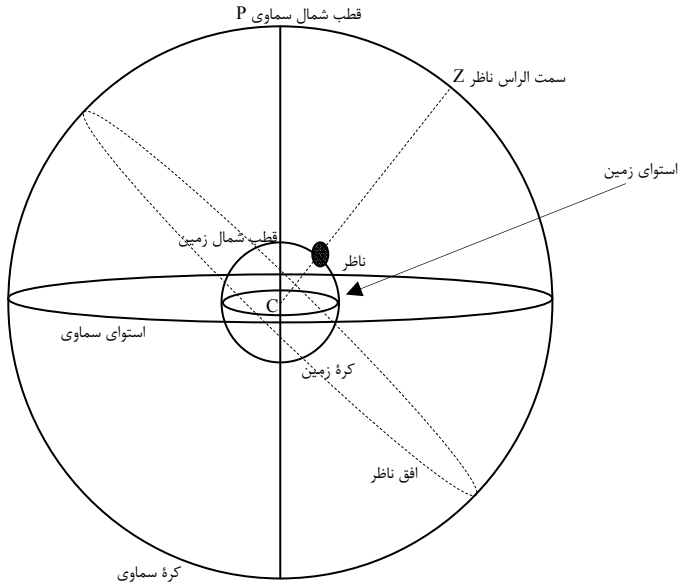
مختصات سماوی (دستگاه استوایی)

محمد اخلاقی
makhlaghi@gmail.com

*آسمان برای همهٔ ما نقش بسیار حیاتی در زندگی روزمره دارد؛ هر روز صبح خورشید با طلوع خود از سمت شرق، ما را از خواب بیدار می کند و سر کار می فرستد، هنگام ظهر به ما پیغام استراحت و نهار را می دهد و با غروب خود به ما می گوید که برگردید خانه و استراحت کنید. در واقع ما زندگی خود را بر مبنای حرکت این ستاره تنظیم می کنیم.*

متن بالا اولین پاراگراف از مقالهٔ قبل بود، در آن مقاله سعی کردیم با یک سری تعاریف، هندسه ای ساده برای یک پوستهٔ کروی ایجاد کنیم؛ هندسه ای که به ما اجازه می داد تمام نقاط روی یک کره را با مشخص کردن یک نقطه (در دستگاه افقی؛ سمت الراس)، یک دایرهٔ عظیمه روی کره که از آن نقطه می گذرد (در دستگاه افقی؛ نصف النهار ناظر) و یک دایرهٔ عظیمه عمود بر آن نقطه (در دستگاه افقی: افق) شماره گزاری کنیم. اما دستگاهی که در مقالهٔ قبل بحث شد، دستگاه افقی بود؛ دستگاهی نسبتا ساده که همیشه به ناظر "چسبیده" است! در صورتی که با آن دستگاه آشنایی کافی ندارید، پیشنهاد می شود که برای فهم بهتر ادامهٔ مقاله با آن دستگاه آشنا شوید (یا از طریق مقالهٔ قبل درمجلهٔ گیتی یا از هر منبع مورد علاقهٔ خود!) و بعد ادامهٔ این مقاله را مطالعه فرمایید.

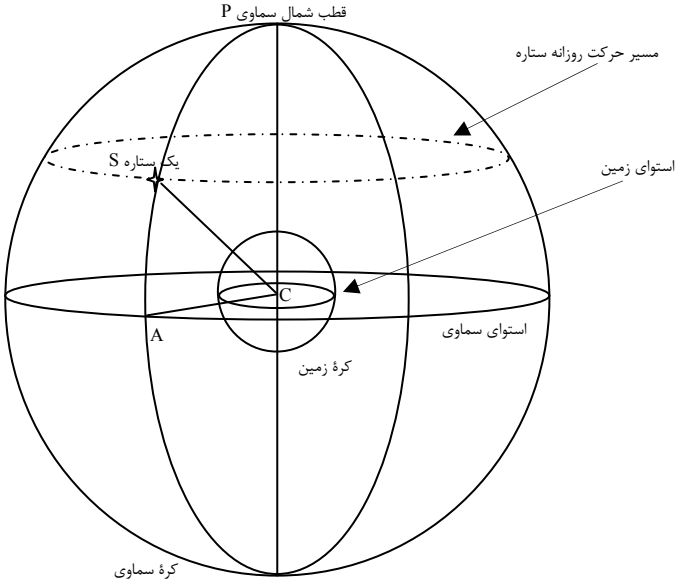


شکل ۱: مقایسهٔ دستگاه های استوایی و افقی

در مقالهٔ قبل دیدیم که تمام اجرام سماوی (به غیر از یک ستاره که تقریبا در آسمان ثابت است) به دلیل چرخش زمین به دور محور خود در آسمان دایره هایی را طی می کنند. همانطور که گفتیم دلیل ساکن بودن این ستاره در آسمان نزدیکی بسیار زیاد آن به نقطه ای است که محور چرخش زمین، کرهٔ سماوی را قطع می کند. در مقالهٔ قبل (دستگاه افقی) قطب کرهٔ سماوی را نقطهٔ سمت الراس تعریف کردیم؛ نقطه ای از کرهٔ سماوی که درست بالای سر ناظر است. اما در دستگاه استوایی قطب کره را محل برخورد محور چرخش زمین با کرهٔ سماوی می گیریم. اگر یادتان باشد در مقالهٔ قبل نیز ذکر شد که تنها تفاوت دستگاه های اندازه گیری مختلف، انتخاب همین نقطه است؛ در دستگاه افقی قطب سمت الراس (Z) است در حالی که در دستگاه استوایی قطب، قطب شمال سماوی (P) یا نقطه ای است که با چرخش روزانه تغییر نمی کند. طبق تعریف مقالهٔ قبل دایرهٔ مرجع (یا مکان هندسی نقاطی که اختلاف زاویه ای آنها با قطب دایره ۹۰ درجه است) در این دستگاه، استوای سماوی می باشد و با توجه به تعریف قطب در این دستگاه، تمام اجرام سماوی در حرکت روزانهٔ خود (فقط وابسته به چرخش زمین به دور خود) موازی این دایرهٔ عظیمه (استوای سماوی) حرکت می کنند.

در شکل ۱ می توانید زمین و کرهٔ سماوی را در دستگاه استوایی ببینید، البته قطب دستگاه افقی (سمت الراس) و دایرهٔ مرجع این دستگاه (افق) نیز برای مقایسه به صورت نقطه چین نشان داده شده اند.

همانطور که می بینید مرکز هر دو دستگاه، مرکز زمین است اما تفاوت عمدهٔ دو دستگاه در این است که نسبت به یکدیگر اختلاف زاویه دارند (در صورتی که C را مرکز زمین نامگذاری کنیم؛ زاویهٔ ZCP یا زاویه ای که استوای سماوی با افق ناظر می سازد را می توان معرف این اختلاف زاویه دانست). این اختلاف زاویه دقیقا برابر متمم عرض جغرافیایی ناظر است (به فرض در شیراز با عرض جغرافیایی حدود ۲۹ درجه فاصلهٔ ستارهٔ قطبی از سمت الراس حدود ۶۱=۲۹-۹۰ درجه است، به این معنی که ارتفاع ستارهٔ قطبی در شیراز ۲۹ درجه است). اگر بتوانید از نظر هندسی این قضیه را برای خود اثبات کنید، خیلی این تعاریف را بهتر درک خواهید کرد. البته پیدا کردن نقطه ای که استوا دقیقا بر افق منطبق است نیز با این بیان ساده، زیاد سخت نیست!



شکل ۲: طرز شماره گذاری در دستگاه استوایی

پس اجازه دهید دوباره تکرار کنیم که با توجه به تعاریف اگر فقط حرکت روزانه را در نظر بگیریم، تمام اجرام در آسمان موازی استوا حرکت می کنند (تا دقت بسیار بالا). به عنوان مثال می توانید ستاره ای فرضی روی کرهٔ سماوی را به همراه مسیر حرکت روزانهٔ آن را در شکل ۲ ببینید. تعریفی که در مقالهٔ قبل از ارتفاع کردیم را به یاد بیاورید، اگر دقت کنید، اینجا هم ما باید یک مختصه شبیه به ارتفاع اما این دفعه برای دایرهٔ مرجع استوای سماوی بسازیم، این مختصه را زاویهٔ ACS می نامیم یا طول قوس کوچکترین قسمتی از دایرهٔ عظیمه ای که از قطبین کرهٔ سماوی می گذرد و بر استوا عمود است و بین ستاره و استوای سماوی قرار دارد. از این به بعد این دایرهٔ عظیمه را نصف النهار ستاره می نامیم و مختصه ای که تعریف کردیم را میل نامگذاری می کنیم. از تعریف میل بر می آید که میل هر نقطه ای روی استوا صفر است و میل قطب شمال سماوی ۹۰ می باشد (محدودهٔ تغییرات میل همان صفر الی ۹۰ درجه شمالی و جنوبی است) و با توجه به نکته ای که اول همین پاراگراف یاد آوری شد، میل یک ستاره همیشه ثابت است (حداقل تا آنجایی که به چرخش روزانهٔ زمین بستگی دارد!).

تا این لحظه یک مختصه را در دستگاه استوایی معرفی کردیم، اما برای مختصهٔ دوم (انتخاب نقطهٔ مرجع روی استوای سماوی) نیاز به کمی مقدمه چینی است که در ادامه می خوانید.

تا اینجای داستان از زمانهای خیلی دور نیز شناخته شده بود (ماقبل تاریخ)؛ تا زمان بابلیان ایده بر این بود که تنها حرکتی که در آسمان وجود دارد همین حرکت روزانهٔ ستاره هاست و حرکت دیگری در دنیای بالای سر نیست. اما بابلیان از آنجایی که خدایان خود را در آسمان می دیدند و پایه گذار طالع بینی نجومی بودند، نسبت به تمدن های قبل دقت بیشتری به آسمان کردند و همین دقت بود که علم نجوم را به وجود آورد! (به همین خاطر است که تعدادی از مورخان اعتقاد دارند اخترشناسی از طالع بینی شروع شده است). بابلیان متوجه شدند که ۷ شیئ در آسمان با وجودی که در طول یک روز ساکن به نظر می رسند، در روز های متمادی میل های متفاوتی پیدا می کردند؛ مکانشان نسبت به ستاره های پشت زمینه در هفته های متمادی تغییر می کرد، در یک شب این حرکت قابل احساس نیست، به همین خاطر بابلیان اولین افرادی بودند که این حرکت را دیدند. این هفت شیئ همان

خورشید، ماه، عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل بودند (به اعتقاد تعداد زیادی از دانشمندان عدد هفت به همین خاطر از آن روز به بعد در تمام تمدن ها عددی مقدس به شمار رفت!).

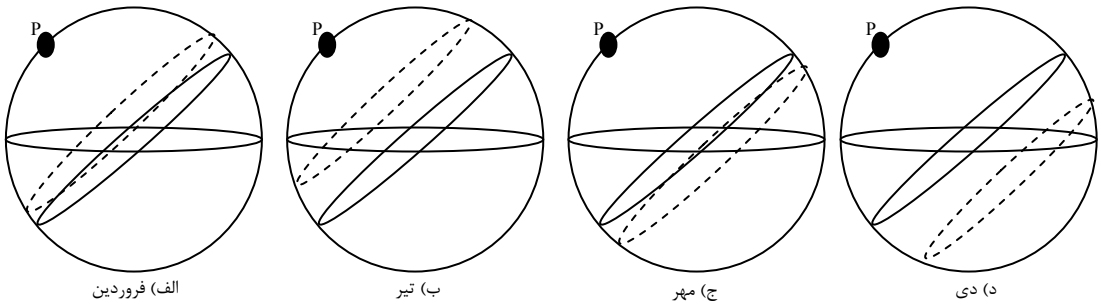
بر همین اساس، بابلیان و بعد از آنها یونانیان، رومیان، دانشمندان اسلامی، دانشمندان رنسانس و در نهایت ما به این اعتقاد رسیدیم که این هفت شیئ (که بعد از آن سه سیارهٔ دیگر و تعداد زیادی دنباله دار و ملیون ها سیارک نیز به آنها اظافه شد) نسبت به ستاره ها خیلی نزدیک تر هستند، بحث در رابطه با اینکه هر کدام از این تمدن ها چه ارتباطی بین حرکت ستاره های پشت زمینه و این اشیاء می دیدند خود داستانی جدا دارد که مقاله ای بلند تر از این را می طلبد. اما با توجه به اینکه از بین تمامی این اشیاء یکی از آنها خیلی برای ما حیاتی است، در ادامه نگاهی دقیق تر به حرکت (تغییر میل) آن می اندازیم...

**مسیر حرکت خورشید**

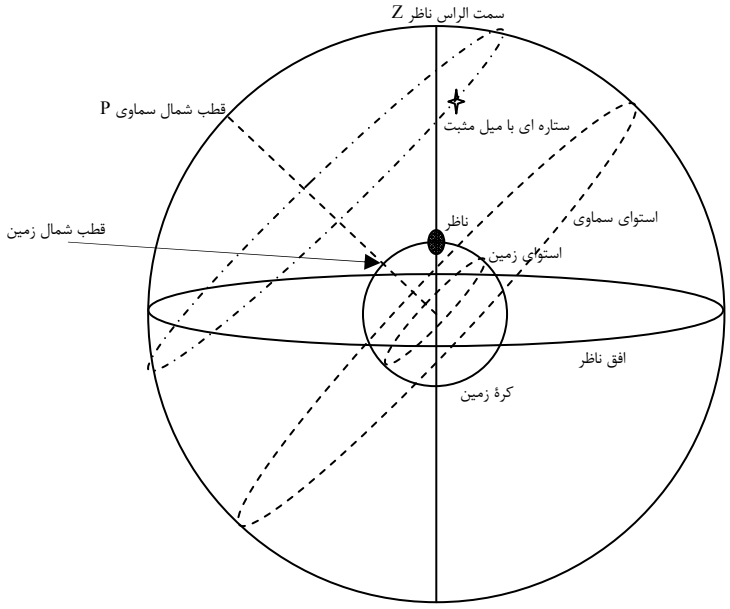
همانطور که در مقالهٔ قبل ذکر شد واضح ترین نکته در رابطه با حرکت خورشید در آسمان حرکت روزانهٔ آن در ایجاد شب و روز است. استفادهٔ عمده ای که از این حرکت خورشید در مباحث نجوم رصدی می شود در تعریف روز و بحث های مربوط به زمان در نجوم کروی، می باشد که از حوصلهٔ این مقاله خارج است. اما ذکر یک نکته در رابطه با این حرکت ساده، خالی از لطف نیست؛ اینکه این حرکت اصلا به خورشید بستگی ندارد و تماما ناشی از حرکت زمین به دور محور چرخش خود است! به زبان دیگر می توان گفت که اگر از تمام حرکت های دیگر صرف نظر می کردیم و خورشید در آسمان فقط همین یک حرکت را داشت، آن موقع خورشید با بقیهٔ ستاره ها هیچ فرقی نمی کرد! (فصل نداشتیم!)

شاید اگر فصل ها وجود نداشتند، زندگی هم روی این کرهٔ خاکی هیچ وقت ایجاد نمی شد، اما بیایید به دلیل ایجاد فصول نگاهی بیندازیم: می توان گفت مهمترین اختلاف فصول دمای هوا است که باعث اختلافاتی در جریانات جوی و عوامل دیگری می شود که هر فصل را با فصل قبل یا بعد از خود متمایز می کند. دلیل این اختلاف دما این است که در فصول بهار و تابستان شار انرژی (مقدار انرژی در واحد سطح در واحد زمان) گذرنده از واحد سطح روی نیمکرهٔ شمالی زمین خیلی بیشتر از پاییز و زمستان است (در نیمکرهٔ جنوبی زمین برعکس است؛ اگر ایرانیان مشغول شنا کردن باشند، در همان لحظه استرالیایی ها مشغول برف بازی هستند!) اگر بخواهیم این اختلاف را با زبانی ساده تر بیان کنیم، خورشید در تابستان به دلیل اینکه ارتفاع بیشتری دارد (شیب اشعهٔ نور بیشتر است، شکل۳- الف) انرژی بیشتری به زمین می دهد، در حالی که در زمستان به دلیل ارتفاع کمتر خود (شیب بیشتر اشعهٔ نور شکل ۳- ب) انرژی کمتری را منتقل می کند.

البته ما می دانیم که خورشید (و هر جسمی در آسمان) در طول یک روز ارتفاع های متفاوتی را طی می کند؛ (شکل ۳) لحظهٔ طلوع از ارتفاع صفر شروع می کند، موقع اذان ظهر به بیشترین ارتفاع خود می رسد و با غروب




شکل ۳: مسیر حرکت خورشید (دایره های نقطه چین) نسبت به افق ناظر (دایرهٔ افقی)، استوا (دایرهٔ زاویه دار و قطب کرهٔ سماوی



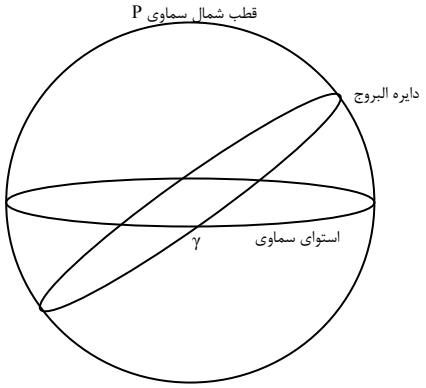
شکل ۴: مقایسه دستگاه های افقی و استوایی

دوباره ارتفاع آن صفر می شود. در پاراگراف بالا منظور از ارتفاع خورشید در فصول مختلف بیشترین ارتفاع ان است (لحظه ای که از نصف النهار ناظر می گذرد؛ موقع اذان ظهر). پس می بینیم که خورشید علاوه بر حرکت روزانهٔ خود یک حرکت دیگر نیز از خود نشان می دهد که با تکرار آن ما می توانیم علاوه بر روز، سال را هم تعریف کنیم.

در ادامه، بحث ما همیشه از نیمکرهٔ شمالی خواهد بود، مگر اینکه خلاف آن ذکر شود. اگر شکل ۱ را به اندازهٔ اختلاف زاویهٔ سمت الراس و قطب شمال سماوی دوران دهیم شکل ۴ حاصل می شود، می بینیم که ارتفاع ستارهٔ قطبی همانطور که قبلا نیز گفته شد برابر عرض جغرافیایی است. ستاره ای با میل مثبت در این شکل بیشترین ارتفاعی (زمانی که از نصف النهار ناظر می گذرد) بیشتر از استوا دارد و ستاره ای با میل منفی بیشترین ارتفاعی کمتر از استوا خواهد داشت. در شکل ۳ ستاره ای به عنوان نمونه با میل تقریبی ۴۰ درجه در دستگاه افقی دیده می شود. همانطور که به راحتی مشهود است، بیشترین ارتفاع این ستاره برابر مجموع بیشترین ارتفاع استوا (عرض جغرافیایی – ۹۰) و میل این ستاره است.

با توجه به توضیحات داده شده در رابطه با بیشترین ارتفاع خورشید در فصول مختلف و پاراگراف قبل می توانیم نتیجه گیری کنیم که میل خورشید پیوسته در حال تغییر است؛ بهار: در حال زیاد شدن، تابستان: در حال کم شدن، پاییز: در حال کم شدن و زمستان در حال زیاد شدن. با اندازه گیری های انجام شده دیده شده است که میل خورشید روز اول تابستان (اول تیر) به بیشترین مقدار خود یعنی ۲۳/۲۷ درجه می رسد و در روز اول زمستان (اول دی) کمترین میل خود یعنی ۲۳/۲۷- را دارد.

اگر به شکل ۴ نگاهی بیندازید، مسیر حرکت خورشید در طول یک سال در دستگاه استوایی مشهود است. از قدیم مسیر حرکت خورشید را دایره البروج نامیده اند و چون تا به حال پیرو آنها بوده ایم، در این مورد هم ما از همین نام (هرچند عربی است!) استفاده خواهیم کرد.



شکل ۵: دایرهٔ البروج نسبت به استوا

از بحث های حدود دو صفحهٔ گذشته تا پاراگراف قبل می خواستیم به این سوال جواب دهیم: روی استوا چه نقطه ای را می توانیم به عنوان نقطهٔ مرجع در نظر بگیریم؟ با توجه به توضیحات می توان گفت: با ترسیم دایرهٔ عظیمهٔ دایرهٔ البروج می بینیم که این دایرهٔ عظیمه با دایرهٔ عظیمهٔ استوای سماوی در دو نقطه برخورد خواهد کرد (به طور کلی هر دو دایرهٔ عظیمه روی یک کره در دو نقطه با هم برخورد می کنند). اگر ما شرق را دست راست وغرب را دست چپ در نظر بگیریم و با توجه به اینکه خورشید در حرکت سالانهٔ خود (برخلاق حرکت روزانهٔ خود) از غرب به سمت شرق می رود می توانیم بین این دو نقطه تفاوت پیدا کنیم؛ در یکی از آنها میل خورشید از مثبت به منفی تغییر می کند و در دیگری میل

خورشید از منفی به مثبت عوض می شود. پس در نهایت به جواب نهایی رسیدیم: نقطه ای را به عنوان نقطهٔ مرجع انتخاب می کنیم که در آن میل خورشید از منفی به مثبت تغییر می کند. نام این نقطه را نقطهٔ اعتدال بهاری می گذاریم و با علامت $\gamma$ روی کرهٔ سماوی نشان می دهیم. خورشید در لحظهٔ سال تحویل از این نقطه می گذرد، ۹۳ روز طول می کشد تا به بیشترین میل خود؛ ۲۳/۲۷ درجه برسد (روز اول تیر، نقطهٔ انقلاب تابستانی) ، ۹۳ روز دیگر در راه است تا دوباره به میل صفر درجه برسد (روز اول مهر، نقطهٔ اعتدال پاییزی)، ۹۰ روز (یا ۸۹ روز) دیگر طول می کشد تا به میل ۲۳/۲۷- (روز اول دی، نقطهٔ انقلاب زمستانی) نقل مکان کند و با شروع سال جدید دوباره از نقطهٔ اعتدال بهاری می گذرد. برای دانشجویان فیزیک: به عنوان تمرین آیا می توانید دلیل اختلاف در این بازه های زمانی را پیدا کنید؟ (قانون دوم کپلر می تواند کمک خوبی باشد!)

دستگاه مختصات استوایی

با پیدا کردن نقطه ای خاص روی استوا، ما می توانیم مختصهٔ دوم دستگاه استوایی را پیدا کنیم؛ نقطهٔ اعتدال بهاری را به عنوان مقدار صفر این پارامتر جدید و جهت افزایش آن را به سمت شرق تعریف می کنیم، دلیل انتخاب شرق این است که در طول سال بعد خورشید در حال افزایش باشد (خورشید هم حرکت سالانهٔ خود را به سمت شرق حرکت طی می کند). از دوران اسلامی (کمی کمتر از ۱۰۰۰ سال پیش) ایرانیان و اعراب نام این مختصه (درجه بندی استوا) را بُعد انتخاب کردند.

بعد از تمام این توضیحات می توانیم دستگاه استوایی را معرفی کنیم؛ این دستگاه دو مختصه دارد: بُعد و میل. همانطور که گفتیم، میل اختلاف زاویهٔ ستاره (قسمتی از دایرهٔ عظیمه ای که از ستاره و ستارهٔ قطبی می گذرد) نسبت به استواست که بر اساس درجهٔ شمالی یا جنوبی بیان می شود و بُعد اختلاف زاویهٔ شرقی نقطهٔ اعتدال بهاری و محل برخورد نصف النهار ستاره با استوا روی استوا است. اما یک مشکل کوچک: مقیاس بعد درجه نیست! ما می دانیم که خورشید در ۲۴ ساعت یک دور نسبت به سمت الراس ما می زند (این تعریف یک روز متوسط خورشیدی است) و چون این مسیر موازی استواست پس با توجه به کاربرد هایی که از این پارامتر می شود، ما مقیاس فاصلهٔ زاویه ای روی استوا را بر اساس یک یکای جدید به نام ساعت تعریف می کنیم طوری که ۳۶۰ درجه (یک دایره) برابر با ۲۴ ساعت باشد، به زبان دیگر هر ساعت ۱۵ درجه است.

مزیتی که این دو مختصه در دستگاه استوایی، نسبت به سمت و ارتفاع در دستگاه افقی دارند این است که این دستگاه (طبق استاندارد جهانی حداقل تا دقت حدود ۵۰ سال) به ستاره ها چسبیده است و در هر لحظه در حال چرخش با بقیهٔ ستاره ها (موازی استوا) نسبت به یک ناظر حول محور زمین می باشد. البته با توجه به تعاریف بعد و میل یک منطقه از آسمان همیشه میل ثابتی دارد اما بعد آن هر لحظه در حال تغییر است.

البته دقت یک درجه و یک ساعت به هیچ وجه برای انجام کار های نجومی کافی نیست، به همین دلیل جزء هایی برای هر کدام از این مختصه ها در نظر می گیرند:

۱. هر یک درجه قوس از میل معادل ۶۰ دقیقه قوس (که با ' نمایش داده می شود) و هر دقیقه قوس برابر ۶۰ ثانیه قوس (که با " نمایش داده می شود) است؛ طوری که هر یک درجه ۳۶۰۰ ثانیه قوس است.
۲. هر یک ساعت از بعد معادل ۶۰ دقیقه (که با min نمایش داده می شود) و هر دقیقه برابر ۶۰ ثانیه (که با sec نمایش داده می شود) است؛ طوری که هر یک ساعت ۱۵ درجه یا به زبانی ۹۰۰ دقیقهٔ قوس است و هر دقیقه برابر ۴' می باشد.

به عنوان مثال بعد و میل تعدادی از ستاره های روشن در آسمان را معرفی می کنیم:

ستارهٔ شعرای یمانی؛ بعد: ۶h ۴۵,۴۲۱ m  میل: -۱۶° ۴۳,۳۴۲'
ستارهٔ ابط الجوزا؛ بعد: ۵h ۵۵,۵۰۸ m  میل: ۷° ۲۴,۶۳۰'
ستارهٔ سماک رامح؛ بعد: ۱۴h ۱۵,۹۴۸ m  میل: ۱۹° ۸,۹۲۵'

ستارهٔ نسر واقع: بعد:m ۳۷,۱۴۸ h۱۸ میل: ’۴۷,۲۲۵ °۳۸
ستارهٔ دبه: بعد:m ۴,۱۲۶ h۱۱ میل: ’۴۳,۰۸۵ °۶۱
ستارهٔ قطبی: بعد:m ۳۸,۳۶۴ h۲ میل: ’۱۷,۵۶۴ °۸۹
ستارهٔ قلب العقرب: بعد:m ۲۹,۷۸۷ h۱۶ میل: ’۲۶,۷۸۰ °-۲۶

به عنوان آخرین مطلب این مقاله، بعد و میل تعدادی از ستاره های آسمان داده می شود، کرهٔ سماوی را رسم کنید و با کمک داده ها ستاره ها را روی آن معین کنید، باید بتوانید حدس بزنید کدام صورت فلکی است....

ستاره ۱: بعد:m ۵۶,۵۳۶ h۱۹ میل: ’۵,۸۷۲ °۳۵
ستارهٔ ۲: بعد:m ۳۰,۹۷۰ h۱۹ میل: ’۵۸,۲۳۴ °۲۷
ستارهٔ ۳: بعد:m ۴۶,۴۵۸ h۲۰ میل: ’۵۹,۵۰۷ °۳۳
ستارهٔ ۴: بعد:m ۴۵,۹۶۴ h۱۹ میل: ’۸,۶۲۹ °۴۵
ستارهٔ ۵: بعد:m ۴۹,۶۳۷ h۲۰ میل: ’۱۸,۰۴۳ °۴۵
ستارهٔ ۶: بعد:m ۲۲,۴۴۶ h۲۰ میل: ’۱۶,۴۸۷ °۴۰

امیدوارم توانسته باشم در این دو مقاله یک معرفی ساده از این دو دستگاه پر کاربرد نجوم کروی کرده باشم. البته باید گفته شود که همانند هر مطلب دیگری برای یادگیری کامل این دستگاه نیاز شدید به تمرین و مطالعه (از منابع مختلف) است، خوشبختانه آسمان آزمایشگاهی است که همیشه در اختیار شما است (به غیر از شب های ابری) و شما همیشه می توانید با طی فاصله ای بسیار کم (تا حیاط خود) به این آزمایشگاه جهت یادگیری و امتحان دانسته های خود رجوع کنید. اما بیایید از یک زاویهٔ دیگر هم کل این داستان را مرور کنیم؛ در یک جای ساکت و تنها به دور از نور زیادی شهر و دوستان شلوغ، زیر این گنبد گردان دراز بکشید و از اینکه با این دوست همیشگی، وفادار و آموزندهٔ بشریت خلوت کرده اید (بدون حائل اعداد، ارقام و تمام چیز هایی که تا به حال بین شما و آن فاصله انداخته است؛ علم تجربی) به حرف هایش گوش فرا دهید... .

این فایل از آدرس زیر دریافت شده است:
http://astr.tohoku.ac.jp/~akhlaghi/