قدیمی‌ترین پژوهشاتی است که در زمینه باستان‌شناسی انجام شده است. گنزالس-گارسیا (۲۰۱۳) اخیراً فعالیت‌هایی در این زمینه انجام داده و همانطور که در تصویر ۱ مشخص شده است 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)

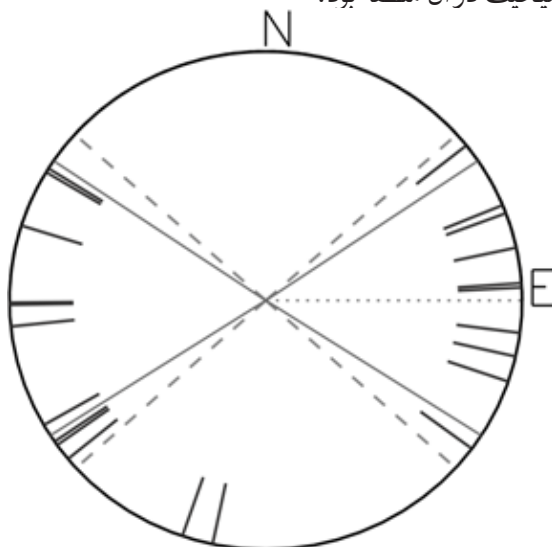
مارس) در گذر زمان می باشد؛ البته همانطور که پیش تر بیان شد مشخصات هر منطقه متفاوت است.



تصویر ۱: نمودار سمت مربوط به ۱۲۷۴ کیسای اروپایی در دوران قرون وسطی

زمینه جهت گیری معابد طی دوران پس از قرون وسطی همانند امروزه وجود ندارد. طیف گسترده ای از کلیساها و کلیساهای کوچک لانزاروته دهه ها پس فتح و استعمار این جزیره توسط نورمان ها که در خدمت حکومت کاستیل در قرن ۱۵ بودند، برپا شده اند.

نکته جالب قانون جهت گیری کلیساها در آفریقای شمالی است که از این قاعده مستثنا می باشند. کلیساهای آفریقای شمالی در جهت مخالف ساخته شده اند. اطلاعاتی که در نمودار ۲ نشان داده شده است توسط استبان (۲۰۰۱) و بلمونته (۲۰۰۷) گردآوری شده اند و از برخی تحقیقات منتشر نشده گنزالس گارسیا (۲۰۱۳) استفاده شده است؛ اطلاعات ۲۳ کلیسا مخصوصا کلیساهای مناطق پروکونسلاریس و تریپولیتانیای آفریقا را منتشر کردند. این مناطق احتمالا مبدا پیدایش جمعیت بومیان جزایر قناری می باشند (بلمونته ۲۰۱۰). جهت گیری این کلیساها که مانند جهت گیری کلیساها در دوران ابتدایی مسیحیت رو به غرب است بسیار جالب می باشد؛ این کلیساها در محدوده نور خورشید و براساس اعتدالین و انقلابین ساخته می شدند که نشان از تاثیر مسیحیت در آن منطقه بود.



تصویر ۲: نمودار جهت گیری ۲۳ کیسای دوران ابتدایی مسیحیت در شمال آفریقا

در شبه جزیره ایبری و دو مجمع الجزایر در اسپانیا گزارش هایی از رویدادهایی در مورد وجود نور و سایه در کلیساهای رومی در زمان های خاصی مانند روز اعتدال وجود دارد (مانند سانتامارتا د ترا یا در سان خوان د اورتخا در استان های زامورا و بورخوس) اما به مسئله جهت گیری کلیساها از نظر آماری چندان پرداخته نشده است که منجر به ادعای مذهبیون در خصوص انحراف

جالب است به این نکته اشاره کنیم که در متون مرتبط با جهت گیری کلیساها ذکر شده که در یادداشت های روزانه حامی شهر آمده که جهت گیری آن ها رو به طلوع خورشید بوده است (کلیساهای لانزاروته به هیچ وجه این ویژگی را نداشتند).

با این حال در متون ابتدایی و حتی تا قرون وسطی، تاییدی کتبی برای چنین ادعایی وجود نداشته است. فعالیت های انجام شده توسط گنزالس - گارسیا (۲۰۱۳) نشان می دهد که برخی روحانیون مقبره های مناطق آلمان، فرانسه و احتمالا انگلیس به این موضوع علاقه نشان داده اند. اگرچه این ساختمان ها عموماً کلیساهای رومی یا کلیسای جامع گوتیک بودند و برای انجام این کار کمی دیر بوده است. کاوال (۲۰۰۹) تحقیقاتی انجام داد و یک مورد مستند و جالب در اسلونی یافت؛ جایگاه پیتر مقدس در جهتی بود که نشان دهنده جهت گیری کلیساها رو به طلوع خورشید در آن دوران بود. مک کلاسکی (۲۰۰۴) موردی مشابه در انگلیس یافت که در کلیساهای رومی، کلیساهایی که در آن ها پیش کش های مریم مقدس انجام می شد و برخی مکان های مقدس دیگر از این استانداردها پیروی می شد تا این نشانه ها تکمیل کننده نظریه جهت گیری 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 فعالیت هایی که در خصوص برخی کلیساهای مشخص شده در انگلیس و اروپای مرکزی انجام شده است هیچ پژوهش منظمی در

احتمالی برخی کلیساها از جهت‌گیری شرعی شد ( به عنوان مثال گدوی-فرناندز را ببینید، ۲۰۰۴).

پرز-وارکالسل (۱۹۹۸) جهت‌گیری ۱۸۷ کلیسای رومی کامینو دی سانتیاگورا بررسی کرده است. اطلاعات او نه تنها اندازه گیری ارتفاع زاویه ای افق، موضوعی که در پژوهشات اروپایی بسیار رایج است، را در برنمی‌گیرد بلکه او موفق نشده است رابطه ای 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 شده است. 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 پرداخته است. ۱۳ مورد از کلیساهای آن دوران در آستاریا باقی مانده است 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 شده است. 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 کوبینتلا (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 شمال غربی 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: کلیساها 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 (Teguis) 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. (تصویر ۳)



تصویر ۳: کلیسای نتر. سنوردل لاس مرسدس در مالا

تعداد قابل توجهی از کلیساهای لانزاروته به سمت شمال و شمال شرق 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 جهت‌گیری آن‌ها تمایل زیادی به دوری از بادهای سهمگین جزیره دارد، بادهایی که دقیقا در همان جهت هستند. البته بطور دقیق این الگو به گونه‌ای است که بناها از شن و ماسه‌هایی که توسط بادهای به بناهای نزدیک جابل می‌رسند دوری کنند؛ جابل یک منطقه ماسه‌ای در شمال جزیره است.

این اولین آزمایش از پروژه ایست که ما امیدواریم در سال‌های

ical orientation of churches”, en F. Pimenta, N. Ribeiro, F. Silva, N. Campion, A. Joaquineto, 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 Culture* 20. 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 et technique de l’orientation dans le 15 culture chretien”. *Revue Sciences Religieuses* 36, 175-211, 1962.

آتی با بررسی جهت‌گیری قدیمی‌ترین کلیساهای سایر جزایر مجمع‌الجزایر قناری آن را تکمیل کنیم. احتمالاً بررسی جزیره‌ی فورتونترا که جریان بادی مشابه اما شدیدتری را دارد مورد جالبی برای مقایسه با جزیره همسایه لانزورته می‌باشد.

آیا کلیساهای فورتونترا نیز استثنااتی دارند؟ آیا سازنده‌های آن نیز جرئت شکستن رسوم شرعی برای برطرف کردن نیازهای انسانی را داشته‌اند؟ فقط با گذشت زمان می‌توان فهمید!

کتایشناسی:

• 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 reappraisal. New data in Africa Proconsularis”, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 6, 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-Islamic temples in North-West Africa”, *Archaeoastronomy* 26, S65-84, (2001).

• Gangui A.; González García A.C.; Perera Betancort M.A. y Belmonte, J.A., *La orientación como una señal 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”, *Madrid Mittelungen*, 2013

• González-García, A.C., “A voyage of christian medieval astronomy: symbolic, ritual and polit-

