خورشید گرفتگی

حمیدرضا گیاهی یزدی

خورشیدگرفتگی

کتاب خورشیدگرفتگی با زبانی ساده درباره پدیده نجومی‌خورشیدگرفتگی بحث می‌کند. چگونگی‌روی‌دادن خورشیدگرفتگی‌ها، رصد آنها و گزارش‌نویسی از رصد مزبور، عکاسی خورشیدگرفتگی و... از مباحث اصلی کتاب هستند که در نتیجه، آن‌را به راهنمای‌بسیار خوبی برای مشاهده‌کنندگان خورشیدگرفتگی تبدیل نموده‌است. درباره رصد خورشیدگرفتگی حدود ۴۰ پروژه تعریف شده اند که انجام دادن بیشتر آنها با چشم غیر مسلح امکانپذیر است. در ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ آخرین خورشیدگرفتگی قرن بیستم رخ خواهد داد. این خورشیدگرفتگی به صورت کلی‌در ایران نیز قابل مشاهده خواهد بود. فصل پایانی‌کتاب به ویژگی‌های این خورشیدگرفتگی در ایران و جهان اختصاص دارد. نقشه‌ها، جدول‌ها و اطلاعات دقیق این فصل کمک میکنند تا علاقه‌مندان با بهترین مکان‌های رصد خورشیدگرفتگی کلی در ایران آشنا شوند.

شرح تصاویر روی‌جلد

تصویر درونی: تاج خورشیدی پیرامون قرص تیره خورشید هنگام گرفتگی‌کلی

بیرونی: تصویری زبانه ها در لبه قرص تیره خورشید هنگام گرفتگی‌کلی، هرکدام‌ازتصویرها جداگانه با تلسکوپ عکس برداری شده، درکنار هم مونتاژ شده‌اند.

خورشیدگرفتگی

حمیدرضا گیاهی یزدی

نشر کنگره
بهار ۱۳۷۸

نشر کنگره

شابک ۸ – ۰ – ۹۰۵۸۵ – ۹۶۴

خورشیدگرفتگی

حمیدرضا گیاهی یزدی

چاپ: اول

بهار ۱۳۷۸

حروف‌چینی: واژه‌آرا

چاپ:سکه

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

تلفن: ۸۸۶۶۶۵۳

فهرست

فصل ۱ چرا خورشیدگرفتگی رخ می‌دهد؟ ۹

فصل ۲ ارزش علمی خورشیدگرفتگی کلی ۲۵

فصل ۳ رصد خورشیدگرفتگی ۳۱

۳ـ۱ خورشیدگرفتگی جزئی ۳۱

۳ـ۲ خورشیدگرفتگی کلی ۴۹

۳ـ۳ برخی پدیده‌های جنبی خورشیدگرفتگی ۸۳

۳ـ۴ جدول ترتیب پدیده‌های رصدی خورشیدگرفتگی کلی ... ۸۳

۳ـ۵ خورشیدگرفتگی حلقوی ۸۶

فصل ۴ گزارش‌نویسی از رصد خورشیدگرفتگی ۹۱

فصل ۵ چگونه از خورشیدگرفتگی عکس بگیریم؟ ۹۹

فصل ۶ ویژگی‌های خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ ..... ۱۰۹

۶ـ۱ مسیر جهانی خورشیدگرفتگی ۱۰۹

۶ـ۲ مسیر خورشیدگرفتگی کلی در خاورمیانه ۱۱۳

۶ـ۳ مختصات و نقشه‌های دقیق مسیر تمام سایه در ایران ... ۱۱۵

۶ـ۴ انتخاب محل مشاهده ۱۲۴

۶ـ۵ منظرهٔ آسمان هنگام خورشیدگرفتگی کلی در ایران ۱۲۷

پاسخ پرسش‌های مطرح شده در متن کتاب ۱۳۱

مسیر خورشیدگرفتگی‌های کلی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۳۰ ..... ۱۳۳

پیوست ۱ـ زاویه سنجی و پیمایش در آسمان ۱۳۵

پیوست ۲ـ قدر ظاهری ۱۳۶

فهرست منابع ۱۳۹

واژه‌نامه ۱۴۱

پیش‌گفتار

خورشیدگرفتگی یا کسوف از زیباترین و باشکوه‌ترین پدیده‌های طبیعت است. در طول تاریخ این پدیده همواره مورد توجه اقوام و ملل مختلف بوده است. اغلب تمدن‌های کهن خورشیدگرفتگی را پدیده‌ای شوم می‌پنداشتند و دربارهٔ آن اعتقاداتی خرافاتی داشتند.

امروزه خرافات به کنار رفته‌اند. می‌دانیم که هنگام خورشیدگرفتگی، ماه میان زمین و خورشید قرار می‌گیرد و برای مدتی قرص ماه مانع رسیدن نور خورشید می‌شود و سایهٔ ماه بر زمین می‌افتد. هنگام خورشیدگرفتگی کلی، آسمان تاریک می‌شود و پیرامون قرص تیرهٔ خورشید، تاج خورشیدی همچون هاله‌ای سفید رنگ به نظر می‌آید. البته تاریک شدن آسمان هنگام روز، همیشه عجیب و شگفت‌انگیز به نظر می‌رسد و انسان سیطرهٔ عظمت و شکوه این پدیده را بر خود حس می‌کند. سرانجام ماه از مقابل خورشید کنار می‌رود و دوباره همه چیز به حالت عادی بازمی‌گردد.

بسیاری از افراد سفرهایی طولانی انجام می‌دهند تا از نزدیک خورشیدگرفتگی کلی را مشاهده کنند. در این میان، شمار اندکی از

رصدکنندگان، خورشیدگرفتگی را به صورت علمی و دقیق رصد می‌کنند. خوشبختانه در ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ خورشیدگرفتگی کلی رخ می‌دهد که مسیر گرفتگی کلی از ایران نیز می‌گذرد. چه خوب است که شما هم با مطالعهٔ بخشهای مختلف این کتاب به جمع رصدکنندگان دقیق خورشیدگرفتگی بپیوندید. از حالا باید برای رصد این پدیده باشکوه آماده شوید.

لازم به تذکر است که در این کتاب سعی شده مطالب گوناگونی در زمینهٔ خورشیدگرفتگی آورده شود، امّا بی‌تردید این کتاب نیز مانند هر کتاب دیگری کامل و بی‌نقص نیست. از خوانندگان محترم تقاضا دارم، پیشنهادهای ارزشمند خود را دربارهٔ مطالب کتاب، به نشانی مؤلف: تهران، صندوق پستی ۱۷۱۸۵/۳۶۹ ارسال فرمایند.

در پایان از آقایان حجةالاسلام مهندس حسن طارمی راد، حجةالاسلام علیرضا موحدنژاد، مهندس محمد باقری، بابک امین تفرشی، فرید قاسملو، علیرضا عقابی، شهاب صقری و خانم‌ها سمیرا گیاهی یزدی و فروه محمودی که مرا در تهیهٔ این کتاب یاری دادند، تشکر می‌کنم.

حمید رضا گیاهی یزدی

فصل ۱

چرا خورشید گرفتگی رخ می‌دهد؟

در طول تاریخ گرفتگی‌های خورشید و ماه اغلب موجب ترس و وحشت مردم می‌شدند. چینی‌ها عقیده داشتند که هنگام خورشید گرفتگی، اژدهایی خورشید را می‌بلعد. در بسیاری از فرهنگ‌ها خورشید گرفتگی بلایی آسمانی پنداشته می‌شد. مردم هند در خلال گرفتگی، تاگردن در آب فرو می‌رفتند و اعتقاد داشتند که با این کار به خورشید و ماه کمک می‌کنند تا در برابر اژدها از خود دفاع کنند.

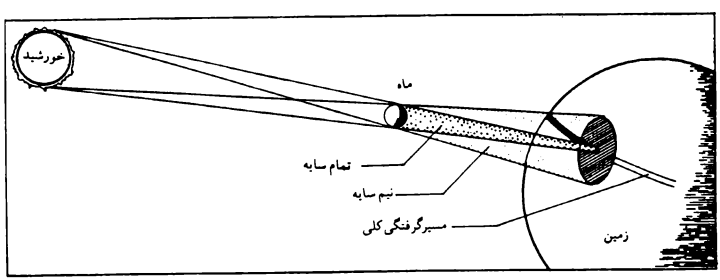
امروزه ما دانسته‌های زیادی دربارهٔ ماهیت گرفتگی‌های خورشیدی داریم و پیشاپیش از روی دادن آن‌ها آگاه می‌شویم با وجود این هنگامی که این پدیدهٔ زیبا را از نزدیک مشاهده می‌کنیم، تیره شدن خورشید در روز بر ایمان عجیب و تا حدودی ترسناک به نظر می‌رسد.

چرا خورشیدگرفتگی روی می‌دهد؟ آیا رویداد خورشید گرفتگی از نظم خاصی پیروی می‌کند؟ این‌ها و بسیاری پرسش‌های دیگر به ذهن می‌رسد. در این بخش سعی می‌کنیم به برخی از این پرسش‌ها پاسخ دهیم.

یکی از اتفاقات چشمگیر در طبیعت اطراف ما این است که ماه و

خورشید از زمین به یک اندازه دیده می‌شوند. ماه، که جرمی کوچک و سرد و تیره است، قطری در حدود ۳۵۰۰ کیلومتر دارد. اما قطر خورشید، که ستاره‌ای درخشان است، به ۱/۴۰۰/۰۰۰ کیلومتر می‌رسد. هم اندازه دیده شدن ماه و خورشید ناشی از این واقعیت است، که گرچه خورشید ۴۰۰ بار بزرگتر از ماه است، اما فاصله‌اش تا زمین، ۴۰۰ بار بیش‌تر از فاصلهٔ ماه تا زمین است. نتیجهٔ مستقیم این وضعیت آن است که در زمان‌هایی که ماه مستقیماً از مقابل خورشید می‌گذرد، خورشید را در پشت خود پنهان می‌کند و برای مدتی قرص درخشان خورشید، در پس قرص تاریک ماه که به همان اندازه است، ناپیدا می‌ماند.

شرط اصلی برای رخ دادن خورشیدگرفتگی کلی آن است که خورشید، ماه و زمین بر روی یک خط (یا تقریباً در یک خط) قرار گیرند، به طوری که سایهٔ ماه بر بخشی از زمین بیفتد. کل این سایه از دو بخش تشکیل شده است: قسمت درونی که «تمامْ سایه» نامیده می‌شود و تاریک‌تر است، و قسمت بیرونی که «نیم‌سایه» نام دارد. (شکل ۱ـ۱)



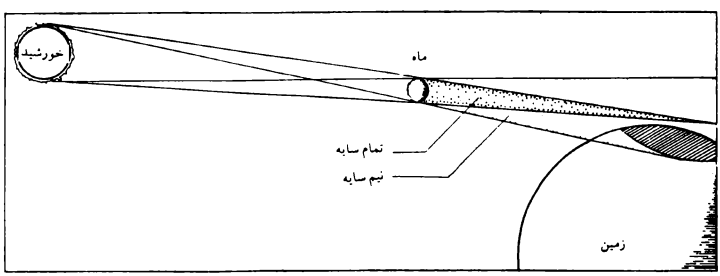
شکل ۱ـ۱: خورشیدگرفتگی کلی

در اتاقی تاریک با قرار دادن توپی در مقابل چراغ مطالعه می‌توانید بر روی دیوار، تمام سایهٔ توپ را در مرکز به صورت دایره‌ای تیره و نیم سایه را با تیرگی کمتر پیرامون آن مشاهده کنید. در حین خورشیدگرفتگی، اگر در قسمت نیم‌سایه باشیم، یا به عبارت دیگر اگر نیم‌سایهٔ ماه بر منطقهٔ ما بیفتد، خورشیدگرفتگی جزئی را خواهیم دید. برعکس اگر در قسمت تمام سایهٔ ماه باشیم، شاهد خورشیدگرفتگی کلی خواهیم بود. در خلال گرفتگی کلی، به سبب حرکت ماه و چرخش زمین، سایهٔ ماه، زمین را از مغرب به مشرق می‌پیماید.

مسیر حرکت تمام سایه، مَسیر گرفتگی کلی نامیده می‌شود. هر کس که در این مسیر باشد خورشید را در حالت گرفتگی کلی خواهد دید. پهنای مسیر گرفتگی کلی به ندرت به بیشترین اندازه یعنی ۳۲۰ کیلومتر می‌رسد و در مسیر حرکتش فقط نیم درصد سطح زمین را می‌پوشاند. به طور متوسط هر یک سال و نیم یک بار در منطقه‌ای از زمین خورشیدگرفتگی کلی رخ می‌دهد امّا عموماً ما فقط یک بار در طول عمرمان شانس مشاهدهٔ این پدیدهٔ زیبا را داریم. بسیاری افراد رنج سفرهای طولانی را تحمل می‌کنند و خود را به مسیر گرفتگی کلی می‌رسانند. مدت زمان گرفت کلی، یا مکث ماه در مقابل خورشید، در طول مسیر گرفتگی متفاوت است، اما عوامل متعددی سبب می‌شود که خورشیدگرفتگی کلی هیچ گاه بیشتر از ۷ دقیقه و ۳۱ ثانیه نباشد. معمولاً در جدول‌های گرفتگی، بیشترین زمان مکث را در آن گرفتگی قید می‌کنند. مثلاً در همین گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸، بیش‌ترین مدت گرفتگی کلی در مسیر گرفتگی، ۲ دقیقه و ۲۲/۴ ثانیه است. این بدان معنی نیست که در سراسر مسیر گرفتگی، زمان مکث ۲ دقیقه و ۲۲/۴ ثانیه است. در آغاز و پایان مسیر گرفتگی مدّت گرفتگی کلی کوتاه‌تر است. در حین گرفتگی کلی، تاج

خورشید به صورت هاله‌ای سفید رنگ در اطراف قرص تاریک ماه دیده می‌شود. آسمان تاریک می‌شود و ستاره‌ها و سیارات دیده می‌شوند. در خارج از مسیر گرفتگی کلی، یعنی در قسمت نیم‌سایه، خورشید را در حالت گرفتگی جزئی می‌بینیم. بدین صورت که قرص ماه بخشی از قرص خورشید را می‌پوشاند و بسته به درصد این گرفتگی، خورشید را از پشت فیلتر، به صورت هلال باریک یا پهن می‌بینم. پهنای نیم‌سایه به حدود ۷۰۰۰ کیلومتر می‌رسد.

در برخی از گرفتگی‌ها فقط نیم سایه با زمین تماس می‌یابد. در این حالت تمام سایه از فراز قطب شمال یا جنوب می‌گذرد و با زمین برخوردی ندارد. در چنین مواردی خورشیدگرفتگی فقط جزئی است و بسته به موقعیت، فقط در نزدیکی قطب شمال یا جنوب دیده می‌شود. (شکل ۱ـ۲)

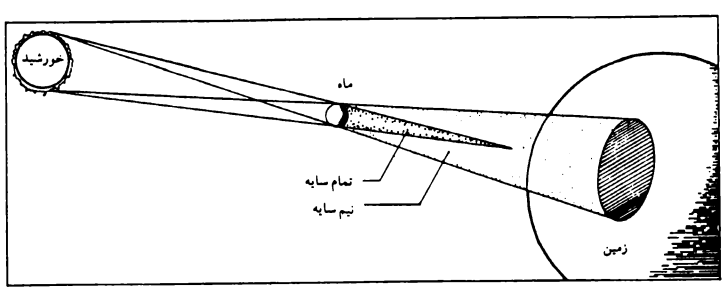


شکل ۱ـ۲: خورشیدگرفتگی جزئی

چند عامل روی دادن خورشیدگرفتگی را پیچیده می‌کنند. مدار زمین به دور خورشید به صورت بیضی است و خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد. پس در مدت یک سال که خورشید را دور می‌زنیم، گاه به

آن نزدیک و گاه از آن دور می‌شویم. در نتیجه قطر ظاهری یا قطر زاویه‌ای خورشید در طی سال تغییر می‌کند (دربارهٔ مفهوم قطر زاویه‌ای به پیوست ۱ مراجعه کنید) اندازهٔ قطر زاویه‌ای خورشید از ۳۱/۴۷ دقیقه کمان در اوج (دورترین فاصلهٔ زمین از خورشید) تا ۳۲/۵۳ دقیقه کمان در حضیض (نزدیک‌ترین فاصلهٔ زمین از خورشید) افزایش می‌یابد. با چشم غیر مسلح این ۳ درصد تغییر در اندازهٔ ظاهری خورشید را نمی‌توان تشخیص داد.

از سوی دیگر مدار ماه به دور زمین هم بیضی شکل است. ماه در اوج مدار خود به دور زمین، ۴۰۶۷۰۰ کیلومتر از مرکز زمین فاصله دارد. در حضیض این فاصله به ۳۵۶۴۰۰ کیلومتر می‌رسد. در خلال این ۱۲ درصد تغییر در فاصله، اندازهٔ قطر زاویه‌ای ماه از ۲۹/۴۰ تا ۳۳/۵۳ دقیقه کمان تغییر می‌کند. بنابراین، هنگام خورشیدگرفتگی کلی ممکن است قطر زاویه‌ای ماه ۲ دقیقه کمان از قطر زاویه‌ای خورشید بزرگتر باشد، یا برعکس ۳ دقیقه کمان از قطر زاویه‌ای خورشید کوچک‌تر دیده شود. در حالت اخیر گرفتگی حلقوی رخ می‌دهد (شکل ۱ـ۳) هنگامی

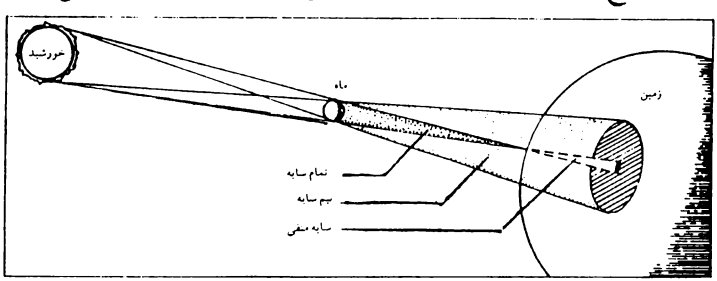


شکل ۱ـ۳: خورشیدگرفتگی حلقوی

که ماه در نزدیکی اوج مدارش قرار دارد، کوچک‌تر از خورشید دیده می‌شود و به عبارت دیگر قرص ظاهری ماه نمی‌تواند قرص ظاهری خورشید را کاملاً بپوشاند. در نتیجه حلقه‌ای باریک از قرص نورانی خورشید پیرامون قرص تیرهٔ ماه دیده می‌شود. نورافشانی همین حلقه، که همان شید سپهر خورشید است، باعث می‌شود که تاج خورشید دیده نشود و امکان عکسبرداری یا اندازه‌گیری‌های دیگر از تاج ناممکن شود. (توضیح بیشتر دربارهٔ شید سپهر و تاج در صفحهٔ ۶۵ آمده است)

هنگامی که ماه نسبت به زمین در حضیض مدارش قرار دارد و زمین نسبت به خورشید، در اوج مدارش، تمام سایهٔ ماه تا ۲۳۵۰۰ کیلومتر آن سوتر از مرکز زمین امتداد می‌یابد، البته پیش از رسیدن به آن فاصله، مخروط تمام سایهٔ ماه با سطح زمین تماس می‌یابد. اما هنگامی که ماه در اوج مدارش و زمین در حضیض مدارش قرار دارد، تمام سایهٔ ماه نسبت به فاصلهٔ ماه تا مرکز زمین ۳۹۴۰۰ کیلومتر کوتاه‌تر است. این دو حالت بیشترین و کمترین گسترهٔ تمام سایهٔ ماه را در فضا تعیین می‌کنند. در حالت اول تقاطع مخروط تمام سایه با زمین حداکثر قطر را دارد که به ۳۲۰ کیلومتر می‌رسد.

در حالت دوم اگر یالهای مخروط تمام سایه را امتداد دهیم (سایهٔ منفی) تا زمین را قطع کنند، سطح تقاطع، قطری حدود ۳۶۸ کیلومتر خواهد داشت و ناظر واقع در این محدوده شاهد گرفتگی حلقوی خواهد بود (شکل ۱ـ۴)



شکل ۱ـ۴: سایهٔ منفی در یک گرفتگی حلقوی

گونهٔ دیگری از گرفتگی را حلقوی ـ کلی می‌نامند. این حالت چهارم، حالتی است بین گرفتگی حلقوی و گرفتگی کلی. این گرفتگی موقعی روی می‌دهد که قلّهٔ مخروط تمام سایه ماه فقط در بخشی از مسیرش با سطح زمین تماس می‌یابد.

ممکن است گرفتگی در دو انتهای مسیرش حلقوی ولی در میانهٔ مسیر به صورت کلی دیده شود.

گرفتگیهای ۱۱ مهر ۱۳۶۵ و ۱۰ فروردین ۱۳۶۶ دو نمونه از گرفتگی‌های حلقوی کلی بودند. جدول ۱ـ۱ درصد فراوانی گونه‌های مختلف خورشیدگرفتگی‌ها را نشان می‌دهد.

گونهٔ خورشیدگرفتگی	درصد فراوانی
جزئی	۳۵
حلقوی	۳۳
کلی	۲۸
حلقوی ـ کلی	۴

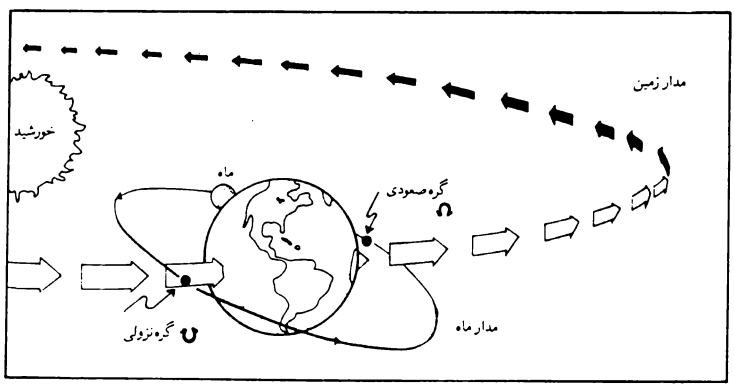
جدول ۱ـ۱

توالی گرفتگی‌ها

با دانستن این که لازمهٔ گرفتگی آن است که خورشید و ماه و زمین در یک راستار قرار گیرند، اولین پرسش که به ذهن می‌رسد این است که چرا هر ماهه گرفتگی رخ نمی‌دهد؟ مگر نه این که ماه در مدار خود به دور زمین ماهی یک بار از میان خورشید و زمین می‌گذرد؟

اگر مدار ماه به دور زمین در همان صفحهٔ مدار زمین به دور خورشید قرار داشت، ماهی یک ماه گرفتگی و یک خورشیدگرفتگی

اتفاق می‌افتاد. اما صفحهٔ مدار ماه به دور زمین نسبت به صفحهٔ مدار زمین به دور خورشید، حدود 5° کج است. این را اصطلاحاً تمایل مدار ماه می‌نامند. در نتیجه، اگر صفحهٔ مدار ماه به دور زمین را در آسمان امتداد دهیم، خواهیم دید که در دو نقطهٔ صفحهٔ مداری زمین (دایرةالبروج) را قطع می‌کند. این دو نقطه راگره هایا عقده‌های مدار ماه می‌خوانند. اگر ماه از بخش جنوبی دایرةالبروج به بخش شمال آن رود، نقطه گره را صعودی و نقطهٔ مقابل آن را نزولی می‌نامند. (شکل ۱ـ۵) ماه در مدت یک ماه دو بار دقیقاً در روی دایرةالبروج قرار می‌گیرد، یعنی هنگامی که به گره‌ها می‌رسد. در زمان‌های دیگر، ماه یا در بالای صفحهٔ مدار زمین است یا در پائین آن. چون وقوع گرفتگی



شکل ۱ـ۵

فقط هنگامی امکان‌پذیر است که خورشید، ماه و زمین در یک خط قرار گیرند، این شرط فقط موقعی حاصل می‌شود که مقارنهٔ ماه با خورشید (ماه نو) در یکی از این گره‌ها رخ دهد. برخلاف باور عامه، خورشید گرفتگی نادرتر از ماه گرفتگی نیست بلکه فراوانی آن بیشتر

است! نسبت فراوانی رخ دادن گرفتگی خورشید به گرفتگی ماه ۵ به ۳ است. در هر سال تقویمی دست کم ۲ و حداکثر ۵ خورشیدگرفتگی ممکن است رخ دهد. از سوی دیگر، وقوع بیش از ۳ ماه گرفتگی ممکن نیست، حتی ممکن است در خلال یک سال اصلاً ماه گرفتگی روی ندهد. در مجموع، در هر سال تقویمی وقوع حداکثر ۷ گرفتگی امکان‌پذیر است. این تعداد گرفتگی به صورت ۵ گرفتگی خورشید و ۲ گرفتگی ماه، یا ۴ گرفتگی خورشید و ۳ گرفتگی ماه خواهد بود. سال ۱۳۶۱ شمسی یکی از نادر سال‌هایی بود که ۷ گرفتگی در آن اتفاق افتاد. مهمتر آن‌که هر سه ماه گرفتگی در این سال کلی بود. چنین واقعه‌ای تا سال ۲۴۸۵ میلادی (۱۸۶۴ شمسی) روی نخواهد داد. دلیل این که مردم فکر می‌کنند ماه گرفتگی بیشتر از خورشیدگرفتگی اتفاق می‌افتد این است که ماه گرفتگی در سراسر یک نیمکره زمین قابل مشاهده است، اما گرفتگی خورشید را صرفاً در طول مسیر گرفتگی می‌توان دید. بررسی جابه‌جایی و موقعیت گره‌ها، کمک می‌کند که موضوع تکرار روی دادن خورشیدگرفتگی‌ها را بهتر بفهمیم.

قطر زاویه‌ای ماه و خورشید تحت زاویهٔ نسبتاً بزرگی دیده می‌شوند. از این رو لازم نیست که ماه یا خورشید دقیقاً در گره‌ها باشند تا گرفتگی رخ دهد. علاوه بر آن، مکان ناظر بر روی سطح زمین، به اختلاف منظر $^{\circ}$ ۲ در عرض دایرةالبروجی منجر می‌شود. این عامل‌ها باعث می‌شوند که هرگاه ماه در محدودهٔ $^{\circ}$ ۱۸/۵ یک گره باشد، و مقارنهٔ ماه با خورشید رخ دهد، گرفتگی امکان‌پذیر باشد. خورشید بر دایرةالبروج، هر روز حدود $^{\circ}$ ۱ جابه‌جا می‌شود و (۳۷ = ۱۸/۵ + ۱۸/۵) روز لازم است تا منطقهٔ گرفت یعنی محدوده‌ای بر دایرةالبروج به مرکز یک گره و به پهنای $^{\circ}$ ۳۷ را طی کند.

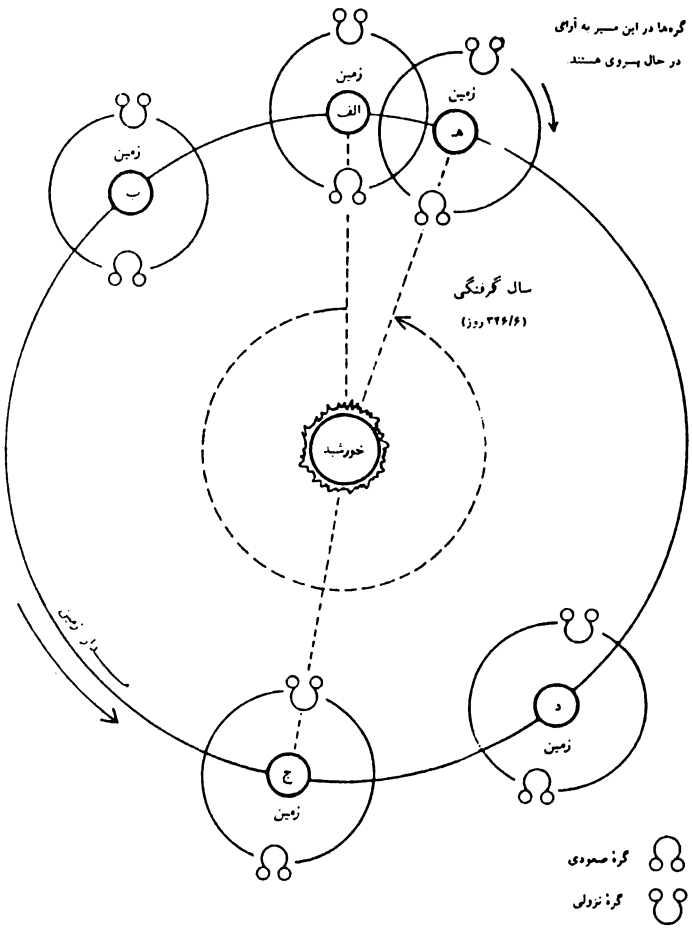
از سوی دیگر در هر $29\frac{1}{2}$ روز یک بار مقارنهٔ ماه با خورشید رخ می‌دهد. پس وقوع دست کم یک گرفتگی در خلال رسیدن خورشید به منطقهٔ گرفت (همان محدودهٔ حول و حوش یک گره) ممکن است.

دوره‌ای که طی آن خورشید در نزدیکی یک گره است، فصل گرفتگی نامیده می‌شود. در هر سال دو فصل گرفتگی داریم. اگر راستای خط واصل دو گره (خط عقدتین) در فضا ثابت بود، آن گاه فاصلهٔ زمانی بین فصل‌های گرفتگی ۶ ماه می‌شد و زمان وقوع گرفتگی‌ها هم موقع کاملاً معینی از سال بود. اما خط گره‌ها به آرامی از جهت مشرق به مغرب جابجا می‌شود و هر سال 19° به سوی مغرب می‌چرخد. در نتیجه فصل‌های گرفتگی در هر ۱۷۳/۳ روز رخ می‌دهند. دو فصل گرفتگی، یک سال گرفتگی را تشکیل می‌دهند که ۳۴۶/۶ روز است. این مدت ۱۸/۶ روز کوتاه‌تر از یک سال شمسی است و معادل است با زمان لازم برای این که خورشید در مسیر ظاهری‌اش یک گره را دوبار متوالی قطع کند (شکل ۱ـ۶).

به دلیل وجود دو فصل گرفتگی، در هر سال دست کم دو خورشیدگرفتگی رخ می‌دهد. در برخی از سال‌ها در هر فصل گرفتگی دو خورشیدگرفتگی اتفاق می‌افتد. یعنی چهار خورشیدگرفتگی در هر سال. در این حالت یک بار مقارنهٔ ماه با خورشید در آغاز و دیگری در پایان فصل گرفتگی رخ می‌دهد.

ممکن است حداکثر پنج خورشیدگرفتگی در یک سال روی دهد. این حالت بسیار نادر است. در چنین مواردی در دو فصل گرفتگی چهار گرفتگی رخ می‌دهد و چون سال گرفتگی کوتاه‌تر از یک سال شمسی است، افزون بر این یک گرفتگی هم در پایان سال اتفاق می‌افتد.

برای یافتن مدت زمان چرخهٔ خورشیدگرفتگی‌ها باید تناسبی میان


گره‌ها در این مسیر به آرامی
در حال پسروی هستند.
زمین
الف
زمین
ب
زمین
هـ
سال گرفتگی
(۳۴۶/۶ روز)
خورشید
مدار زمین
ج
زمین
د
زمین
گرهٔ صعودی
گرهٔ نزولی

شکل ۱ـ۶

ماه هلالی و ماه اژدهایی (دِراکُنی) بیابیم. ماه هلالی فاصلهٔ زمانی بین دو ماه نو یا مقارنهٔ ماه با خورشید متوالی (یا هر فاز مشخص دیگر ماه) است و برابر است با ۲۹/۵۳۰۶ روز.

ماه اژدهایی مدت زمان میان دو عبور ماه از یک گرهٔ مشخص مدارش (گرهٔ صعودی یا نزولی) است. و برابر است با ۲۷/۲۱۲۲ روز.

پیش‌تر گفتیم که برای رخ دادن خورشیدگرفتگی، باید مقارنهٔ ماه با خورشید در یکی از گره‌ها یا در نزدیکی آن رخ دهد. پس برای محاسبهٔ چرخه‌ای از خورشیدگرفتگی باید بر اساس نسبت مدت زمان ماه هلالی و اژدهایی به مضرب صحیحی از این دو ماه برسیم که همان نسبت را داشته باشند.

برای این منظور باید معادلهٔ سیالهٔ زیر را حل کنیم:

$$۲۹/۵۳۰۶x = ۲۷/۲۱۲۲y$$

در این معادله x و y عددهای صحیح هستند. ساده‌ترین جوابی که برای این معادله به ذهن می‌رسد نسبت $\frac{x}{y} = \frac{۲۷۲۱۲۲}{۲۹۵۳۰۶}$ است. بدین معنی که به ازای ۲۷۲۱۲۲ ماه هلالی و ۲۹۵۳۰۶ ماه اژدهایی نسبت برقرار می‌شود. از دیدگاه رصدی این جواب جالب توجه نیست. چون برای وقوع آن هزاران سال وقت نیاز است. پاسخ‌هایی با دقت کمتر اما کاربردی مورد نظر ما هستند.

برای این منظور کسر $\frac{۲۹۵۳۰۶}{۲۷۲۱۲۲}$ را به کسر پیوسته تبدیل می‌کنیم.

$$\frac{۲۹۵۳۰۶}{۲۷۲۱۲۲} = ۱ \frac{۲۳۱۸۴}{۲۷۲۱۲۲}$$

در کسر دوم، صورت و مخرج را بر صورت تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{۲۹۵۳۰۶}{۲۷۲۱۲۲} = ۱ + \cfrac{۱}{۱۱ + \cfrac{۱}{\frac{۱۷۰۹۸}{۲۳۱۸۴}}}$$

سپس صورت و مخرج کسر $\frac{۱۷۰۹۸}{۲۳۱۸۴}$ را بر صورت تقسیم می‌کنیم و این کار را ادامه می‌دهیم تا سرانجام کسر پیوستهٔ زیر به دست آید:

$$\frac{۲۹۵۳۰۶}{۲۷۲۱۲۲} = ۱ + \cfrac{۱}{۱۱ + \cfrac{۱}{۱ + \cfrac{۱}{۲ + \cfrac{۱}{۱ + \cfrac{۱}{۴}}}}}$$

اگر چند جملهٔ آغاز این کسر را بررسی کنیم، به ترتیب به تقریب‌های زیر می‌رسیم:

$$\frac{۱۲}{۱۱}، \frac{۱۳}{۱۲}، \frac{۳۸}{۳۵}، \frac{۵۱}{۴۷}، \frac{۲۴۲}{۲۲۳}$$

کسر پنجم از این مجموعه دقت لازم را دارد. یعنی به ازای ۲۲۳ ماه هلالی و ۲۴۲ ماه اژدهایی. ۲۲۳ ماه هلالی برابر است با ۶۵۸۵/۳۲ روز یا ۱۸ سال و ۱۱ روز و ۸ ساعت.

این مدت زمان را دورهٔ ساروس می‌نامند.

آن چه گفته شد منشاء دوره مشهور ساروس است. این چرخه را اخترشناسان بابِلی در چند هزار سال پیش کشف کرده بودند. هر دو گرفتگی که به اندازهٔ یک دورهٔ ساروس اختلاف زمانی دارند، ویژگی‌های بسیار مشابهی دارند. این گرفتگی‌ها در یک گره اتفاق می‌افتند، فاصلهٔ ماه از زمین در هر دو گرفتگی به یک اندازه است، هر دو گرفتگی در زمان‌های مشابه در سال رخ می‌دهند. به سبب این که دورهٔ ساروس شامل مقدار درستی از روزها نیست و کسری

دارد، تنها اثر آن این است که دو گرفتگی با اختلاف یک دورهٔ ساروسی از نقاط متفاوتی در زمین آغاز می‌شوند. گرچه همین ۸ ساعت یا $\frac{۱}{۳}$ روز (مقدار کسری دورهٔ ساروسی) به معنای ۱۲۰° جابه‌جایی مسیر گرفتگی به سوی مغرب است، اما بعد از سه دورهٔ ساروسی یا ۵۶ سال و ۳۴ روز دوباره گرفتگی از همان مسیر سه دوره قبل می‌گذرد.

دوره‌های ساروسی تا ابد بی‌تغییر نمی‌مانند، زیرا هر دورهٔ ساروسی با دورهٔ دیگر کاملاً همانند نیست. به ویژه این که ۱۹ سال گرفتگی (۲۴۲ ماه اژدهایی) ۰/۴۶ روز طولانی‌تر از دورهٔ ساروسی است. در نتیجه گره در هر دوره، به اندازهٔ ۰/۵° به طرف مشرق جابه‌جا می‌شود.

یک رشتهٔ ساروسی نوعی، از هنگامی آغاز می‌شود که مقارنهٔ ماه با خورشید در حوالی ۱۸° گره شرقی رخ می‌دهد. اگر نخستین گرفتگی در گره صعودی ماه اتفاق بیفتد، سایهٔ ماه از ۳۵۰۰ کیلومتری پائین زمین می‌گذرد و یک گرفتگی جزئی در نواحی قطب جنوب دیده می‌شود. در دورهٔ بعد، سایه ۳۰۰ کیلومتر نزدیک‌تر است و گرفتگی جزئی (اما با درصد بیش‌تری نسبت به گرفت قبلی) روی می‌دهد. پس از ده یا یازده دورهٔ ساروسی (در حدود ۲۰۰ سال)، اولین گرفتگی حلقوی در نزدیکی قطب جنوب زمین دیده می‌شود*

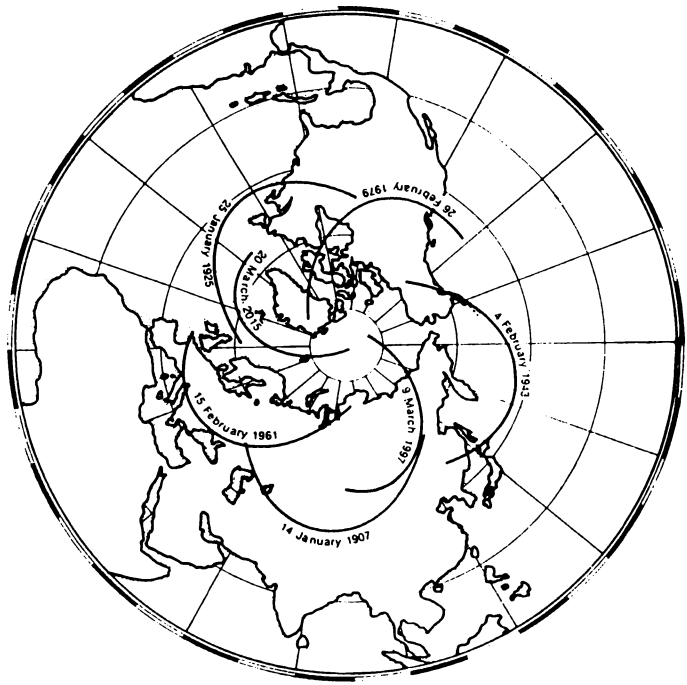
در خلال ۹۵۰ سال بعدی، یک گرفتگی حلقوی یا کلی در هر

* گرفتگی حلقوی به صورتی که مرکز قرص ماه از مقابل مرکز قرص خورشید عبور می‌کند.

دورهٔ ساروسی اتفاق می‌افتد، ولی هر بار مسیر گرفتگی به میزان ۳۰۰ کیلومتر شمالی‌تر می‌شود. در نیمهٔ این دورهٔ بلند، گرفتگی‌هایی با مکث طولانی در حوالی استوا رخ می‌دهد. آخرین گرفتگی از این سری از نزدیکی قطب شمال دیده می‌شود. دو گرفتگی بعدی، جزئی خواهند بود و هر بار میزان گرفتگی کمتر خواهد شد. سرانجام رشتهٔ ساروسی، ۱۳ قرن پس از شروع رشته، در قطب مقابل، خاتمه می‌یابد. یک رشتهٔ نوعی ممکن است ۷۰ تا ۸۰ گرفتگی را دربر گیرد که حدود ۵۰تای آن حلقوی یا کلی است. اگر رشتهٔ ساروسی از نزدیکی گره نزولی آغاز شود، نخستین گرفتگی، گرفتگی جزئی در حوالی قطب شمال خواهد بود و همان رویدادهای گفته شده، به طور معکوس رخ خواهد داد.

از آن جاکه حداقل دو گرفتگی خورشیدی در هر سال رخ می‌دهد، پس رشته‌های ساروسی متعددی وجود دارند که همزمان پیش می‌روند. به عنوان مثال، در نیمه دوم قرن بیستم، ۴۱ رشتهٔ مجزا داریم. با پایان گرفتن رشته‌های قدیمی، رشته‌های جدید جای آنها را می‌گیرند.

نقشهٔ ۱-۷ چند مسیر گرفتگی را از یک مجموعهٔ ساروس نشان می‌دهد. به پیشروی مسیرهای گرفتگی به سوی مغرب توجه کنید. امروزه اخترشناسان از دورهٔ ساروس برای پیش‌بینی خورشید گرفتگی‌ها استفاده نمی‌کنند. اخترشناسان با بهره‌بردن از محاسبات رایانه‌ای بسیار دقیق مسیر گرفتگی را با دقت دو یا سه کیلومتر و زمان گرفتگی را با دقت ثانیه محاسبه می‌کنند.



شکل ۱ـ۷: بر نقشه‌ای از قاره‌ها (دید از قطب شمال زمین)، چند مسیر از یک مجموعهٔ ساروس را می‌بینید

فصل ۲

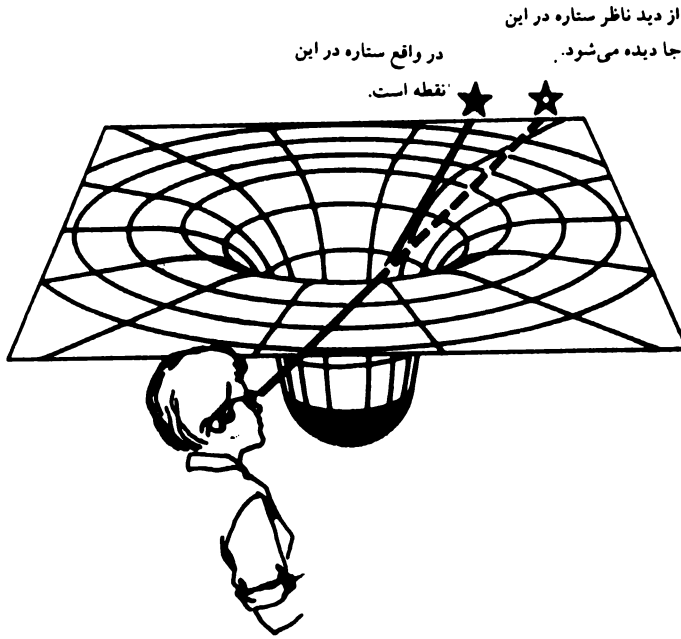
ارزش علمی خورشید گرفتگی کلی

هنگام خورشیدگرفتگی کلی بررسیهایی را می‌توان انجام داد که در مواقع دیگر عملاً ناممکن است. وقتی که ماه قرص خورشید را می‌پوشاند، بیرونی‌ترین لایه‌های جوّ خورشید را می‌توان رصد کرد. با پدیدار شدن ستاره‌ها، می‌توان انحنای فضا را در اطراف خورشید اندازه گرفت، و با اندازه‌گیری زمان تماس‌های قرص ماه با خورشید می‌توان به جزئیات حرکت مداری ماه و زمین پی برد.

در قرن اخیر، یکی از مهمترین سنجشهایی که در هنگام خورشید گرفتگی کلی انجام شد، اندازه‌گیری مکان ستاره‌های قابل رؤیت در اطراف خورشید و تأیید تجربی نسبیّت عام اینشتین بود. نسبیّت عام پایهٔ کیهان‌شناسی نوین است.

نخستین بار نیوتون رابطهٔ بین جرم و نیروی گرانش را به صورت یک رابطهٔ سادهٔ ریاضی بیان کرد. به این ترتیب ما توانستیم تصّوری شهودی از گرانش پیدا کنیم. اما در دهه‌های اولیه قرن بیستم معلوم شد که نظریهٔ نیوتون و شهود ما برای توصیف عالم کافی نیست. در واقع

این نظریه به ما نمی‌گوید گرانش چگونه اثر می‌کند. در این جا می‌توانیم این سؤال را مطرح کنیم که چرا برای شناخت کیهان، شناخت ماهیت گرانش و چگونگی ارتباط آن با ماده و پراکندگی آن ضروری است. پاسخ چندان مشکل نیست. در واقع بین نیروهایی که در طبیعت شناخته شده است، فقط نیروی گرانش است که در مقیاس اجرام بسیار بزرگ و فاصله‌های بسیار دور اهمیت می‌یابد. نیروهای دیگر، یعنی نیروهای هسته‌ای و نیروهای الکترومغناطیسی در چنین مقیاس‌هایی اثر چندانی از خود نشان نمی‌دهند. بنابراین شناخت ساختار عالم به شناخت چگونگی ارتباط ماده و گرانش بستگی دارد. بنابرنظریه نسبیت عام، فضا ـ زمان انحنا دارد. این انحناء ناشی از حضور ماده است. به این معناکه، هر چه به ماده نزدیکتر شویم، انحنای فضا ـ زمان بیشتر و هر چه از ماده دورتر شویم فضا تخت‌تر می‌شود و به هندسهٔ اقلیدسی نزدیکتر می‌شود. احتمالاً شما مثال معروف گلولهٔ سنگینی راکه روی سطح لاستیکی قرار دارد، شنیده‌اید. اگر ساچمهٔ کوچکی روی سطح لاستیکی حرکت کند مسیری را طی می‌کند که گلولهٔ سنگین واقع بر آن تعیین می‌کند. به این ترتیب گرانش، ناشی از انحنایی است که به سبب حضور ماده در فضا ایجاد می‌شود. بنابراین نوری هم که از ستاره‌های دوردست گسیل می‌شود، از همین فضا ـ زمان انحنادار می‌گذرد. به عبارت دیگر هنگامی که نور از کنار جسم پرجرمی مثل یک ستاره عبور می‌کند، «انحراف» پیدا می‌کند و از مسیری می‌گذرد که آن ستاره به واسطهٔ جرمش در فضای اطراف ایجاد کرده است. حال هنگامی که نور این ستاره به ما می‌رسد، ما با در نظرگرفتن امتداد مسیر نور، آن را در جایی غیر از محل اصلی‌اش مشاهده خواهیم کرد. (شکل ۲ـ۱)



شکل ۲ـ۱: پرتوهای نوری که از فضا ـ زمان خمیده عبور می‌کنند، از مسیر مستقیم خارج می‌شوند. اینشتین پیش‌بینی کرد، ستارگانی که هنگام خورشید گرفتگی کلی در نزدیکی خورشید دیده می‌شوند به مقدار اندکی از مکان پیشین خود جابه‌جا می‌شوند.

اما نسبیت عام مثل هر نظریهٔ دیگر فیزیکی می‌بایست در محک تجربه قرار می‌گرفت. از آن‌چه در بالا گفته شد می‌توانید حدس بزنید که به هر حال ناچاریم به خورشید، تنها ستارهٔ در دسترس، متوسل شویم. اگر نسبیت عام درست باشد باید نور ستاره‌هایی که در کنار خورشید دیده می‌شوند به هنگام عبور از کنار خورشید انحراف پیدا کنند و مهم‌تر از آن میزان انحراف باید برابر با مقداری باشد که نظریه پیش بینی می‌کند. اما فقط زمانی ستاره‌ها در حضور خورشید خودنمایی می‌کنند، که خورشید گرفتگی کلی روی دهد. شرح روش کار ساده است، گرچه خود انجام کار پیچیده و بسیار ظریف است.

خورشید در خلال یک سال از صورت‌های فلکی معینی عبور می‌کند. آزمونگران نسبیت عام از آن نقطه از آسمان، که خورشید قرار می‌گرفت، درست شش ماه پیش از خورشیدگرفتگی عکسبرداری و موقعیت ستاره‌ها را تعیین کردند. سپس بار دیگر و به هنگامی که خورشیدگرفتگی رخ داد و آسمان روز، شب شد، از همان نقطه عکس گرفتند. مقایسهٔ این دو عکس میزان انحراف نور را به ما نشان می‌دهد. این کار نخستین بار در سال ۱۹۱۹ میلادی، تحت سرپرستی سِر آرتور ادینگتون* اختر شناس معروف انگلیسی انجام گرفت، نتیجه با آن‌چه اینشتین پیش‌بینی کرده بود، یکی بود. جالب توجه این است که هنگامی که به خود اینشتین این خبر را دادند، باخونسردی جواب داد من که از ابتدا همین را گفته بودم و لازم نبود شما این همه زحمت به خودتان بدهید تا آن را تأیید کنید! این آزمون در خورشید گرفتگی‌های بعد نیز تکرار شده است و هر بار دقت

*.Eddington

اندازه‌گیری را بیشتر کرده‌اند.

یکی دیگر از پژوهش‌های جالب توجه، بررسی تاج خورشید است. تاج خورشید، که بیرونی‌ترین بخش جوّ خورشید است، در حالت عادی قابل رؤیت نیست. نورانیت شدید خورشید باعث می‌شود که ما تاج کم نور آن را نبینیم. ولی تاج را می‌توان در هنگام گرفتگی کلی به خوبی دید و بررسی‌های لازم را انجام داد. البته دستگاهی به نام تاج نگار هم اختراع شده است که با ایجاد گرفتگی مصنوعی (با قرار گرفتن یک قرص تیره درحوالی تصویر کانونی شدهٔ خورشید در تلسکوپ) مشاهدهٔ بخش درونی تاج را امکان پذیر می‌کند. در هنگام خورشیدگرفتگی کلی عکس‌برداری از زبانه‌های خورشیدی نیز ممکن است. در واقع، در یکی از گرفتگی‌های کلی بود که زبانه‌های خورشید برای نخستین بار کشف شدند.

اندازه‌گیری زمان تماس‌ها، یعنی زمان‌های مماس شدن قرص ماه و خورشید نیز بسیار مهم است. این زمان‌ها در واقع تطابق نظریه و واقعیت را نشان می‌دهند. اختلاف احتمالی در زمان‌های پیش‌بینی شده و زمان‌های رصد شده کمک می‌کند که اختلال‌های حرکت مداری ماه یا بی‌نظمی‌های چرخش زمین را بهتر بشناسیم. حتی ممکن است بررسی موضوع پرجنجال نوسان اندازهٔ خورشید به صورت دقیق‌تر انجام گیرد. طیف‌هایی که در تماس‌های دوم و سوم گرفته می‌شود، مهم‌اند. در این هنگام نوارهای تیرهٔ جذبی شیدسپهر به خطوط نشری فام سپهر پایین تغییر می‌یابد، بدین طریق اندازه‌گیری شدت خطوط مختلف طیف امکان پذیر می‌شود.

فصل ۳

رصد خورشیدگرفتگی

خورشیدگرفتگی جزئی

در خورشیدگرفتگی جزئی قرص ماه به طور کامل از مقابل خورشید عبور نمی‌کند. دراین حالت، ماه بخشی از قرص خورشید را می‌پوشاند. نکتهٔ بسیار مهمی که باید در رصدگرفتگی جزئی به آن توجه کرد، این است که با تیره شدن بخشی از قرص خورشید، بسیاری از افراد مستقیماً به خورشید نگاه می‌کنند. این کار خطرناک است، چون نور مستقیم خورشید به شبکیه چشم آسیب می‌رساند. این مطلب مربوط به ماهیت پدیدهٔ خورشیدگرفتگی نیست بلکه در هنگام عادی مشاهدهٔ قرص خورشید خطرناک‌تر است. در هنگام خورشیدگرفتگی چون بخشی از قرص خورشید تیره می‌شود، بسیاری از مردم وسوسه می‌شوند تا مراحل گرفتگی جزئی را مستقیماً با چشم دنبال کنند متأسفانه سلول‌های شبکیه چشم ما به درد حساس نیستند، از این رو حین مشاهدهٔ خورشید از آسیب دیدن آن‌ها آگاه نمی‌شوید آثار زیانبخش چنین رصدی بعداً مشخص می‌شود.

راه مطمئن، مشاهدهٔ خورشید به صورت غیر مستقیم است. برای این کار می‌توانید جعبه‌ای بسازید و تصویر خورشید را بر صفحهٔ نمایش منتقل و مشاهده کنید.

روش دیگر استفاده از صافی‌ها یا فیلترهای جوشکاری تیره، برای مثال نمرهٔ ۱۴ است.*

این فیلترها به طور قابل ملاحظه‌ای شدت تابندگی خورشید را کاهش می‌دهند و پرتوهای زیانبار نور خورشید را جذب می‌کنند. از لحاظ رصدی، شروع گرفتگی جزئی با تیرگی کوچکی در لبهٔ قرص خورشید آغاز می‌شود. در این لحظه نخستین تماس میان لبهٔ قرص ماه با خورشید رخ می‌دهد. به دلیل این که حرکت ظاهری ماه در آسمان از سوی مغرب به مشرق است، در آغاز، تیرگی در لبهٔ غربی قرص خورشید دیده می‌شود. در آغاز گرفتگی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در درخشندگی خورشید دیده نمی‌شود اما به تدریج با حرکت ماه، تیرگی قرص خورشید بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود و اصطلاحاً درصد تیرگی گرفتگی افزایش می‌یابد. درنهایت ممکن است بخش درخشان خورشید به صورت هلال بسیار باریکی دیده شود! (شکل ۳-۱-۱) اندازه‌ای از

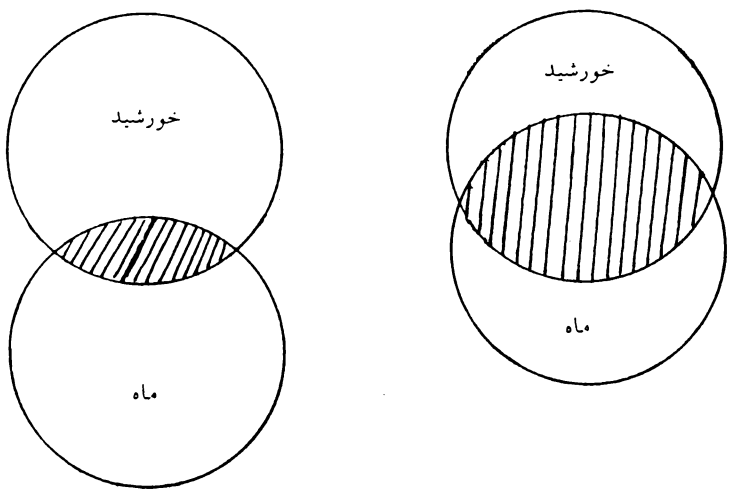
شکل ۳-۱-۱

* این فیلترها را می‌توانید از فروشگاه‌های ابزار و یراق تهیه کنید.

قرص خورشید که با ماه پوشیده می‌شود، در گرفتگی‌های جزئی مختلف، تفاوت دارد و به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. وضعیت عبور قرص ماه نسبت به قرص خورشید

هر چه جدایی زاویه‌ای مرکزهای ماه و خورشید کم‌تر باشند، بیشینهٔ درصد تیرگی افزایش می‌یابد (شکل ۳ـ۱ـ۲)



شکل ۳ـ۱ـ۲: با کمتر شدن جدایی زاویه‌ای مرکزهای ماه و خورشید، بخش هاشور خورده که درصد تیرگی را نشان می‌دهد، افزایش می‌یابد.

روش ساخت پروژکتور سوراخ دار

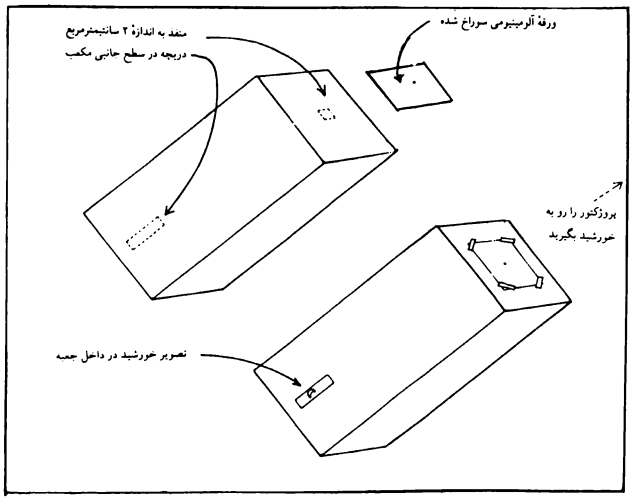
ممکن است برخی از خوانندگان به فیلترهای جوشکاری دسترسی نداشته باشند. به همین دلیل در این‌جا روش ساخت وسیله‌ای ساده را شرح می‌دهیم تا در هنگام خورشید گرفتگی جزئی بدون آسیب دیدن چشم به رصد بپردازید.

ابزار مورد نیاز:

۱. چهار تخته مقوای سفید محکم به ابعاد ۱۵×۶۰ سانتی‌متر و به ضخامت چند میلی‌متر ۲. دو تخته مقوای سفید مربع شکل به ضخامت چند میلی متر و طول ۱۵ سانتی‌متر ۳. چند ورقهٔ فویل آلومینیومی و سوزن ته گرد.

روش ساخت:

ابتدا به کمک چهار قطعه مقوای سفید یک مکعب مستطیل بسازید. یکی از مقواهای مربع شکل را بردارید و در مرکز آن سوراخی به قطر ۲ سانتی‌متر ایجاد کنید. سپس روی آن را یک ورقه فویل آلومینیوم بکشید و با سوزن در آن سوراخی ریز پدید آورید، طوری که در مرکز سوراخ ۲ سانتی‌متری مقوا قرار گیرد. این مقوا را به عنوان یکی از قاعده‌های مکعب و مقوای دیگر را به عنوان پردهٔ نمایش برای قاعدهٔ دیگر استفاده کنید. بعد از چسباندن دو قاعده روی یکی از سطوح جانبی مکعب دریچه‌ای به وجود آورید تا بتوانید تصویر را روی پردهٔ نمایش مشاهده کنید به این ترتیب وسیلهٔ شما آماده است. حالا به هنگام خورشید گرفتگی قاعده‌ای راکه حاوی سوراخ است جلوی نور خورشید بگیرید و از دریچهٔ موجود در سطح جانبی مکعب پرده نمایش را نگاه کنید (شکل ۳ـ۱ـ۳)



شکل ۳ـ۱ـ۳

نکتهٔ جالب توجه این است که اگر در هنگام خورشیدگرفتگی جزئی در سایهٔ درختان پر شاخ و برگ نگاه کنید، می‌توانید تعداد زیادی لکّه نور هلالی شکل، شبیه وضعیت هلالی خورشید ببینید. در این جا روزنه‌های کوچک در میان شاخ و برگ درختان مدلی شبیه پروژکتور سوراخ دار شما هستند.

۲. اندازهٔ قطر زاویه‌ای ماه و خورشید

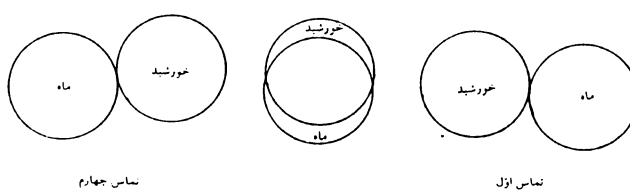
هر چه ماه در مدارش به زمین نزدیک‌تر باشد، اندازهٔ ظاهری قرص آن بزرگتر می‌شود. از این رو اگر در دو وضعیت عبور ماه را یکسان فرض کنیم، در صورتی که قطر زاویه‌های ماه بزرگتر و قطر زاویه‌ای خورشید کوچک‌تر باشد بیشینهٔ درصد تیرگی افزایش می‌یابد.

بیش‌ترین مدت زمان گرفتگی جزئی ممکن است به حدود چهار ساعت و نیم برسد. این در شرایطی رخ می‌دهد که ماه تقریباً از مقابل کل قرص خورشید عبور کند. البته اگر ماه از مقابل مرکز قرص خورشید عبور کند، گرفتگی کلی یا حلقوی رخ می‌دهد که دربارهٔ آن‌ها بحث خواهیم کرد.

علاقه‌مندان رصد خورشید گرفتگی می‌توانند در مرحلهٔ گرفتگی جزئی فعالیت‌های رصدی گوناگونی را انجام دهند که برخی از آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

○ ثبت زمان تماس‌ها

با توجه به شکل ۳ـ۱ـ۴ مشخص است که هنگام عبور ماه از مقابل خورشید، لبهٔ قرص ماه با لبهٔ قرص خورشید تماس می‌یابد. اصطلاحاً این تماس‌ها را به ترتیب از تماس اول تا چهارم نامگذاری می‌کنند. اما در گرفتگی جزئی فقط تماس اول و چهارم مطرح است. یکی از کارهای مهم، ثبت زمان تماس‌های اول و چهارم است. این کار کمک می‌کند که دقت محاسبات انجام شده برای زمان تماس‌ها را با رصد آزمود.



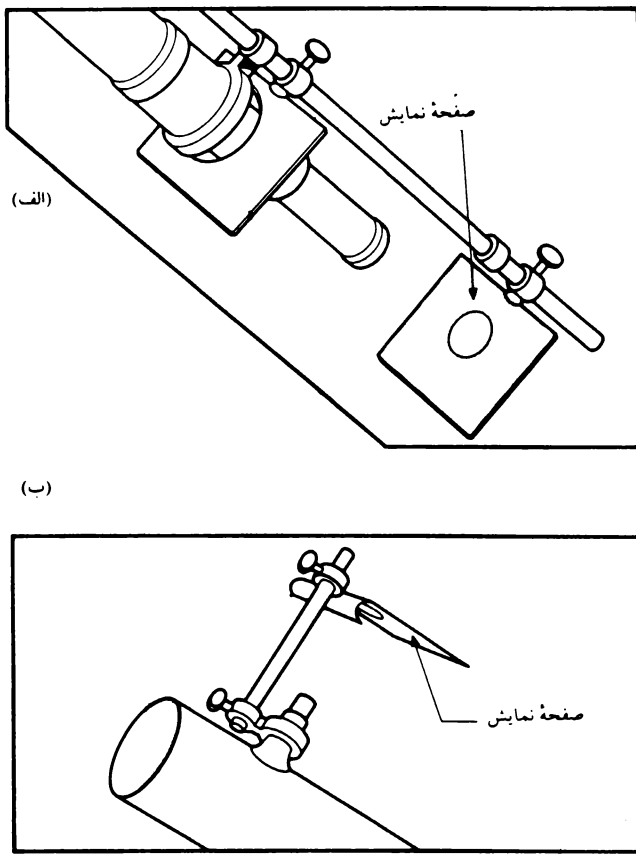
شکل ۳ـ۱ـ۴

زمان تقریبی تماس‌ها را با چشم غیر مسلّح (با فیلتر یا روی صفحهٔ نمایش) می‌توان مشاهده و ثبت کرد. اما اگر به دوربین دو چشمی یا تلسکوپ دسترسی داشته باشید می‌توانید زمان آن‌ها را دقیق‌تر به دست آورید. برای این منظور هیچ‌گاه از درون تلسکوپ یا دوربین دو چشمی مستقیماً به خورشید نگاه نکنید، این کار بسیار خطرناک است.

برای رصد خورشید با تلسکوپ می‌توان تصویر آن را بر برگهٔ سفیدی منتقل کرد در این صورت مشاهدهٔ تصویر خورشید بی‌خطر است. البته بهتر است که برگهٔ کاغذ مطابق شکل ۳-۱-۵ نسبت به عدسی چشم تلسکوپ در فاصلهٔ مشخص ثابت شود. برخی از کارخانه‌های سازندهٔ تلسکوپ، فیلتر مخصوصی را برای رصد خورشید طراحی می‌کنند و به همراه تلسکوپ آن را عرضه می‌کنند.

اگر تلسکوپتان چنین فیلتری دارد، با به‌کارگیری آن می‌توانید مستقیماً از عدسی چشمی به خورشید نگاه کنید. به هر حال مطمئن‌ترین کار این است که تصویر خورشید را روی کاغذ مشاهده کنید. در رصد با دوربین دوچشمی هم روش کار مانند رصد با تلسکوپ است. فقط به خاطر داشته باشید که دوربین دو چشمی را روی پایه نصب کنید.

با تلسکوپ مشاهدهٔ نخستین تماس لبهٔ ماه با خورشید و دیگر تماس‌ها بسیار آسان‌تر و دقیق‌تر است. سعی کنید ساعت خود را با زمان دقیق که از رادیو یا تلویزیون اعلام می‌شود تنظیم کنید چون ثبت زمان تماس‌ها با دقت ثانیه اهمیت دارد.



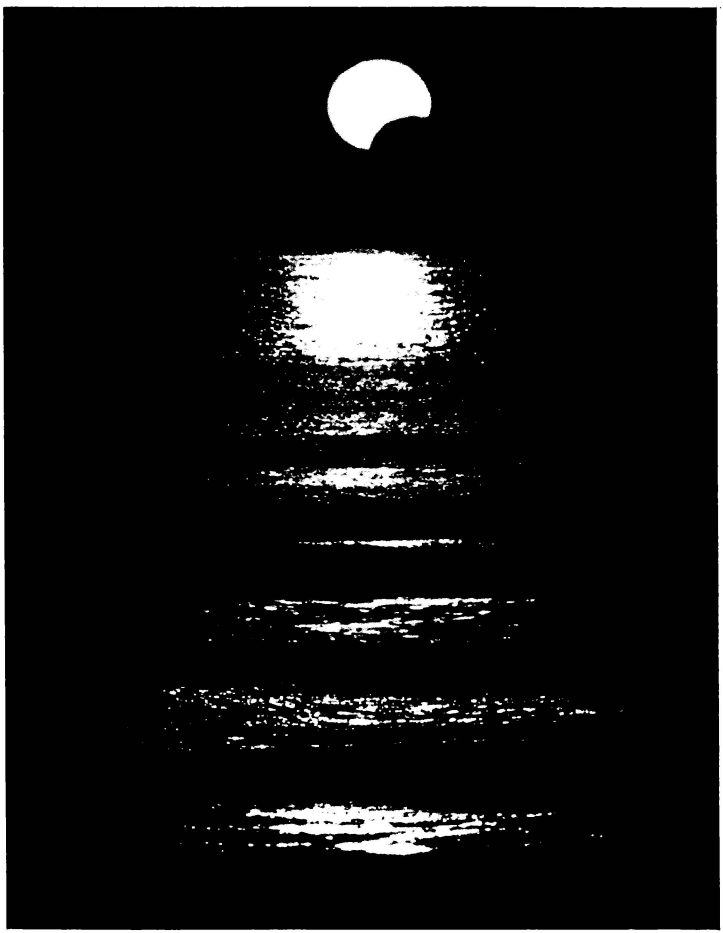
شکل ۳ـ۱ـ۵: انتقال تصویر بر صفحهٔ نمایش در الف) تلسکوپ شکستی ب) تلسکوپ بازتابی

○ ترسیم مراحل گرفتگی

یکی از کارهای جالب توجه، ترسیم مراحل گرفتگی جزئی هر ۵ تا ۱۰ دقیقه یک بار است، اگر با تلسکوپ یا دوربین دوچشمی رصد می‌کنید، برای دقیق انجام دادن این کار، روش پیشنهادی ما این است که از پیش با پرگار دایره‌هایی را با اندازه‌هایی برابر، مثلاً ۱۵ سانتی‌متر روی چند کاغذ سفید رسم کنید. مطابق شکل ۳-۱-۵ برگهٔ کاغذ را بر صفحه‌ای فلزی یا چوبی بچسبانید سپس صفحهٔ چوبی یا فلزی را با میله‌ای به بدنهٔ تلسکوپ نصب کنید. باید بتوان صفحه را نسبت به میله حرکت داد و در هر فاصلهٔ دلخواهی تنظیم کنید. در هنگام رصد صفحهٔ چوبی یا فلزی را آن قدر از عدسی چشمی تلسکوپ دور کنید که تصویر قرص خورشید دقیقاً منطبق بر دایره شود. در این صورت رسم مراحل گرفتگی دقیق‌تر انجام می‌شود. بهتر است پیش از آن‌که خورشیدگرفتگی آغاز شود، فاصله صفحه را از عدسی چشمی تعیین و ثابت کنید. با آغاز خورشیدگرفتگی جزئی به تدریج بخش تیره شدهٔ قرص خورشید افزایش می‌یابد. برای رسم مراحل گرفتگی، حاشیه بخش روشن قرص خورشید را که بر کاغذ مشاهده می‌شود، با مداد رسم کنید، پس از رسم، در هر مرحله دایرهٔ جدیدی را جایگزین دایره قبلی کنید. توجه کنید که فاصلهٔ صفحه از عدسی چشمی تغییر نکند. حتماً پس از رسم هر حالت خورشید گرفتگی جزئی، ساعت را با دقت دقیقه بر روی صفحه یادداشت کنید.

○ اندازه‌گیری درصد تیرگی

درصد تیرگی گرفتگی، در هر هنگام نسبت درصد بخش پوشیده



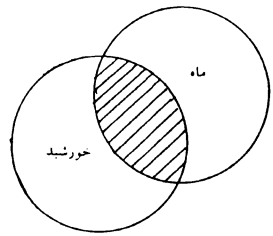
خورشید گرفتگی جزئی در ژاپن در بامداد ۵ ژانویه ۱۹۹۲.

آکیرا فوجی این عکس را با استفاده از عدسی تلهٔ ۲۵۰ میلی‌متری و f/۲۲ با $\frac{۱}{۱۲۵}$ ثانیه نوردهی تهیه کرده است.

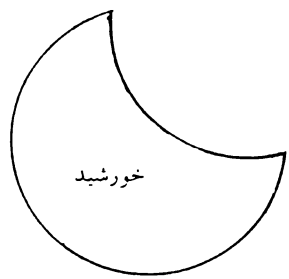
شدهٔ قرص خورشید به کل قرص آن است. درصد تیرگی به تدریج افزایش می‌یابد و به مقداری بیشینه می‌رسد و سپس دوباره کاهش می‌یابد تا این که ماه از مقابل خورشید کنار رود. در گرفتگی‌های جزئی می‌توان درصد تیرگی گرفتگی جزئی را پس از رصد محاسبه کرد. با توجه به شکل ۳ـ۱ـ۶ مشخص است که بخش تیرهٔ قرص خورشید، بخش مشترک بین قرص ماه و خورشید است. (بخش هاشور خورده) از لحاظ رصدی در هر لحظه فقط آن بخشی از قرص ماه که به مقابل قرص خورشید می‌آید، به صورت تیره دیده می‌شود. (شکل ۳ـ۱ـ۷).

روش محاسبه به این صورت است ابتدا باید از خورشید گرفتگی جزئی عکسی بگیرید یا از آن تصویری رسم کنید، سپس با استفاده از پرگار سعی کنید دایره‌ای رسم کنید که از لبهٔ قرص ماه بر قرص خورشید عبور کند. (مرکز O را بیابید)* این دایره را با نقطه‌چین نشان داده‌ایم. (شکل ۳ـ۱ـ۸) در واقع این دایره نشان دهندهٔ قرص‌ماه است. البته بخشی از آن که به مقابل قرص خورشید نیامده است، دیده نمی‌شود. سپس از مرکز دایرهٔ قرص ماه به نقاط A و B دو خط وصل کنید و زاویه $\angle AOB$ را با نقاله اندازه بگیرید. (ما آن را θ می‌نامیم) از سوی دیگر مرکز خورشید $(\acute{O})$ را بیابید و همین اندازه گیری زاویه‌ای را نسبت به مرکز قرص خورشید $(\acute{O})$ انجام دهید، یعنی زاویهٔ $\angle A\acute{O}B$ را با نقاله بر حسب درجه اندازه بگیرید. (ما آن را θ' می‌نامیم)

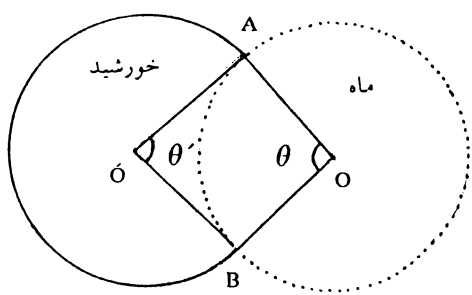
* برای یافتن مرکز O می‌توانید دو وتر در کمان رسم کنید. محل تلاقی عمود منصف‌های دو وتر مرکز دایره را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ۱ـ۶



شکل ۳ـ۱ـ۷: اگر وضعیت قرارگیری ماه و خورشید، مانند شکل ۳ـ۱ـ۶ باشد، خورشیدگرفتگی جزئی را به صورت بالا می‌بینیم.



شکل ۳ـ۱ـ۸

پس از اندازه‌گیری این زاویه‌ها، با استفاده از رابطهٔ زیر، اندازهٔ هر کدام از آن‌ها را به رادیان تبدیل کنید:

$$\theta \text{ (برحسب رادیان)} = \frac{\theta \text{ (بر حسب درجه)} \times \pi}{۱۸۰}$$

از سوی دیگر با استفاده از خط‌کش، شعاع دایره‌ای ماه و خورشید را اندازه بگیرید. (بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر) توجه کنید که بعداً در محاسبه اندازه‌های هر دو بر حسب یک واحد باشد. شعاع دایره‌های ماه و خورشید را به ترتیب R, R' می‌نامیم.

حال از رابطهٔ زیر مساحت بخش پوشیده شدهٔ (تیره) قرص خورشید را بر حساب میلی‌متر یا سانتی‌متر مربع حساب کنید:

$$\text{مساحت بخش تیره} = \frac{۱}{۲} R^{۲} (\theta - \sin\theta) + \frac{۱}{۲} R'^{۲} (\theta' - \sin\theta')$$

در این رابطه اندازهٔ زاویه‌های θ و θ' را بر حسب رادیان وارد کنید.

حال از رابطهٔ مساحت دایره، مساحت کل قرص خورشید را محاسبه کنید:

$$\text{مساحت کل قرص خورشید} = \pi R'^{۲}$$

با دانستن نسبت مساحت محاسبه شده برای بخش تیره به مساحت کل قرص خورشید از رابطهٔ زیر درصد تیرگی را محاسبه کنید:

$$\text{درصد تیرگی} = \frac{\text{مساحت بخش تیره}}{\text{مساحت کل قرص خورشید}} \times ۱۰۰$$

البته در محاسبات تقریبی می‌توان اندازهٔ شعاع خورشید و ماه را

یکسان فرض کرد، چون اختلاف قطر زاویه‌ای ماه و خورشید چندان زیاد نیست. به دلیل تغییر فاصلهٔ ماه از زمین و تغییر فاصلهٔ زمین از خورشید قطر زاویه‌ای ماه و خورشید تغییر می‌کند. قطر زاویه‌ای ماه از ۲۹′ و ۲۴″ تا ۳۳′ و ۳۲″ و قطر زاویه‌ای خورشید هم از ۳۱′ و ۲۸″ تا ۳۲′ و ۳۲″ تغییر می‌کند.*

○نمودار درصد تیرگی ـ زمان

در هنگام گرفتگی جزئی برای محاسبهٔ درصد تیرگی یا رسم نمودار درصد تیرگی ـ زمان فرصتی نیست. این کارها را باید پس از رصد با دقت انجام داد. یکی از کارهای تکمیلی و دقیق‌تر رسم نمودار درصد تیرگی ـ زمان است. برای رسم نمودار، در شاخهٔ پایینی نمودار، ساعت‌های رصد را وارد کنید. در شاخهٔ بالایی هم درصد تیرگی از صفر درصد آغاز می‌شود، فاصله عددهای درصد و زمان را در نمودار، براساس بیشینهٔ درصد تیرگی و مدت زمان رصد تنظیم کنید. برای مثال اگر بیشینهٔ درصد تیرگی ۴۰ درصد است فاصله‌ها را طوری تنظیم کنید که ۴۰ درصد در بالا قرار گیرد.

با مشخّص بودن ساعت‌های رصد و درصد تیرگی در هر هنگام، نقطه‌ای را در نمودار می‌توان علامت زد. با وصل کردن این نقاط به هم طرح نمودار به دست می‌آید. این نمودار روند کلی گرفتگی جزئی را نشان می‌دهد. اگر نمودار رسم شدهٔ درصد تیرگی ـ زمان را معکوس نگاه کنیم، روند کم شدن درخشندگی خورشید را نشان می‌دهد. با کاهش درخشندگی خورشید به طور مستقیم روشنی آسمان و محیط

* در هنگام خورشیدگرفتگی کلی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸، قطر زاویه‌ای ماه ۳۲′ و ۲۸″ و قطر زاویه‌ای خورشید ۳۱′ و ۳۴″ است.

با استفاده از روشی که بحث شد، سعی کنید درصد تیرگی خورشید را در عکس، محاسبه کنید.

نیز کاهش می‌یابد.

حالا دربارهٔ این پرسش‌ها فکر کنید:

۱. به نظر شما شکل کلی نمودار درصد تیرگی ـ زمان چگونه است؟

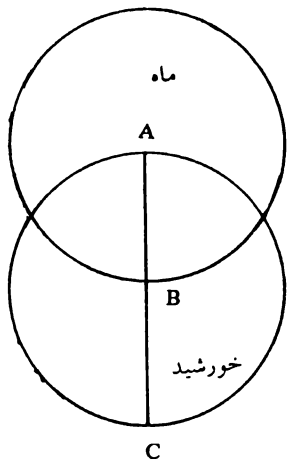
۲. نمودار از گونه خطی است یا غیر خطی؟ چرا؟

۳. چه عواملی بر شکل نمودار تأثیر می‌گذارند؟

۴. اگر نمودار را به صورت معکوس نگاه کنیم، با توجه به شکل نمودار چگونه می‌توان کاهش روشنایی محیط را تفسیر کرد؟

○ قدرگرفتگی

یکی از عواملی راکه می‌توان در گرفتگی جزئی اندازه گرفت، قدرگرفتگی است. با حرکت ماه از مقابل خورشید درصد تیرگی افزایش می‌یابد تا به مقداری بیشینه می‌رسد. در آن لحظه نسبت اندازهٔ بخش پوشیده شده، AB' به کل اندازهٔ قرص خورشید AC' قدرگرفتگی است. توجه داشته باشید که قدرگرفتگی نسبت اندازهٔ دو خط است، در صورتی که درصد تیرگی نسبت بین مساحت‌هاست. البته در بسیاری از موارد قدرگرفتگی را هم بر حسب درصد بیان می‌کنند. برای مثال در شکل ۳ـ۱ـ۹، نسبت $\frac{AB}{AC} = ۰/۵$ است که می‌توان آن را ۵۰ درصد هم نوشت.



شکل ۳-۱-۹

نکته دیگر این است که در گرفتگی کلی، قدر گرفتگی نسبت قطر زاویه‌ای ماه به خورشید است. در این صورت ممکن است قدر گرفتگی بیش از عدد ۱ باشد. اما درصد تیرگی حداکثر به ۱۰۰ درصد (یا به عبارت دیگر عدد ۱) می‌رسد. در گرفتگی جزئی در بیشتر موارد درصد قدرگرفتگی بیش‌تر از درصد تیرگی است.* به شکل ۳-۱-۹ توجه کنید نسبت $\frac{AB}{AC}$، ۵۰ درصد است اما نسبت مساحت هاشور خورده به کل قرص خورشید یعنی درصد تیرگی کم‌تر از ۵۰ درصد است.

* اگر وضعیت گرفتگی جزئی بسیار نزدیک به گرفتگی کلی شود، ممکن است بیشینهٔ درصد تیرگی مساوی یا حتی بیش‌تر از قدرگرفتگی شود.

قدرگرفتگی را می‌توان با روش ترسیم به دست آورد. کافی است پس از رصد، قرص خورشید و ماه را با پرگار کامل کنید و نسبت‌ها را به دست آورید. در این جا هم یادداشت کردن زمان رصد ضروری است.

○ مشاهدهٔ پستی و بلندی‌ها در لبهٔ ماه بر قرص خورشید

همان‌طور که پیشتر در فصل-۱ توضیح دادیم، هنگام خورشید گرفتگی، بخش روشن ماه رو به خورشید و بخش تاریک آن رو به زمین است. پس هلالی از ماه دیده نمی‌شود. اما با تلسکوپ‌های متوسط آماتوری هم می‌توان پستی و بلندی‌هایی را در لبهٔ قرص تاریک ماه در زمینهٔ قرص روشن خورشید دید. حالا محاسبه می‌کنیم که از لحاظ زاویه‌ای کوه‌های ماه چه اندازه‌ای دارند.

قطر واقعی ماه ۳۴۶۰ کیلومتر است و ارتفاع کوه‌های بلند ماه در لبه حدود ۳ کیلومتر است. از طرفی می‌دانیم که بیشینهٔ قطر زاویه‌ای ماه ′۳۳ و ″۳۲ (یا ″۲۰۱۲) است. پس با رابطهٔ زیر اندازهٔ زاویه‌ای ارتفاعات ماه را در لبهٔ قرص ماه حساب می‌کنیم.

$$\text{اندازهٔ زاویه‌ای کوه‌های بلند ماه (ثانیه کمان)} = \frac{\text{قطر زاویه‌ای ماه (ثانیه کمان)} \times \text{ارتفاع کوه‌های بلند ماه (کیلومتر)}}{\text{قطر واقعی ماه (کیلومتر)}}$$

$$\text{اندازهٔ زاویه‌ای کوه‌های بلند ماه} = \frac{۲۰۱۲'' \times ۳}{۳۴۶۰} \sim ۱/۷۴''$$

بدین ترتیب مشخص است که اندازهٔ زاویه‌ای کوه‌های بلند ماه در لبهٔ بسیار کوچک است. برای آسان مشاهده کردن ارتفاعات ماه در لبهٔ قرص آن دست‌کم به تلسکوپی با قطر عدسی یا آینهٔ ۵ اینچ

(۱۲/۵ سانتی‌متر) نیاز است.برای این منظور باید از بیش‌ترین بزرگ‌نمایی مفید تلسکوپ استفاده کرد.

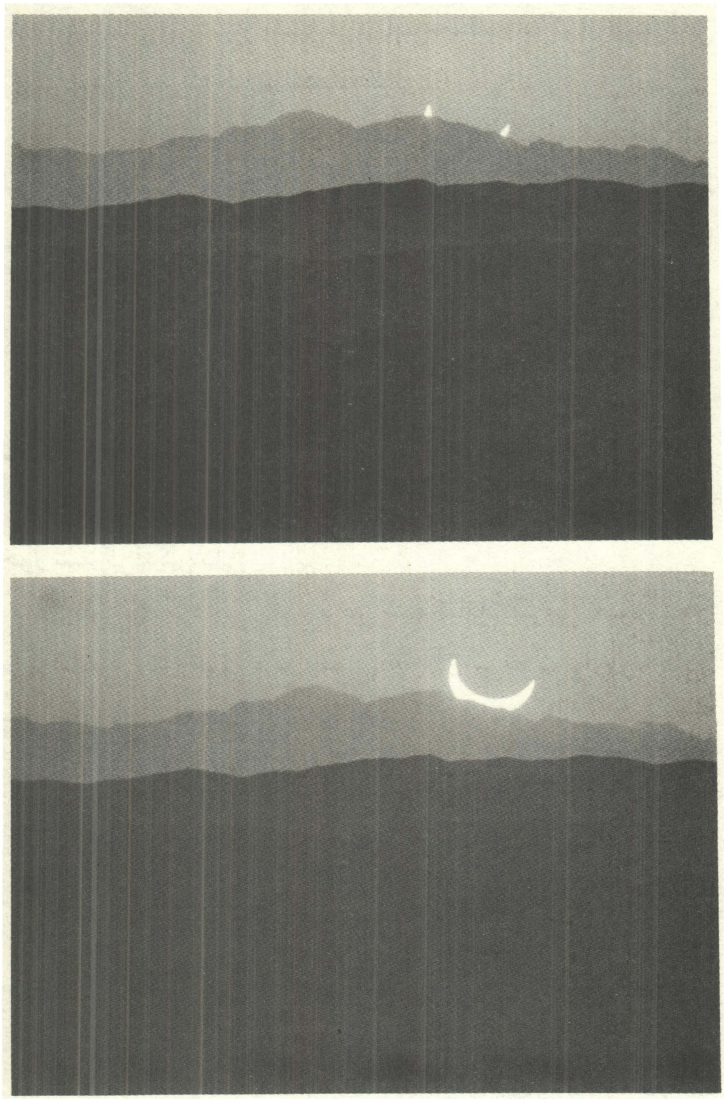
توجه داشته باشید که ممکن است به دلیل وجود آشفتگی‌های جوی، (به ویژه اگر هنگام گرفتگی، خورشید در نزدیکی افق باشد) لبهٔ ماه بر قرص خورشید دندانه دندانه دیده شود. معمولاً این دندانه‌ها پیوسته تغییر می‌کنند و نباید آن‌ها را با پستی و بلندی‌های ماه اشتباه گرفت.

فراموش نکنید که در این رصد نیز حتماً تصویر خورشید را بر صفحهٔ کاغذ مشاهده کنید.

خورشید گرفتگی کلی

در خورشیدگرفتگی کلی، قرص ماه کاملاً قرص خورشید را می‌پوشاند و برای مدتی مانع رسیدن نور آن می‌شود. برای رخ دادن چنین پدیده‌ای باید قطر زاویه‌ای ماه بزرگتر از خورشید باشد پیشتر گفتیم که قطر زاویه‌ای ماه حداکثر ممکن است ۲ دقیقهٔ کمان بزرگ‌تر از قطر زاویه‌ای خورشید باشد. نکتهٔ دیگر اندازهٔ جدایی مرکزهای ماه و خورشید است. اگر قطر زاویه‌ای خورشید کم‌ترین و قطر زاویه‌ای ماه بیش‌ترین اندازه باشد، برای رخ دادن گرفتگی کلی نباید جدایی بین مرکزهای آن‌ها از ۲ دقیقهٔ کمان بیش‌تر باشد، در شرایط دیگر که قطر زاویه‌ای ماه کوچک‌تر و قطر زاویه‌ای خورشید بزرگ‌تر از اندازهٔ یاد شده است، برا رخ دادن گرفتگی باید جدایی مرکزهای ماه و خورشید کم‌تر از ۲ دقیقه کمان باشد.

از لحاظ رصدی پیش از خورشیدگرفتگی کلی مراحل خورشید گرفتگی جزئی رخ می‌دهند. تمام فعالیت‌هایی که برای رصد گرفتگی



مرحلهٔ گرفتگی جزئی در خورشیدگرفتگی کلی ۲ آبان ۱۳۷۴ در نزدیکی بیرجند. عکس‌ها اندکی پس از طلوع خورشید در زمان میان تماس اول تا پیش از تماس دوم گرفته شده‌اند.

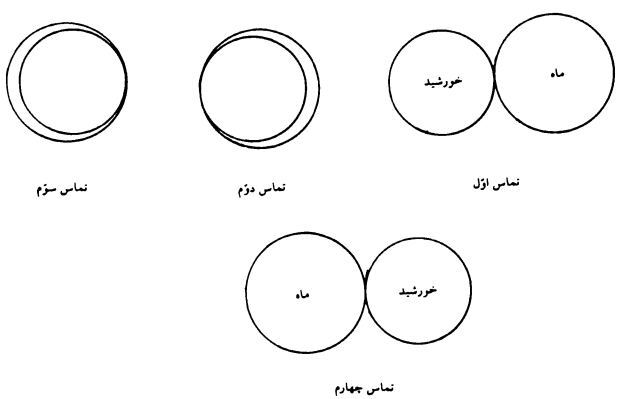
جزئی برشمردیم، پیش از آغاز و پس از پایان خورشیدگرفتگی کلی هم انجام پذیرند. در خورشیدگرفتگی کلی افزون بر رصدهای یاد شده، کارهای دیگری نیز می‌توان انجام داد. نکتهٔ جالب توجهٔ این است که اغلب پدیده‌های خورشیدگرفتگی کلی را می‌توان با چشم غیر مسّلح رصد کرد. این رصدها را در چند گروه می‌توان رده‌بندی کرد:

الف) از تماس اول تا پیش از تماس دوم

ب) از تماس دوم تا تماس سوم (خورشیدگرفتگی کلی)

ج) پس از تماس سوم تا تماس چهارم

در شکل ۳-۲-۱ مجموعه تماس‌های اول تا چهارم نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۲-۱

○ از تماس اول تا پیش از تماس دوم

پس از رصد پدیده‌های گرفتگی جزئی، از چند دقیقه پیش از تماس دوم تا هنگام تماس دوم پدیده‌های رصدی جالب توجهی را می‌توان مشاهده و ثبت کرد.

*** نوارهای سایه‌ای**

حدود یک تا دو دقیقه پیش از آغاز و پس از پایان گرفتگی کلی نوارهای تیره و روشنی بر سطح زمین دیده می‌شوند.

در آغاز پدیدار شدن، نوارها درهم و کم نورند، اما با نزدیک‌شدن هنگام گرفتگی کلی آرایش منظم‌تری می‌یابند، اندازهٔ آن‌ها به چند سانتی‌متر کاهش می‌یابد و آسان‌تر تشخیص داده می‌شوند. پس از پایان گرفتگی کلی، عکس این پدیده‌ها رخ می‌دهند و سرانجام نوارهای سایه‌ای ناپدید می‌شوند.

با دیدن نوارهای سایه‌ای به نظر می‌رسد که آن‌ها عمود بر طولشان حرکت می‌کنند، اما این ناشی از خطای دید است. چون با چشم نمی‌توان حرکت نوارها را در طولشان تشخیص داد، این خطا پیش می‌آید.

در گذشته، بسیاری گمان می‌کردند نوارهای سایه‌ای به خود خورشید مربوط می‌شوند اما امروزه می‌دانیم که این پدیده به دلیل عبور نور خورشید از جو زمین رخ می‌دهد.

حالا پرسش مهم این است که نوارهای سایه‌ای چگونه شکل می‌گیرند؟

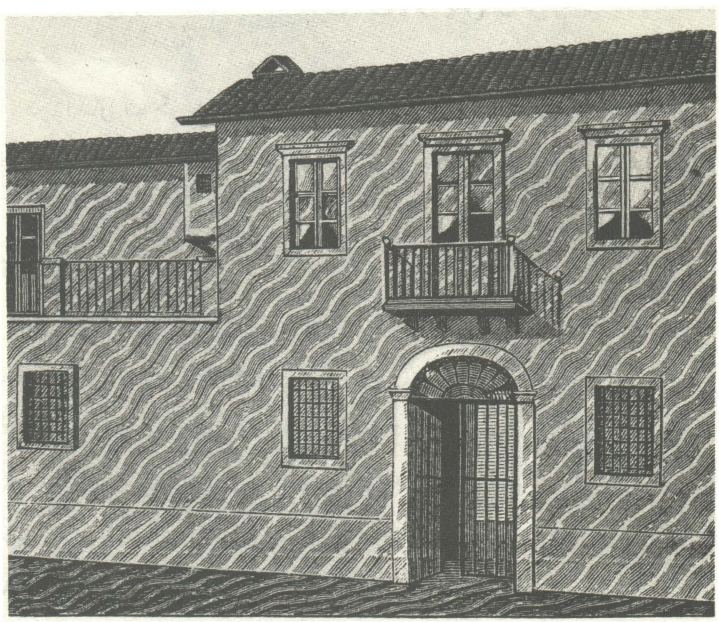
لایه‌های مختلف جو زمین دارای چگالی و دمای متفاوتند. در نتیجه ضریب شکست آن‌ها متفاوت است.

نور اجرام در عبور از لایه‌های مختلف جو زمین به طور پیوسته و نامنظم شدید و ضعیف می‌شود. اثر جو بر نور ستاره‌ها که چشمه‌های نوری نقطه‌ای‌اند موجب می‌شود که ستاره‌ها چشمک بزنند. یعنی

نورشان پیوسته کم و زیاد شود. در حالت عادی درخشندگی قرص خورشید بسیار زیاد است و نمی‌توان اثر جو را بر نور آن تشخیص داد.

چند دقیقه پیش از آغاز خورشیدگرفتگی کلی، بخش هلالی شکل و روشن خورشید به سرعت کوچک و کوچک‌تر می‌شود. گذر نور ضعیف خورشید از بخش‌های مختلف جو زمین موجب شکل‌گیری نوارهای سایه‌ای می‌شود. با تابیدن خورشید بر سطح آب استخر نیز پدیده‌ای مشابه نوارهای سایه‌ای در کف استخر دیده می‌شود.

ایجاد نواهای تیره و روشن در پدیدهٔ نوارهای سایه‌ای براثر تداخل امواج نوری است. (شکل ۳-۲-۲)



شکل ۳-۲-۲: در خلال خورشیدگرفتگی ۲۲ دسامبر ۱۸۷۰، رصدکنندگان زیادی در سیسیل ایتالیا حرکت نوارهای سایه‌ای را مشاهده کردند.

● **زمان پدیدار شدن نوارهای سایه‌ای**

ساده‌ترین کار ممکن آن است که دقت کنید، آیا نوارهای سایه‌ای پدیدار می‌شوند؟ متأسفانهٔ نوارهای سایه‌ای چندان نمایان نیستند، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های تیرهٔ نوار حداکثر ۲ تا ۳ درصد نسبت به زمینه تیره‌ترند. از این رو بهتر است پارچه یا صفحهٔ سفید رنگی را بر سطح زمین قرار دهید و پدیدارشدن نوارهای سایه‌ای را بر آن بررسی کنید. در خورشیدگرفتگی هرچه قطر زاویه‌ای ماه بزرگتر از خورشید باشد، نوارهای سایه‌ای آسان‌تر و بهتر مشاهده می‌شوند. لحظهٔ پدیدارشدن نوارهای سایه‌ای را پیش از گرفتگی کلی و هنگام ناپدید شدن آن‌ها را پس از گرفتگی یادداشت کنید.

در آغاز ممکن است نوارهای سایه‌ای، نوار مانند دیده نشوند و چون سایه‌ای دود مانند به نظر برسند ولی به تدریج ساختار نوار مانند آن‌ها پدیدار می‌شود.

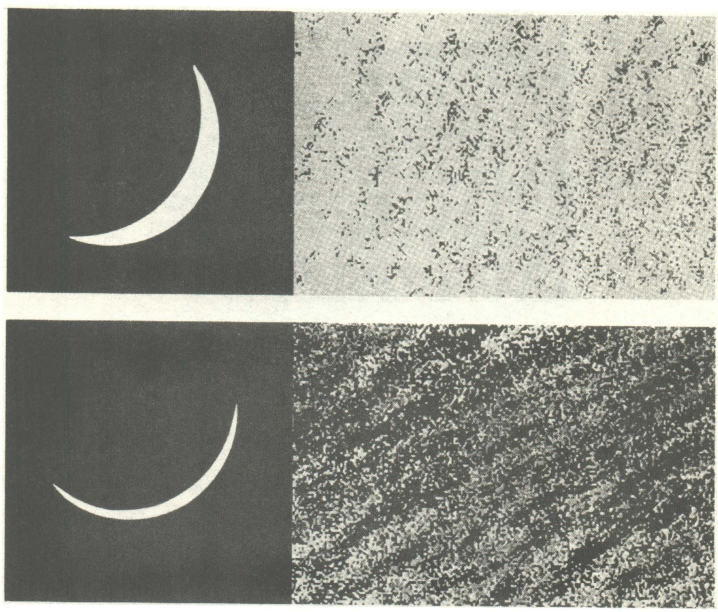
● **اندازه و سرعت حرکت**

بررسی‌های نظری حاکی از آن است که نوارهای سایه‌ای در اندازه‌های مختلفی ایجاد می‌شوند. چون نوارها چندان نمایان نیستند، فقط می‌توانیم نوارهایی را با اندازهٔ کوچک تشخیص دهیم. نوارهایی که اندازه‌شان بزرگ‌تر از یک‌متر باشند، از سطح زمین دیده نمی‌شوند. شاید بتوان آن‌ها را از ارتفاعی چند متر بلندتر مشاهده کرد. به هر حال اندازهٔ نوارها را در گزارش رصدتان یادداشت کنید.

ممکن است نوارهای سایه‌ای با سرعت‌های متفاوتی حرکت کنند. به ویژه اگر باد بوزد، آشفتگی‌ها (در نتیجه نوارها) با سرعت بیش‌تری حرکت می‌کنند و ما آن‌ها را تشخیص نمی‌دهیم.

● **جهت**

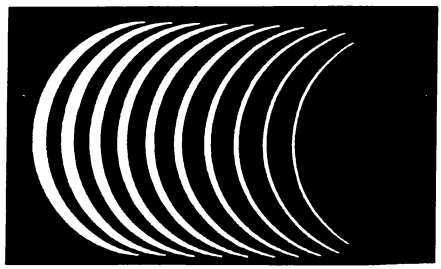
هم‌چنانکه هلال درخشان خورشید کوچک‌تر می‌شود، نوارهای سایه‌ای در امتداد خط وصل کنندهٔ دو سر هلال جهت می‌گیرند. (شکل ۳ـ۲ـ۳)



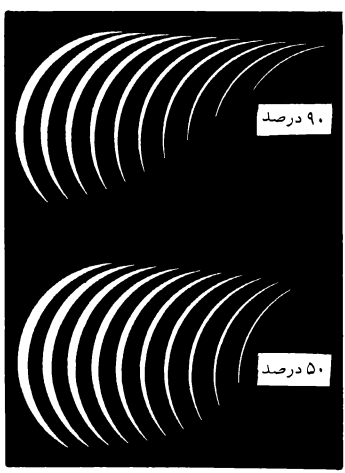
شکل ۳ـ۲ـ۳: نوارهای سایه‌ای با خط وصل‌کننده دو سر هلال خورشید جهت می‌گیرند. با فاصله گرفتن از خط مرکزی، جهت‌گیری هلال خورشید تغییر می‌کند.

جهت‌گیری هلال خورشید هم به موقعیت رصدکننده نسبت به خط مرکزی گرفتگی بستگی دارد. خط مرکزی گرفتگی مسیری است که اگر رصدکننده بر آن قرار گیرد، می‌تواند دقیقاً عبور مرکز قرص ماه را از مقابل مرکز قرص خورشید ببیند. از دید رصدکننده بر خط مرکزی، هلال درخشان خورشید به تدریج کوچکتر می‌شود اما جهت‌گیری آن تغییر نمی‌کند. (شکل ۳ـ۲ـ۴) در نتیجه جهت‌گیری نوارهای سایه‌ای تغییر

نمی‌کند. اما اگر رصدکننده بالاتر یا پایین‌تر از خط مرکزی باشد، به همراه کوچکتر شدن هلال خورشید، تغییر یافتن جهت آن را نیز مشاهده می‌کند. در نتیجه جهت نوارهای سایه‌ای هم تغییر می‌کند. (شکل ۳ـ۲ـ۵)



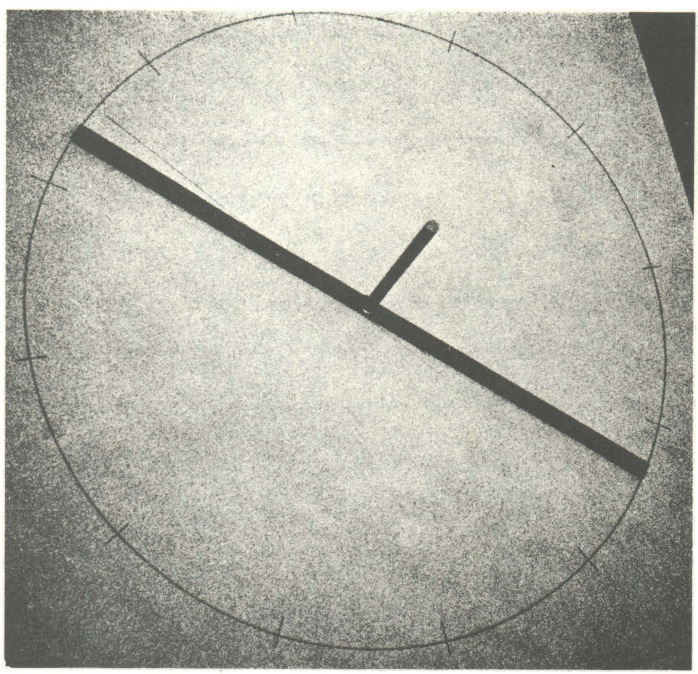
شکل ۳ـ۲ـ۴: رصدکننده روی خط مرکزی، کوچک‌تر شدن هلال خورشید را بدون تغییر جهت می‌بیند.



شکل ۳ـ۲ـ۵: تغییر جهت هلال خورشید در نزدیکی هنگام خورشیدگرفتگی کلی برای رصدکننده‌ای که در فاصلهٔ ۵۰ و ۹۰ درصد مسیر خط مرکزی تا لبهٔ تمام سایه قرار می‌گیرد.

● **زاویه سمت**

یکی از کارهای دقیق و جالب توجه اندازه‌گیری زاویهٔ جهت نوارهای سایه‌ای نسبت به جهت شمال است. (اندازه‌گیری سمت نوارها). برای این کار بر پارچه‌ای سفید، دایره‌ای با قطر یک متر رسم کنید. محیط دایره را نسبت به مرکز هر ۳۰°، درجه بندی کنید. در وسط دایره هم شاخص چوبی نصب کنید. (تصویر ۳ـ۲ـ۶) بعداً این



تصویر ۳ـ۲ـ۶: وسیله تعیین سمت حرکت نوارهای سایه‌ای

شاخص را نسبت به مرکز دایره حرکت خواهید داد و جهت‌گیری نوارهای سایه‌ای را مشخص می‌کنید. پیش از پدیدار شدن نوارهای سایه‌ای، با قطب‌نما جهت شمال را تعیین کنید و آن را بر محیط دایره علامت بزنید. هنگامی که نوارهای سایه‌ای پدیدار می‌شوند، زاویهٔ جهت آن‌ها را نسبت به شمال اندازه بگیرید و تغییرات جهت آن‌ها را ثبت کنید.

*** مشاهدهٔ حرکت تمام سایهٔ ماه**

با نزدیک‌تر شدن هنگام تماس دوم، مخروط سایهٔ ماه نزدیک می‌شود. یکی از رصدهای جالب توجه مشاهدهٔ نزدیک شدن تمام سایهٔ ماه است. سرعت حرکت تمام سایهٔ ماه بر زمین بسیار زیاد است. به ویژه در مواقعی که خورشیدگرفتگی در هنگام طلوع یا غروب آفتاب رخ می‌دهد، سرعت حرکت آن به ۸۰۰۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. (بیش از ۲ کیلومتر در ثانیه!)

پیش از تماس دوم و آغاز گرفتگی کلی، می‌توان تمام سایهٔ ماه را در آسمان و بر زمین مشاهده کرد. چون حرکت تمام سایه از سوی مغرب به مشرق است. چند ثانیه پیش از آغاز گرفتگی کلی می‌توانید آثاری از تیره‌شدن آسمان را در افق مغرب مشاهده کنید. این به دلیل نزدیک شدن تمام سایهٔ ماه است. پس از گذر آن و پایان گرفتگی کلی می‌توان ناپدید شدن تیرگی را در افق مشرق هم مشاهده کرد. البته این کار نیاز به دقت دارد.

رصد جذاب‌تر، مشاهدهٔ نزدیک شدن و دور شدن تمام سایهٔ ماه بر زمین است. برای این منظور باید مکان رصد را برفراز ارتفاعاتی بلند (مثلاً پشت بام ساختمانی بلند) انتخاب کنید. در این صورت می‌توانید چند ثانیه پیش از آغاز گرفتگی کلی، حرکت سریع تمام سایهٔ ماه و نزدیک‌شدن آن را بر مناطق کم ارتفاع پایین دست از سوی افق غربی

مشاهده کنید. پس از پایان گرفتگی کلی هم می‌توان دور شدن آن را در سوی افق مشرق دید.

جالب است بدانید که در گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ سرعت حرکت تمام سایه ماه در غرب ایران حدود ۰/۸ کیلومتر در ثانیه است.

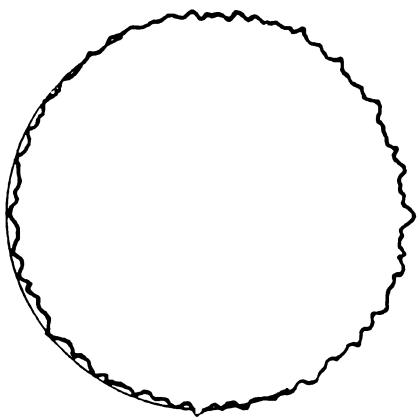
*** دانه‌های بِیلی**

با حرکت ماه از مقابل قرص خورشید به تدریج بخش روشن خورشید به صورت هلال باریک و باریک‌تری دیده می‌شود تا این که با تماس لبهٔ ماه با خورشید (تماس دوم) خورشیدگرفتگی کلی آغاز می‌شود. اگر ماه به صورت کره‌ای هموار و بدون پستی و بلندی بود، لبهٔ آن بر قرص خورشید لحظاتی پیش از تماس دوم هلالی باریک و پیوسته ایجاد می‌کرد. اما می‌دانیم که ماه دارای پستی و بلندی‌های زیادی است. پیش‌تر گفتیم که این پستی و بلندی‌ها در لبهٔ قرص ماه با تلسکوپ دیده می‌شوند. اما چند ثانیه پیش از تماس دوم قله کوه‌ها و ارتفاعات لبهٔ ماه زودتر از دیگر مناطق با لبهٔ قرص خورشید تماس می‌یابند. (شکل ۳ـ۲ـ۷) نتیجه این می‌شود که آخرین پرتوهای نور خورشید از میان درّه‌های ماه عبور می‌کنند و هلال باریک خورشید به صورت ناپیوسته و مانند دانه‌هایی روشن به نظر می‌رسد که آن‌ها را دانه‌های بیلی می‌نامند. نخستین بار در سال ۱۸۳۶ میلادی فرانسیس بیلی* اخترشناس آماتور انگلیسی این پدیده را توضیح داد.

دانه‌های بیلی از حدود نیم دقیقه پیش از گرفتگی کلی پدیدار می‌شوند. در هنگام رصد این پدیده به این موارد توجه کنید:

---

* Francis Baily



شکل ۳ـ۲ـ۷: با توجه به شکل، در این حالت دانه‌های بیلی در طرف چپ قرص خورشید تشکیل می‌شوند. لازم به تذکر است که در شکل، ارتفاعات ماه، اغراق‌آمیز رسم شده‌اند.

● **زمان آغاز پدیدار شدن دانه‌ها**

لحظهٔ آغاز پدیدار شدن دانه‌های بیلی را با دقت ثانیه ثبت کنید. در گرفتگی‌های مختلف فاصلهٔ زمانی میان پدیدار شدن دانه‌های بیلی تا گرفتگی کلی، یکسان نیست. این مسئله به دو دلیل روی می‌دهد اول

تغییر فاصلهٔ ماه از زمین است. با تغییر فاصلهٔ ماه، قطر زاویه‌ای و سرعت حرکت ماه تغییر می‌کند.

نکتهٔ دیگر حرکت‌های رخگرد ماه است. می‌دانید که ما همیشه تقریباً یک روی ماه را می‌بینیم. اما ماه حرکت‌های نوسانی جزئی دارد که اصطلاحاً آن‌ها را حرکت‌های رخگرد ماه (لیبراسیون) می‌نامند. با حرکت‌های رخگرد ماه همیشه ارتفاعات ثابتی در لبهٔ ماه قرار نمی‌گیرند. قرارگیری کوه‌هایی با ارتفاع متفاوت در لبهٔ قابل مشاهدهٔ ماه، بر پدیدار شدن دانه‌های بیلی تأثیر می‌گذارند.

● تعداد و تغییرات

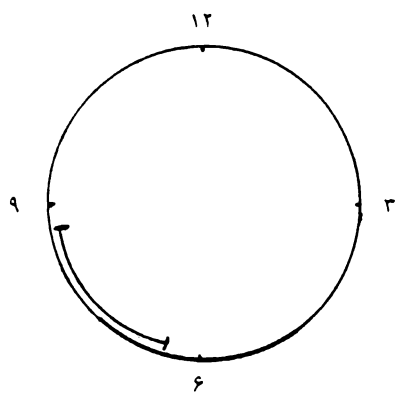
نخست، قله کوه‌های بلندتر ماه با لبهٔ قرص خورشید تماس می‌یابند. به همین دلیل هنگامی که دانه‌ها پدیدار می‌شوند، به صورت کمان‌هایی بزرگ شکل می‌گیرند. اما پس از چند ثانیه با نزدیک‌تر شدن لبهٔ قرص ماه به لبهٔ قرص خورشید، قله کوه‌های کوچکتر نیز با لبهٔ قرص خورشید تماس می‌یابند، در نتیجه دانه‌ها کوچکتر می‌شوند و تعداد آن‌ها افزایش می‌یابد. در پایان با پوشیده شدن قرص خورشید دانه‌ها از بین می‌روند.

سعی کنید از آغاز پدیدار شدن دانه‌ها، تعداد آن‌ها را بشمارید. تغییرات تعداد دانه‌ها چگونه است؟ آیا دانه‌های کمانی شکل خیلی سریع به دانه‌های کوچکتر تقسیم می‌شوند یا به کندی؟ با دوربین دو چشمی یا تلسکوپ می‌توانید تغییرات دانه‌های بیلی را دقیق‌تر بررسی کنید.اگر دسترس به دوربین فیلمبرداری ویدئویی دارید، می‌توانید با فیلمبرداری از آن‌ها تغییرات را باگذر زمان بررسی کنید.

● **پراکندگی مکان دانه‌ها در لبهٔ قرص خورشید**

با رسم شکلی مکان پدیدار شدن دانه‌ها را در نزدیکی لبهٔ قرص خورشید مشخص کنید. برای این کار می‌توانید از روش صفحه ساعت استفاده کنید. (شکل ۳ـ۲ـ۸)

قرص خورشید را مانند صفحه ساعتی فرض کنید و موقعیت دانه‌های بیلی را پیرامون آن مشخص کنید. برای مثال در شکل ۳ـ۲ـ۸ مشخص است که پراکندگی دانه‌ها از ساعت ۶:۳۰ تا ۸:۳۰ بوده است.



شکل ۳ـ۲ـ۸

*** اثر حلقهٔ الماس**

با حرکت قرص ماه در خلال چند ثانیه دانه‌های بیلی ناپدید می‌شوند. آخرین دانه یا نقطهٔ نورانی که از خورشید دیده می‌شود، به «اثر حلقهٔ الماس» معروف است. این نقطهٔ نورانی مانند نگین الماسی در حاشیه محور کم نور خورشید دیده می‌شود. شکلی کلی این پدیده شبیه حلقه‌ای با نگین الماس است! مکان اثر حلقهٔ الماس را در طرحی که رسم کرده‌اید، مشخص کنید. با از بین رفتن این آخرین پرتو، خورشیدگرفتگی کلی آغاز می‌شود و باید برای رصد پدیده‌های خورشیدگرفتگی کلی آماده شوید.

*** زمان تماس دوم**

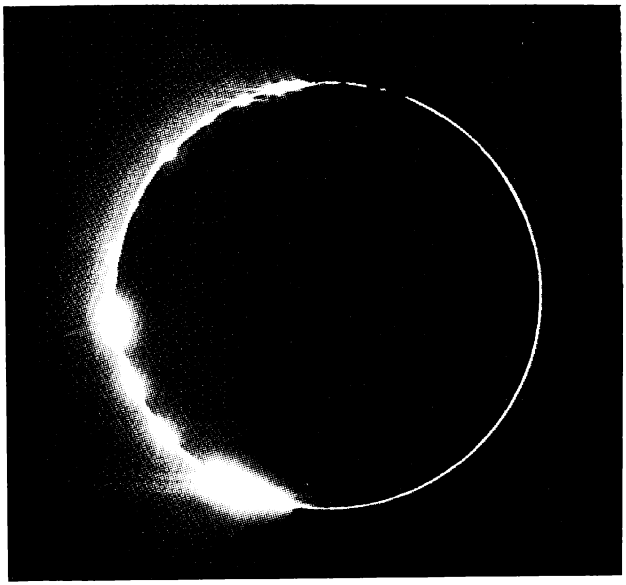
زمان از بین رفتن آخرین پرتو را با دقت ثانیه اندازه بگیرید. این لحظه بسیار اهمیت دارد. چون همان طور که گفتیم، با مشاهده محو شدن آن تماس دوم رخ می‌دهد و گرفتگی کلی آغاز می‌شود.

با پوشیده شدن قرص خورشید، آسمان به طور نسبی تاریک می‌شود. در این هنگام مشاهدهٔ پدیده‌های خورشید گرفتگی کلی با چشم غیر مسلّح و بدون فیلتر کاملاً بی‌خطر است.

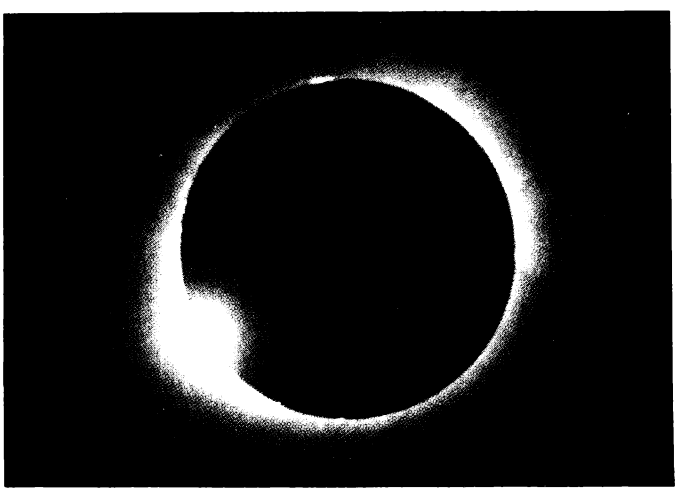
○ از تماس دوم تا تماس سوم

*** تاج خورشیدی**

جو خورشید از سه بخش تشکیل شده است: شید سپهر، فام سپهر و تاج.



دانه‌های بیلی پیش از تماس دوم در خورشیدگرفتگی کلی ۱۱ ژوئیه ۱۹۹۱



اثر حلقهٔ الماس پیش از تماس دوم

شید سپهر پایین‌ترین لایهٔ جو خورشید است. نور شدید قرص خورشید که ما مشاهده می‌کنیم به دلیل تابش شیدسپهر است. تاج بیرونی‌ترین لایهٔ جو خورشید است که بسیار رقیق و داغ است و تا دهها میلیون کیلومتر از هر طرف پیرامون خورشید گسترش دارد. درخشندگی تاج بسیار کم است و هنگام عادی به دلیل درخشندگی شدید شید سپهر دیده نمی‌شود اما در هنگام خورشیدگرفتگی کلی چون قرص درخشان خورشید پوشیده و آسمان تاریک می‌شود، می‌توان با چشم غیر مسلح تاج را به صورت هالهٔ سفید رنگی در اطراف خورشید مشاهده کرد.

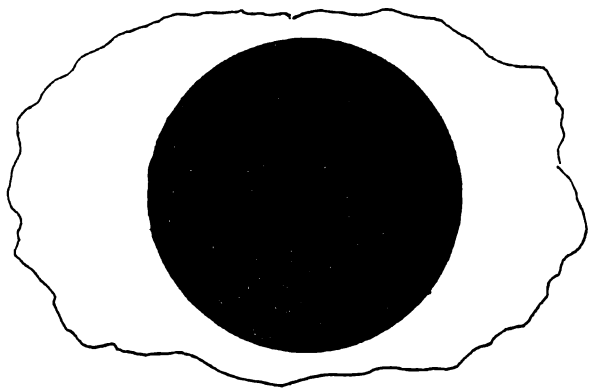
● **زمان پدیدار شدن تاج**

پس از تماس دوم، تاج به صورت هالهٔ سفید رنگی در اطراف خورشید پدیدار می‌شود. زمان پدیدار شدن تاج را با دقت ثانیه ثبت کنید.

● **شکل و گستردگی زاویه‌ای**

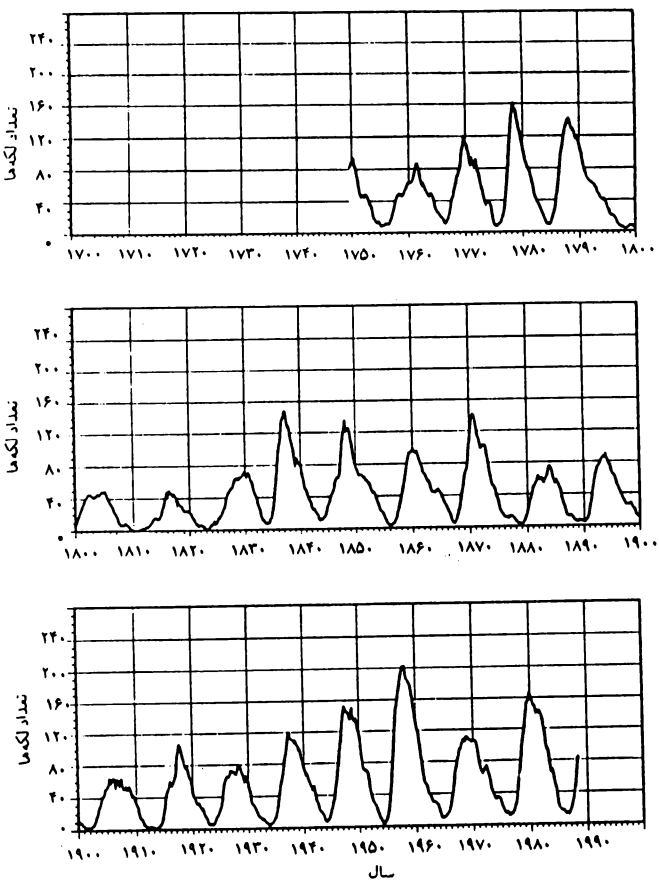
به شکل تاج خورشید توجه کنید چون شکل تاج در هر گرفتگی متفاوت است. ممکن است بخش‌هایی از تاج نسبت به دیگر بخش‌ها گسترده‌تر باشند. در برخی گرفتگی‌ها تاج به شکل طرح‌های پَر مانند واضحی دیده می‌شود.

اگر با دقت طرح تاج را رصد کنید، ممکن است در بخش‌هایی فرورفتگی‌های قابل توجهی ببینید. این بخش‌ها را حفره‌های تاجی می‌نامند. خوب است با، مداد طرحی از شکل تاج رسم کنید. (شکل ۳ـ۲ـ۹) گستردگی تاج در پیرامون خورشید در گرفتگی‌های مختلف متفاوت است. برای مثال در خورشیدگرفتگی کلی ۲۹ ژوئیه ۱۸۷۸



شکل ۳ـ۲ـ۹: طرح فرضی رسم شده با مداد از تاج در اطراف خورشید

تاج خورشیدی تا ۱۲ برابر قطر ظاهری خورشید در دو سوی خورشید گسترش داشت. در برخی گرفتگی‌ها تاج گستردگی کمی دارد. دلیل این مطلب چیست؟ بررسی‌ها حاکی از آن است که شکل و گستردگی تاج با میزان فعالیت‌های خورشیدی ارتباط دارد. خورشید فعالیت چرخه‌ای نسبتاً منظمی با دوره‌ای حدود ۱۱ سال دارد. (شکل ۳ـ۲ـ۱۰) یکی از شاخص‌های فعالیت‌های خورشید تعداد لکه‌های تیره در سطح خورشید است. هنگام اوج فعالیت‌ها، تعداد لکه‌های در سطح خورشید افزایش می‌یابد. در خورشید گرفتگی‌هایی که هنگام



شکل ۳ـ۲ـ۱۰: چرخه تعداد لکه‌های خورشیدی در خلال سال‌های ۱۷۴۹ تا ۱۹۹۸ میلادی. به طور میانگین مدت چرخهٔ فعالیت‌های خورشیدی ۱۱/۱ سال است.

بیشینهٔ (اوج) فعالیت‌های چرخه‌ای خورشید روی داده‌اند، تاج گستردگی و روشنی بیش‌تری داشته است. اما طرح‌های پر یا نوار مانند در تاج دیده نمی‌شوند. در خورشید گرفتگی‌هایی که هنگام کمینهٔ فعالیت‌های خورشید رخ داده‌اند، تاج کم نورتر بوده است، اما جزئیات ساختاری پر یا نوارهای تاج بهتر دیده می‌شوند. در خوشید گرفتگی‌هایی که در مراحل میانی چرخهٔ فعالیت‌ها رخ می‌دهند، مجموعه‌ای از هر دو ویژگی‌ها را می‌توان مشاهده کرد.

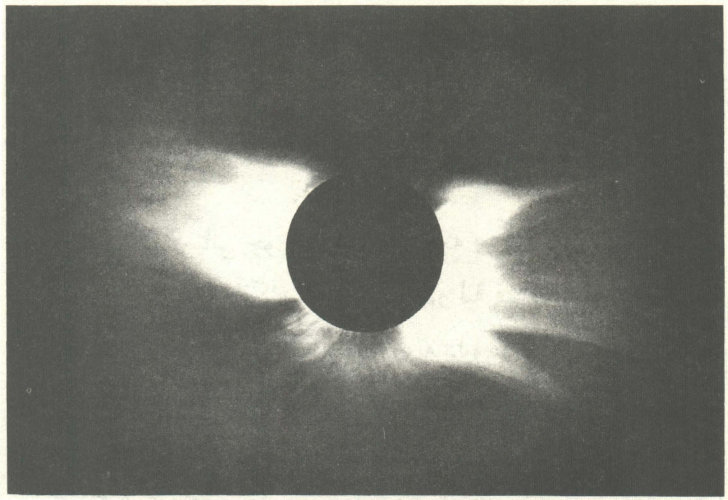
هنگام رصد تاج خورشیدی سعی کنید که گستردگی زاویه‌ای تاج را در هر سوی خورشید اندازه بگیرید. قطر زاویه‌ای خورشید تقریباً $0/5^\circ$ است و این، شاخص خوبی برای اندازه‌گیری گستردگی تاج است. البته با عکسبرداری از خورشید گرفتگی کلی می‌توان این اندازه را به نسبت قرص خورشید به طور دقیق‌تر از روی عکس محاسبه کرد.

اگر گستردگی زاویه‌ای تاج و قطر زاویه‌ای خورشید را بدانیم، از رابطهٔ زیر می‌توان گستردگی واقعی تاج را برحسب کیلومتر حساب کرد.

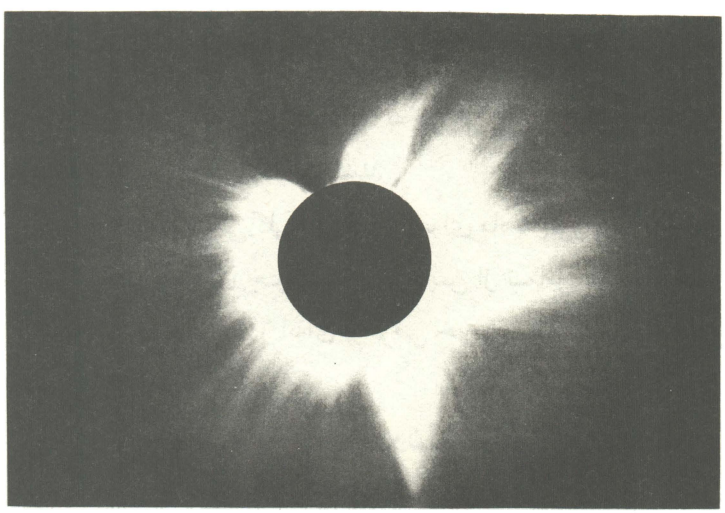
$$\text{گستردگی واقعی تاج} = \frac{\text{گستردگی زاویه‌ای تاج (درجه کمان)} \times \text{۱۳۹۲۵۳۰ کیلومتر (قطر واقعی خورشید)}}{\text{قطر زاویه‌ای خورشید (درجه کمان)}}$$

● رنگ و شدّت روشنایی

معمولاً تاج به رنگ سفید یا سفید متمایل به خاکستری دیده می‌شود. به هر حال رنگ تاج را در گزارش رصدتان بنویسید. شدت روشنایی تاج میلیونها بار کم‌تر از قرص درخشان خورشید است. در گرفتگی‌های مختلف شدت روشنایی تاج متفاوت است. میزان



خورشیدگرفتگی کلی ۳۰ ژوئن ۱۹۷۳ در نزدیکی هنگام کمینهٔ تعداد لکه‌های خورشیدی رخ داد. در این حالت تاج گستردگی کمی داشت.



خورشیدگرفتگی کلی ۷ مارس ۱۹۷۰ در نزدیکی هنگام بیشینهٔ تعداد لکه‌های خورشیدی رخ داد. در این حالت تاج گستردگی بیشتری (نسبت به عکس بالا)داشت.

فعالیت‌های خورشیدی بر روشنایی تاج اثر می‌گذارد. نکته دیگر روشنایی آسمان در هنگام گرفتگی کلی است. هر چه روشنی آسمان درهنگام گرفتگی کلی بیش‌تر باشد، تاج کم‌نورتر دیده می‌شود.

*** فام سپهر**

فام سپهر لایهٔ میانی جو خورشید است که هنگام خورشیدگرفتگی کلی به صورت هاله نازک قرمز رنگی در لبهٔ قرص پوشیده شدهٔ خورشید دیده می‌شود. رنگ قرمز آن به دلیل وجود هیدروژن آلفا در این بخش از جو خورشید است. فام سپهر هم روشنایی کمی دارد. در حالت عادی به سبب تابش شدید شید سپهر دیده نمی‌شود. هنگام خورشیدگرفتگی کلی، فام سپهر با چشم غیر مسلح دیده می‌شود اما اغلب افراد به تاج خورشیدی توجه می‌کنند و ممکن است رصد فام سپهر کم‌تر مورد توجه قرار گیرد.

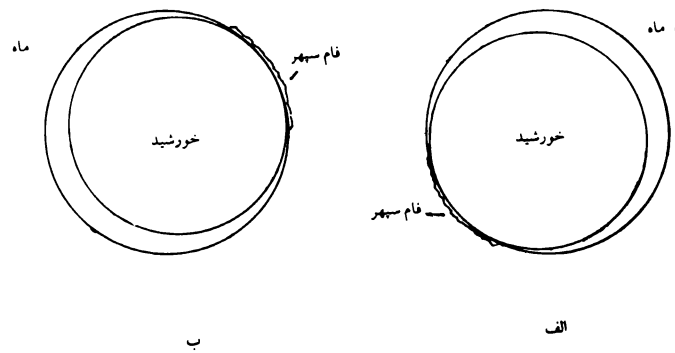
● رنگ و موقعیت فام سپهر در لبهٔ قرص خورشید

به رنگ فام سپهر توجه کنید. همان طور که گفتیم رنگ آن قرمز و تا حدودی متمایل به صورتی است. به هر حال در گزارش رصدتان رنگ فام سپهر را هم یادداشت کنید.

در خورشیدگرفتگی کلی اگر قطر زاویه‌ای ماه به طور قابل توجهی بزرگتر از قطر زاویه‌ای خورشید باشد، پس از تماس دوم و آغاز گرفتگی ابتدا فام سپهر در لبه‌ای از قرص خورشید که تماس رخ داده است، پدیدار می‌شود.

اما در لبهٔ مقابل، دیده نمی‌شود. چون در طرف مقابل،فام سپهر در پشت قرص ماه است. با حرکت ماه از مقابل قرص خورشید عکس این قضیه رخ می‌دهد (شکل ۳ـ۲ـ۱۱) اگر اختلاف قطر زاویه‌ای ماه با خوشید اندک باشد، با آغاز گرفتگی کلی می‌توان فام سپهر را یکجا

پیرامون قرص خورشید مشاهده کرد.



شکل ۳ـ۲ـ۱۱: پس از تماس دوم، فام سپهر ابتدا در لبه‌ای که تماس صورت گرفته است، پدیدار می‌شود.

● اندازه‌گیری ضخامت فام سپهر

ضخامت فام سپهر تقریباً دو تا سه هزار کیلومتر است. البته به دلیل تغییر میزان فعالیت‌های خورشیدی، ضخامت آن تغییر می‌کند. در هنگام گرفتگی کلی فرصت مناسبی است که ضخامت فام سپهر را با رصد مستقیم به دست آوریم. برای این منظور باید دو کار انجام داد. نخست زمان تماس دوم را با دقت ثانیه یا حتی دهم ثانیه اندازه بگیرید. در لحظهٔ تماس دوم فام سپهر در لبه‌ای از قرص خورشید که تماس صورت گرفته است با بیش‌ترین ضخامت دیده می‌شود. با

حرکت ماه، به تدریج فام سپهر در این بخش پوشیده می‌شود. لحظه‌ای که فام سپهر به طور کامل پوشیده می‌شود راهم ثبت کنید. با اندازه‌گیری فاصلهٔ زمانی بین دو رصد انجام شده می‌توان با استفاده از رابطهٔ زیر ضخامت فام سپهر را بر حسب کیلومتر اندازه گرفت.

$$\frac{\text{سرعت زاویه‌ای ماه (ثانیه کمانی در ثانیه)} \times \text{مدت زمان پوشیده‌شدن فام سپهر (ثانیه)}}{\text{قطر زاویه‌ای خورشید (ثانیهٔ کمان)}} \times ۱۳۹۲۵۳۰ = \text{ضخامت فام‌سپهر (قطر واقعی خورشید)}$$

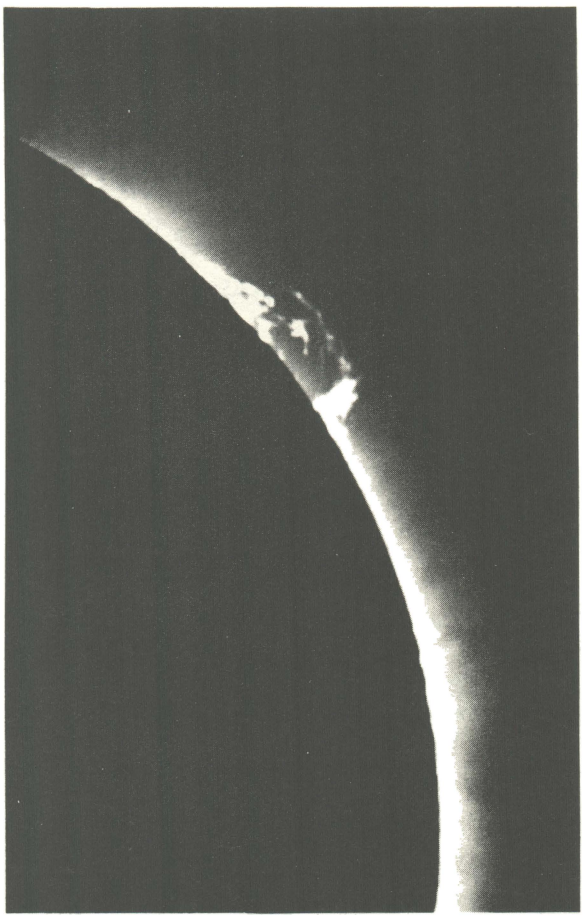
سرعت زاویه‌ای ماه و قطر زاویه‌ای خورشید را می‌توان برای زمان رصد از جدول‌های نجومی به دست آورد. در خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ سرعت زاویه‌ای ماه ۰/۴۳ ثانیهٔ کمانی در ثانیه و قطر زاویه‌ای خورشید، ۱۸۹۴ ثانیهٔ کمان است. البته این روش رصدی مربوط به هنگامی است که رصدکننده روی خط مرکزی یا نزدیک به آن باشد. یعنی مرکز قرص ماه از مقابل مرکز قرص خورشید عبور کند.

روش دیگر این است که در لحظهٔ تماس دوم، با تلسکوپ عکسی از خورشید بگیرد و به طور مستقیم از روی عکس ضخامت فام سپهر را نسبت به قرص خورشید اندازه‌گیری کنید.

*** زبانه‌های خورشیدی**

زبانه‌ها فوران‌های گازی بزرگی در فام سپهر خورشیدند. ارتفاع برخی از زبانه‌ها به چند صد هزار کیلومتر می‌رسد. هنگام خورشیدگرفتگی کلی فرصت مناسبی است تا آن‌ها را پیرامون قرص تیرهٔ خورشید ببینند.

زبانه‌ها به شکل نقاط درخشانی دیده می‌شوند. سعی کنید با چشم غیر مسلح رنگ آن‌ها را تشخیص دهید. زبانه‌ها ممکن است به رنگ قرمز، زرد یا سفید دیده شوند. موقعیت آن‌ها را هم براساس روش ساعت در پیرامون قرص خورشید مشخص و ثبت کنید. هنگام



تصویری از زبانه‌های خورشید در هنگام خورشیدگرفتگی کلی که با استفاده از تلسکوپ رصدخانهٔ لیک عکسبرداری شده‌اند.

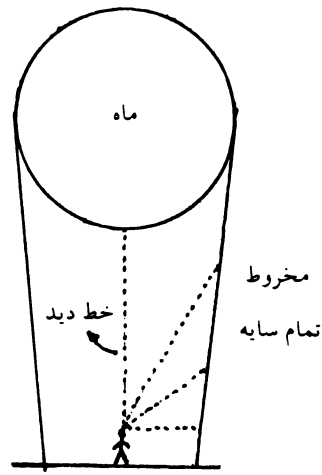
گرفتگی کلی با دوربین دوچشمی یا تلسکوپ زبانه‌ها به صورت رشته‌های گازی پیرامون قرص تیرهٔ خورشید دیده می‌شوند. معمولاً هنگام اوج فعالیت‌های چرخه‌ای خورشید تعداد زبانه‌ها بیش‌تر است. اگر هنگام گرفتگی کلی لکّه‌هایی در لبهٔ قرص خورشید باشند، ممکن است در آن نواحی زبانه‌هایی دیده شوند.

* تاریکی آسمان

هنگام خورشید گرفتگی کلی، آسمان تاریک می‌شود، اما این تاریکی مانند تاریکی شب کامل نیست.

در این هنگام، میزان تاریکی در بخش‌های مختلف آسمان متفاوت است. همان‌طوری که می‌دانید در هنگام خورشید گرفتگی کلی، مخروط تمام سایهٔ ماه بر زمین می‌افتد و برای مدت کوتاهی از روی منطقه‌ای که قرار گرفته‌اید، گذر می‌کند؛ در واقع شما برای مدتی در درون مخروط تمام سایه قرار می‌گیرید. شکل ۳ـ۲ـ۱۲ رصدکننده‌ای را در درون مخروط تمام سایه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که در هنگام گرفتگی کلی خط دید رصدکننده در جهت قرص ماه طولانی‌ترین مسیر را در درون مخروط تمام سایه طی می‌کند. با افزایش فاصلهٔ زاویه‌ای نسبت به قرص ماه، خط دید رصدکننده مسافت کم‌تری را درون تمام سایه می‌پیماید. توجه کنید که در بخش بیرونی مخروط تمام سایه، خورشید گرفتگی کلی نیست (خورشید به صورت جزئی می‌تابد) هر چه خط دید رصدکننده مسافت کم‌تری را در درون تمام سایه طی کند و به مناطق روشن در بیرون از مخروط تمام سایه برسد، نشان دهندهٔ این است که آسمان در آن بخش روشن‌تر دیده می‌شود.

در هنگام خورشید گرفتگی کلی همیشه آسمان در نزدیکی قرص تیرهٔ خورشید، تاریک‌تر از دیگر بخش‌هاست، اگر خورشید ارتفاع

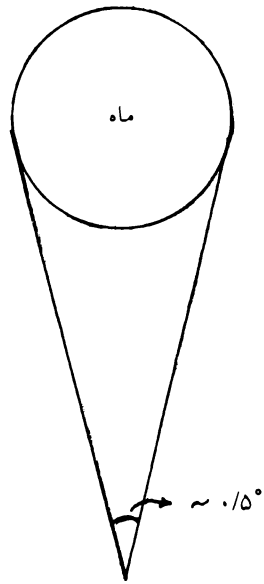


شکل ۳ـ۲ـ۱۲

قابل ملاحظه‌ای از افق داشته باشد، (مانند شکل ۳ـ۲ـ۱۲) آسمان در نزدیکی افق روشن‌تر از دیگر مناطق آسمان دیده می‌شود*. در مواردی که خورشیدگرفتگی حلقوی ـ کلی است، در ناحیه‌ای که خورشید گرفتگی از حلقوی به کلی (یا برعکس) تبدیل می‌شود، ممکن است هنگام خورشیدگرفتگی کلی آسمان مانند روز روشن باشد، چون در این موارد قلهٔ مخروط تمام سایهٔ ماه در یک نقطه با زمین تماس می‌یابد و رصد

* در برخی مواقع هنگام خورشید گرفتگی کلی، خورشید در نزدیکی افق است. در این موارد افق در نزدیکی خورشید تاریک می‌شود.

کننده فقط قرص خورشید را تیره می‌بیند و تمام آسمان روشن می‌ماند. (شکل ۳ـ۲ـ۱۳)



شکل ۳ـ۲ـ۱۳

تاریکی آسمان در هنگام خورشید گرفتگی کلی به عوامل زیر ارتباط دارد:

۱. اندازهٔ مخروط تمام سایه

هر چه ماه به زمین نزدیک‌تر باشد، مخروط تمام سایهٔ آن بزرگ‌تر، در نتیجه تاریکی آسمان بیش‌تر می‌شود.

۲. شکل قرارگیری مخروط تمام سایه نسبت به صفحه افق ناظر

اگر خورشید گرفتگی کلی در نزدیکی افق ناظر رخ دهد، مخروط تمام سایه به طور مایل به زمین برخورد می‌کند و شکل مقطع مخروط

بر سطح زمین مانند بیضی کشیده‌ای خواهد شد. اگر خورشیدگرفتگی در بالای سر رُخ دهد، مخروط به طور قائم با زمین برخورد می‌کند و مقطع آن دایره‌ای شکل می‌شود. شکل قرارگیری مخروط تمام سایه نسبت به افق ناظر، اهمیت به سزایی در روشنی یا تاریکی بخشهای مختلف آسمان دارد.

۳. دوری یا نزدیکی از خط مرکزی گرفتگی

مقطع مخروط بر زمین در هر منطقه پهنای مشخص دارد.

اگر رصدکننده در لبه یا مرکز مقطع مخروط قرارگیرد، خورشید گرفتگی را کلی می‌بیند، اما کسانی که در مرکز مسیر حرکت مخروط تمام سایه (خط مرکزی گرفتگی) باشند، از چند جهت وضعیت رصدی بهتری دارند:

۱. مدت زمان گرفتگی کلی را طولانی‌تر مشاهده می‌کنند. چون مرکز قرص ماه دقیقاً از مقابل مرکز قرص خورشید عبور می‌کند.

۲. تاریکی آسمان در خط مرکزی گرفتگی بیش‌تر است، چون رصدکننده در میان مقطع مخروط بر سطح زمین قرار می‌گیرد.

در رصد تاریکی آسمان در هنگام خورشیدگرفتگی کلی به نکات زیر توجه کنید:

اول این که رنگ و روشنی بخش‌های مختلف آسمان را در گزارشتان یادداشت کنید. در بعضی مواقع آسمان چندان تاریک نمی‌شود و به رنگ آبی تیره در می‌آید.

ممکن است در نزدیکی افق، آسمان را روشن و نارنجی رنگ مشاهده کنید. (شبیه وضعیتی که پس از غروب آفتاب دیده‌اید) در بعضی موارد طرح‌های نامنظمی از روشنی و تاریکی در آسمان دیده می‌شوند. با حرکت سریع تمام سایهٔ ماه، ممکن است در خلال

گرفتگی کلی،در طی چند ثانیه تاریکی یا روشنی آسمان به سرعت در طی چند ثانیه تغییر کند، از این رو در رصد این پدیده دقت بیش‌تری به خرج دهید.

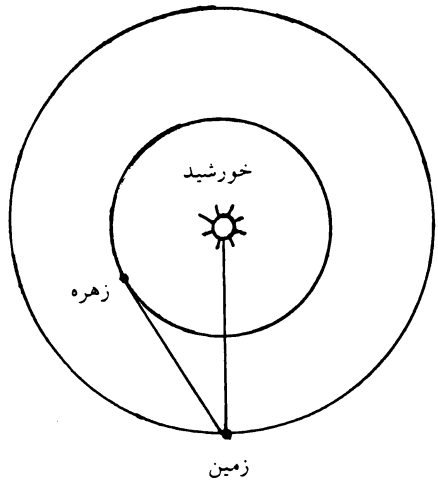
*** مشاهده ستاره‌ها و سیّارات**

اگر آسمان تاریک شود مطمئناً مشاهدهٔ ستاره‌ها و سیارات با چشم ممکن می‌شود. سعی کنید ستاره‌های پُرنور آسمان و سیارات را هنگام گرفتگی کلی بیابید. برای این منظور باید با صورت‌های فلکی آشنا شوید و مکان ستاره‌های پرنور آن‌ها را از پیش بشناسید. به هر حال منظرهٔ آسمان در هنگام خورشید گرفتگی کلی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ در ایران در صفحه ۱۲۸ آمده است.

کار عملی دقیق‌تر این است که قدر ظاهری کم نورترین ستاره‌هایی را که در خلال خورشید گرفتگی کلی دیده شدند، تخمین بزنید. توضیحاتی دربارهٔ مفهوم قدر ظاهری در پیوست ـ ۲ آمده است.

سیارات عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند. هنگام خورشید گرفتگی کلی هم اگر این سیارات از افق ارتفاع قابل ملاحظه‌ای داشته باشند و آسمان هم به اندازهٔ کافی تاریک شود می‌توان آن‌ها را یافت. رصد سیارات مریخ، مشتری و زحل چندان جالب توجه نیست. چون آن‌ها را در شب نیز به آسانی می‌توان دید! در این میان، رصد سیارت زهره و به ویژه عطارد جالب توجه است. این سیارات از زمین به خورشید نزدیک‌تر و مدار گردش آن‌ها در درون مدار زمین قرار دارد.

نتیجه این می‌شود که نمی‌توان سیارات عطارد و زهره را در هر جای آسمان یافت و حداکثر به جدایی زاویه‌ای (کشیدگی) مشخصی نسبت به خورشید می‌رسند. (شکل ۳ـ۲ـ۱۴) بیشینهٔ کشیدگی سیارهٔ



شکل ۳-۲-۱۴

عطارد ۲۸° و زهره ۴۷° است. با توجه به این زوایه‌های کشیدگی مشخص است که عطارد و زهره همیشه در آسمان صبحگاهی یا شامگاهی نزدیک خورشید دیده می‌شوند. رصد عطارد دشوارتر از زهره است چون زاویهٔ کشیدگی آن کم‌تر است، مشاهدهٔ آن به سبب نور شدید خورشید و اثر جو در نزدیکی افق معمولاً آسان نیست. در هنگام خورشیدگرفتگی کلی فرصتی استثنایی برای رصد آن‌هاست و البته موقعی می‌توان عطارد و زهره را به آسانی مشاهده کرد که هنگام خورشید گرفتگی، خورشید ارتفاع زیادی از افق داشته باشد. به هر حال اگر شرایط رصد عطارد مناسب باشد ممکن است آن را مانند درخشان‌ترین ستاره‌هایی که در آسمان شب با چشم دیده‌اید، مشاهده کنید.

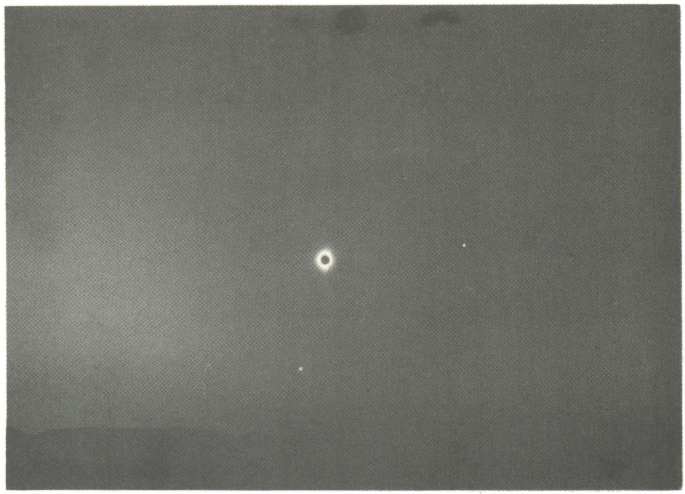
*** ثبت زمان تماس سوم**

تمام پدیده‌هایی که بر شمردیم در خلال مدت زمان گرفتگی کلی قابل بررسی‌اند. با حرکت ماه از مقابل قرص خورشید، سرانجام هر خورشید گرفتگی کلی پایان می‌یابد. خورشید گرفتگی کلی با درخششی در لبهٔ قرص تیرهٔ خورشید پایان می‌یابد. در این لحظه نخستین پرتوهای نور خورشید از میان پستی و بلندی‌هایی ماه به ما می‌رسند. (اثر حلقهٔ الماس) سعی کنید لحظهٔ تماس سوم را با دقت ثانیه یا حتی دقیق‌تر ثبت کنید. با دانستن زمان تماس دوم و سوم می‌توان مدت زمان خورشید گرفتگی کلی را به دست آورد. همان‌طور که پیش‌تر گفتیم طولانی‌ترین مدت زمان خورشید گرفتگی کلی به ۷ دقیقه و ۳۱ ثانیه می‌رسد. برای رخ دادن این حالت باید پنج شرط برقرار باشند. اول، این که رصدکننده در استوا باشد. دوم، زمان میانی گرفتگی کلی در هنگام ظهر ناظر رخ دهد. سوم، زمین در دورترین فاصله از خورشید باشد. چهارم، ماه در نزدیک‌ترین فاصله از زمین باشد پنجم، مرکز قرص ماه دقیقاً از مقابل مرکز قرص خورشید عبور کند.

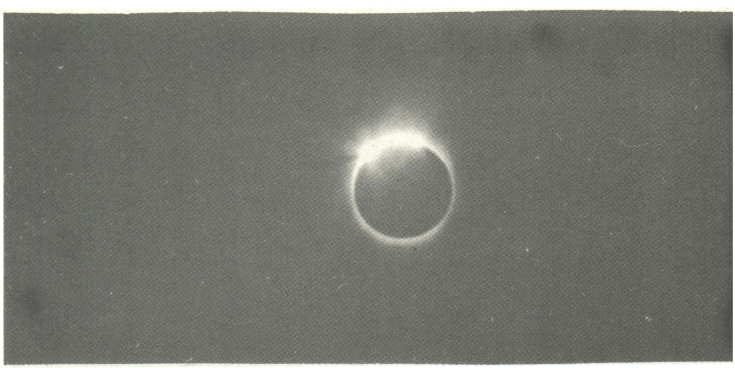
○ از تماس سوم تا تماس چهارم

*** اثر حلقهٔ الماس**

همان‌طور که پیش‌تر گفتیم اثر حلقهٔ الماس پدیده‌ای است که پیش از تماس دوم دیده می‌شود و با ناپدید شدن آن خورشید گرفتگی کلی آغاز می‌شود. اما پس از تماس سوم هم دوباره اثر حلقهٔ الماس پدیدار می‌شود. اثر حلقهٔ الماس پس از تماس سوم درخشان‌تر از اثر حلقهٔ الماس پیش از تماس دوم است. علت این است که هنگام



خورشیدگرفتگی کلی ۲ آبان ۱۳۷۴ در روستای فورگ.در عکس مشخص است که روشنی آسمان در نزدیکی افق بیشتر است. این عکس با استفاده از عدسی تلهٔ ۵۰ میلی‌متری با f/۱۱ ، ۱/۶۰ ثانیه نوردهی و فیلم فوجی ۱۰۰ به دست آمده است.
عکس از: شاهین پیروزگر



اثر حلقهٔ الماس پس از تماس سوم در خورشیدگرفتگی کلی ۲ ابان ۱۳۷۴ در روستای فورگ، این عکس با استفاده از عدسی تلهٔ ۲۰۰ میلی‌متری با f/۴ ، ۱ ثانیه نوردهی و فیلم کونیکا ۱۰۰ به دست آمده است. عکس از: محمدرضا زمان‌ثانی

خورشید گرفتگی کلی، آسمان تاریک می‌شود و به همین سبب مردمک چشم ما (نسبت به پیش از آغاز گرفتگی) گشودگی بیش‌تری می‌یابد، در نتیجه اثر حلقهٔ الماس را پس از تماس سوم درخشان‌تر می‌بینیم. اما بررسی‌هایی که با روش عکس‌برداری انجام شده است، حاکی از آن است که درخشش بیش‌تر حلقهٔ الماس پس از تماس سوم فقط به این دلیل نیست، بلکه وضعیت پستی و بلندی‌های لبهٔ ماه نیز در این پدیده نقش دارند.

مکان درخشش حلقهٔ الماس را مانند پیش، در پیرامون قرص خورشید رصد و ثبت کنید. با پدیدار شدن اثر حلقهٔ الماس، دیگر نمی‌توان خورشید را با چشم غیر مسلح، بدون فیلتر رصد کرد، و دوباره باید نکات ایمنی را رعایت کرد.

*** ناپدید شدن تاج خورشیدی**

ظاهر شدن دانه‌های بیلی و نوارهای سایه‌ای

لحظاتی پس از تماس سوم، تاج خورشیدی تحت تأثیر درخشندگی خورشید ناپدید می‌شود. لحظهٔ ناپدید شدن تاج خورشیدی را ثبت کنید.

دوباره دانه‌های بیلی نیز پدیدار می‌شوند، اگر چه مشاهدهٔ آن‌ها پس از تماس سوم به دلیل درخشندگی بیش‌تر حلقهٔ الماس دشوارتر است. پس از تماس سوم تا حدود دو دقیقه نوارهای سایه‌ای دوباره مشاهده می‌شوند. به تدریج قرص ماه از مقابل قرص خورشید کنار می‌رود و مراحل گرفتگی جزئی رخ می‌دهند تا این‌که با تماس چهارم گرفتگی پایان می‌یابد. توجه داشته باشید که لحظهٔ تماس چهارم را هم با دقت زیاد ثبت کنید.

برخی پدیده‌های جنبی خورشید گرفتگی

*** بررسی تغییرات دما**

یکی از کارهای جالب توجّهی که می‌توانید در کنار رصد پدیده‌های خورشید گرفتگی انجام دهید، بررسی تغییرات دماست. البته بررسی تغییرات، باید پیش از خورشید گرفتگی کلی آغاز شود. هنگامی که درصد تیرگی قرص خورشید به حدود ۶۰ درصد می‌رسد، تغییر در روشنی محیط و دما محسوستر می‌شود. با دماسنج ساده‌ای می‌توان از پیش از گرفتگی کلی تغییرات دما را ثبت کرد. حتی می‌توانید نموداری از تغییرات دما نسبت به زمان رسم کنید. معمولاً کاهش دما در خلال خورشید گرفتگی چندان زیاد نیست و ممکن است به حدود ۲ تا ۳ درجهٔ سانتیگراد برسد.

جو زمین، گرمای خورشید را به مقدار زیادی حفظ می‌کند. به همین دلیل در شب، افت دما نسبت به روز چندان زیاد نیست.

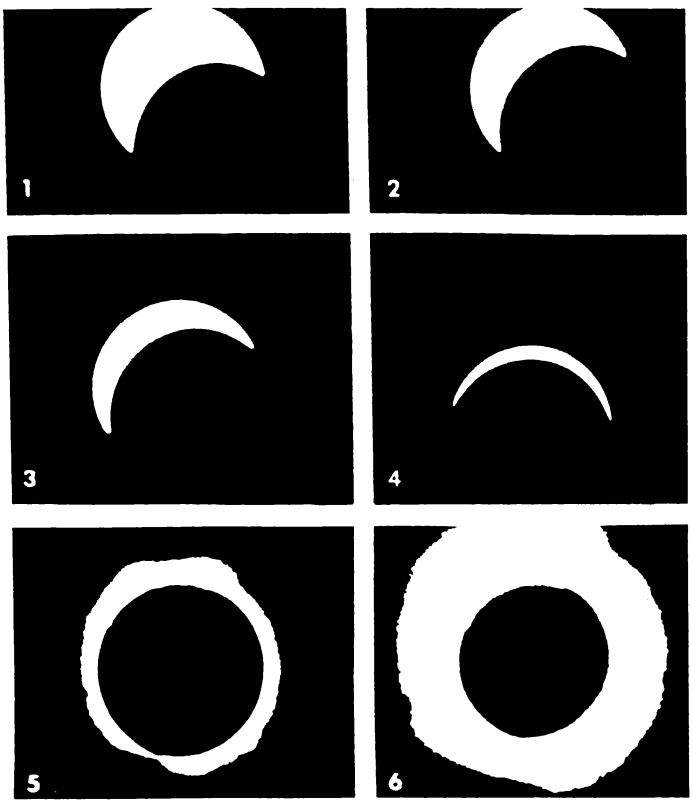
*** واکنش گیاهان و جانوران**

برخی از گیاهان و جانوران در هنگام گرفتگی کلی واکنشهای عجیبی نشان می‌دهند. پرنده‌ها به طرف لانه‌هایشان پرواز می‌کنند. زنبورها سردرگم می‌شوند. برخی از گلها، گلبرگهایشان را می‌بندند. و حتّی ممکن است خفاشها در آسمان به پرواز درآیند! برای مدت کوتاهی این پدیده‌ها دیده می‌شوند و دوباره همه چیز به حالت عادی باز می‌گردد.

جدول ترتیب پدیده‌های رصدی خورشید گرفتگی کلی

با پدیده‌های رصدی خورشید گرفتگی کلی آشنا شدید. در این جا موارد رصدی بحث شده را به ترتیب آورده‌ایم. تا دیدگاه کاملی یکجا

نسبت به مجموعهٔ آنها و ترتیب رخ دادن آنها بیابید.
ثبت زمان تماس اوّل (گرفتگی جزئی آغاز می‌شود)
افزایش تیرگی قرص خورشید
هلالی شدن خورشید
تاریکی تدریجی
نوارهای سایه‌ای (۱ تا ۲ دقیقه پیش از گرفتگی کلی)
دانه‌های بیلی (نیم دقیقه پیش از گرفتگی کلی)
نزدیک شدن تمام سایه ماه از سوی مغرب
اثر حلقه الماس
ثبت زمان تماس دوّم (آغاز گرفتگی کلی)
تاج خورشیدی
زبانه‌های خورشیدی
فام سپهر
وضعیّت روشنی و تاریکی آسمان
مشاهدهٔ ستاره‌ها و سیّارات
واکنشهای گیاهان و جانوران
کاهش دما
ثبت زمان تماس سوّم (پایان گرفتگی کلی)
اثر حلقهٔ الماس
از میان رفتن تاج
دور شدن تمام سایه ماه به سوی مشرق
دانه‌های بیلی
نوارهای سایه‌ای
روشنی تدریجی آسمان



مراحل خورشیدگرفتگی جزئی تا کلی در ۷ مارس ۱۹۷۰ در ساحل شرقی آمریکا

کاهش تیرگی قرص خورشید
شکلهای هلالی خورشید
ثبت زمان تماس چهارم (پایان گرفتگی جزئی)
امکانات رصدی: پروژکتور سوراخ‌دار
دوربین دو چشمی یا تلسکوپ: برای ثبت زمان تماسها و برای رصد دقیقتر دانه‌های بیلی و زبانه‌ها
دوربین عکاسی به همراه سه‌پایه

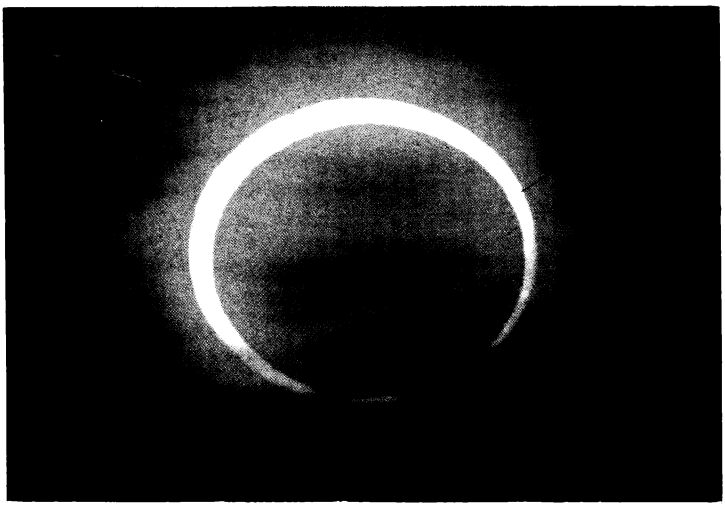
خورشید گرفتگی حلقوی

خورشید گرفتگی حلقوی را می‌توان نوعی خورشید گرفتگی جزئی دانست. ممکن است در مواقعی قطر زاویه‌ای ماه نسبت به خورشید کوچکتر باشد*، در این موارد اگر مرکز قرص ماه از مقابل مرکز قرص خورشید بگذرد، قرص ماه به طور کامل قرص خورشید را نمی‌پوشاند. در نتیجه بخشی از قرص درخشان خورشید به صورت حلقه‌ای در اطراف دیده می‌شود؛ به همین دلیل این گونهٔ گرفتگی را خورشید گرفتگی حلقوی می‌نامند. در شکل (۳ـ۵ـ۱) تماس اوّل تا چهارم را در خورشید گرفتگی حلقوی می‌بینید. در رصد خورشید گرفتگی حلقوی باید نکات ایمنی مشاهده راحتی در هنگام گرفتگی حلقوی رعایت کرد. حتماً در رصد از فیلترهای مناسبی که پیشتر نام بردیم، استفاده کنید.

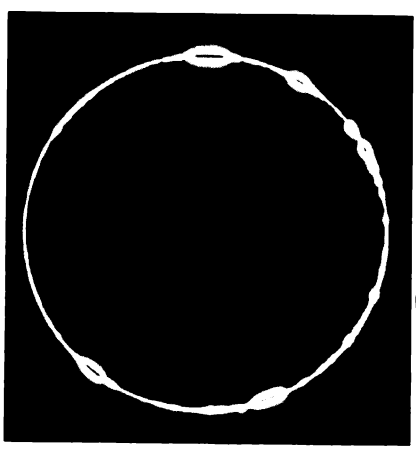
تمام پدیده‌هایی که در رصد گرفتگی جزئی برشمردیم در گرفتگی حلقوی نیز قابل بررسی‌اند.

---

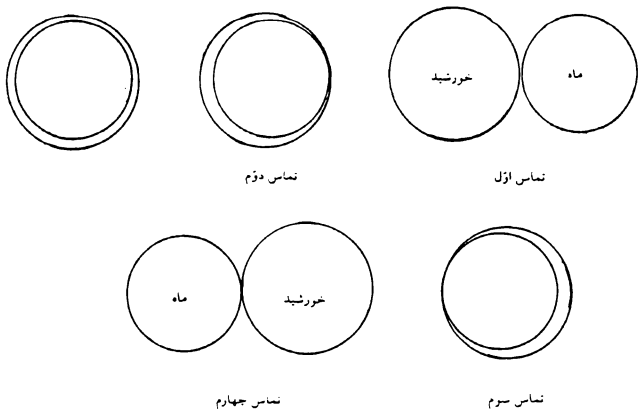
* برای مثال در حالتی که ماه در دورترین فاصله از زمین (اوج) و زمین در نزدیکترین فاصله از خورشید (حضیض) باشد.



خورشیدگرفتگی حلقوی در ۴ ژانویه ۱۹۹۲ در کالیفرنیا. آندره بُرمانیس با تلسکوپ ۳/۵ اینچی، f/۱۶ و فیلم فوجی این عکس را تهیه کرده است.



دانه‌های بیلی در خورشیدگرفتگی حلقوی ۲۸ آوریل ۱۹۳۰
(عکس از رصدخانه لیک)



شکل ۳ـ۵ـ۱

افزون برآن، برخی از پدیده‌های گرفتگی کلی (مانند دانه‌های بیلی و نوارهای سایه‌ای) را هم می‌توان در گرفتگی حلقوی مشاهده کرد.

البتّه خورشید گرفتگیهای حلقوی عمدتاً از لحاظ زیباییهای رصدی اهمیّت دارند و به اندازهٔ خورشید گرفتگی کلی اهمیّت علمی ندارد.

*** نوارهای سایه‌ای**

اگر اختلاف اندازهٔ قطر زاویه‌ای ماه و خورشید زیاد نباشد و وضعیّت گرفتگی حلقوی، نزدیک به گرفتگی کلی باشد، می‌توان نوارهای سایه‌ای را به صورت مبهم و آشفته (مانند دود) مشاهده کرد. البتّه چون تاریکی آسمان هنگام گرفتگی حلقوی به اندازهٔ گرفتگی کلی نیست، نوارهای سایه‌ای واضح دیده نمی‌شوند.

*** دانه‌های بیلی**

در گرفتگی حلقوی، دانه‌های بیلی هم دیده می‌شوند، امّا تشخیص آنها تحت تأثیر درخشندگی زیاد قرص خورشید دشوارتر است. هرچه قطر زاویه‌ای ماه نسبت به خورشید کوچکتر باشد، تعداد و گسترش دانه‌های بیلی در لبهٔ قرص خورشید کمتر می‌شود و از طرفی حلقهٔ روشن نیز در پیرامون، ضخیمتر و درخشانتر دیده می‌شود.

به خاطر داشته باشید که برای مشاهدهٔ دانه‌های بیلی حتماً از فیلتر مناسب استفاده کنید.

*** مدّت زمان خورشید گرفتگی حلقوی**

با ثبت زمان تماس دوّم و سوّم می‌توان مدّت خورشید گرفتگی حلقوی را به دست آورد. بیشترین مدت زمان خورشید گرفتگی حلقوی (حالتی که خورشید به صورت حلقه دیده شود) ممکن است به حدود ۱۲ دقیقه برسد. برای رخ دادن این حالت باید پنج شرط برقرار باشد. اوّل اینکه زمین در نزدیکترین فاصله از خورشید باشد. دوّم، ماه در دورترین فاصله از زمین قرار گیرد. سوّم، رصدکننده در استوا خورشید گرفتگی را ببینید. چهارم، زمان میانی خورشید گرفتگی حلقوی در هنگام ظهر ناظر رخ دهد. پنجم، مرکز قرص ماه دقیقاً از مقابل مرکز قرص خورشید عبور کند.

فصل ۴

گزارش نویسی از رصد خورشیدگرفتگی

بسیاری از رصدهای نجومی را تک و تنها هم می‌توان، انجام داد. خورشیدگرفتگی را نمی‌توان این طور رصدکرد. در بخش پیشین با پدیده‌های رصدی خورشیدگرفتگی جزئی، کلی و حلقوی آشنا شدید. تعداد پدیده‌های رصدی زیاد است و خوشبختانه اغلب این پدیده‌ها را می‌توان با چشم غیرمسلّح رصدکرد. برای رصد همهٔ آنها باید رصدکنندگان گروههایی را تشکیل دهند و با برنامه‌ریزی، هرگروه پدیده‌های مشخّصی را بررسی کنند.

رصد خورشیدگرفتگی باید باگزارش‌نویسی همراه باشد، چون با بررسی گزارشها می‌توان دانسته‌های ارزشمندی را دربارهٔ گرفتگی به دست آورد. گزارشی مناسب و ارزشمند است، که اطّلاعات آن به صورتی منظم و سازمان یافته تنظیم شده باشد. برای این منظور جدولهای ۱ تا ٦ تنظیم شده‌اند. هرکدام از این جدولها موارد رصدی پدیده‌ای مشخّص را در خود جا داده‌اند. می‌توانید رصد هرکدام از این پدیده‌ها را به گروهی دو یا سه نفره بسپارید. بهتر

است برنامه‌ریزی و تقسیم کار یک یا دور روز پیش از خورشید گرفتگی انجام شود. در پایان، با جمع‌آوری فرمها مجموعه‌ای از اطّلاعات ارزشمند دربارهٔ خورشید گرفتگی به دست می‌آید. از همین حالا برای رصد خورشید گرفتگی کلی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ آماده شوید!

در ۲ آبان ۱۳۷۴ خورشید گرفتگی کلی رخ داد که آغاز آن در ایران بود. مسیر گرفتگی کلی از نزدیکی قم آغاز شد و از شهرهای طبس و بیرجند گذشت. در آغاز مدت زمان گرفتگی کلی ۱۶ ثانیه و پهنای مسیر تمام سایه ۱۶ کیلومتر بود. در مرز ایران با افغانستان مدّت زمان گرفتگی کلی به حدود ۲۷ ثانیه و پهنای مسیر به ۲۵ کیلومتر رسید. گروهی از دانشجویان فیزیک دانشگاه گیلان و مربیّان کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان استان گیلان در ۹ کیلومتری شمال شرقی بیرجند به رصد خورشید گرفتگی پرداختند.

افراد گروه با تقسیم کار در میان خود، اطّلاعات با ارزشی را از رصد خورشید گرفتگی ۲ آبان ۱۳۷۴ گردآوری کردند. این اطّلاعات در جدولها تنظیم شده‌اند. البتّه برخی از موارد رصدی انجام نشده‌اند که در جای آنها خط تیره دیده می‌شود. در بخش پایانی آنها طرحی از موقعیّت خورشید در هنگام گرفتگی کلی بر فراز افق شرقی رسم کرده‌اند.

شما هم می‌توانید چنین طرحی را از خورشید هنگام گرفتگی کلی رسم کنید. اگر شمار رصدکنندگان زیاد باشد، می‌توان با تقسیم کار، طرحهایی از روشنی، تاریکی و رنگ آسمان، در افقهای مختلف (شمالی، جنوبی، شرقی و غربی) رسم کرد.

* تاریخ: ۲ آبان ۱۳۷۴
* گونه ابزار: دوربین تک چشمی ۶۰ × ۲۰ و تسلکوپ ۳/۵ اینچی بازتابی
* نام رصدکنندگان: گروهی از دانشجویان فیزیک دانشگاه گیلان و مربیان کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان
* مکان رصد: ۹ کیلومتری شمالی شرقی بیرجند
* شرایط رصدی: آسمان صاف و بدون غبار
* مختصات مکان رصد: طول ° ۵۹ و ′ ۹ شرقی و عرض جغرافیایی ° ۳۲ و ′ ۵۶ شمالی

زمان تماس اوّل	تماس دوّم	تماس سوّم	مدت زمان گرفتگی کلی	تماس چهارم	بیشینهٔ درصد تیرگی	قدر گرفتگی
هنگام تماس اوّل خورشید طلوع نکرده بود	ثانیه:دقیقه:ساعت ۶:۲۳:۱۹	ث : د : س ۶:۲۳:۴۱	۲۲ ثانیه	ث : د : س ۷:۳۰:۱۷	۱۰۰ درصد	—

نوارهای سایه‌ای	هنگام پدیدار شدن	هنگام ناپدید شدن	اندازه نوارها برحسب سانتی‌متر	سرعت حرکت	جهت‌گیری	سمت حرکت	توضیحات
پیش از تماس دوّم	ث : د : س ۶:۲۱:۴۸	ث : د : س ۶:۲۲:۲۱	—	—	از شمال	—	—
پس از تماس سوّم	ث : د : س ۶:۲۴:۲۶	ث : د : س ۶:۲۵:۰۹	—	—	به جنوب	—	—

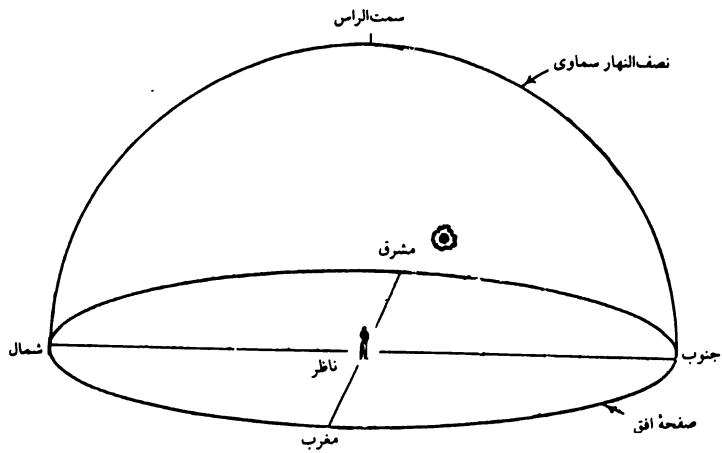
		پیش از تماس دوّم			
دانه‌های بیلی و اثر حلقهٔ الماس	هنگام پدیدار شدن دانه‌های بیلی	تعداد و توضیح دربارهٔ تغییرات	پراکندگی در لبهٔ قرص خورشید (روش ساعت)	هنگام پدیدار شدن اثر حلقهٔ الماس	مکان نگین حلقهٔ الماس
	ث : د : س ۶:۲۳:۱۰	در آغاز حدود ۸ دانه		ث : د : س ۶:۲۳:۱۸	
		پس از تماس سوّم			
	هنگام پدیدار شدن اثر حلقه	مکان نگین حلقه‌الماس	هنگام ناپدید شدن دانه‌های بیلی	پراگندگی دانه‌ها در لبهٔ قرص خورشید	تعداد و توضیح دربارهٔ تغییرات
	ث : د : س ۶:۲۳:۴۱		—	—	نسبت به پیش از تماس دوّم شمار کمتری داشتند

فام سپهر و زبانه‌ها	رنگ‌فام سپهر	موقعیّت زبانه‌ها در لبهٔ قرص خورشید (روش ساعت)	رنگ زبانه‌ها
	ترمز متمایل به صورتی	با چشم غیر مسلّح:	ترمز متمایل به صورتی

تاج	هنگام پدیدار شدن تاج	شکل	رنگ	شدّت روشنایی	بیشترین گستردگی زاویه‌ای نسبت به لبهٔ خورشید	هنگام ناپدید شدن تاج
	۳ ثانیه پس از تماس دوّم	نسبت به قرص خورشید در ساعت ۶ و ۱۲ گسترش بیشتری داشت.	سفید	در نزدیکی خورشید بیشتر از اطراف	حدود $0/5^{\circ}$ از لبهٔ قرص خورشید	پس از حلقهٔ الماس (تماس سوم)

حد قدر، مشاهدهٔ ستاره‌ها و سیارات، تاریکی آسمان	حدّ قدر قابل مشاهده	نام برخی از ستاره‌های پرنوری که دیده شدند	سیّاراتی که دیده شدند	روشنی و تاریکی آسمان و تغییرات آن در خلال گرفتگی کلی
	۱/۵-	فقط ستارهٔ شعرای یمانی از قدر ۱/۵- دیده شد.	هیچکدام از سیاراتی که در آسمان بودند، دیده نشدند	آسمان در خلال گرفتگی کلی چندان تاریک نشد (وضعیتی شبیه آسمان سه‌ربع پیش از طلوع آفتاب) آسمان در نزدیکی خورشید تیره‌تر بود و در نزدیکی افق نارنجی دیده می‌شد.

* توضیح: رصدها عمدتاً با چشم غیر مسلحّ انجام شدند. فقط رصد تماسها و دانه‌های بیلی با تلسکوپ و دوربین نیز صورت گرفتند.



سمت خورشید هنگام گرفتگی کلی: ۱۰۹°
ارتفاع خورشید: ۷°

فصل ۵

چگونه از خورشیدگرفتگی عکس بگیریم؟

برای انجام دادن عکاسی از پیش باید با چند مفهوم آشنا شوید.

۱) فاصلهٔ کانونی عدسی دوربین

یکی از مهمترین ویژگیهای هر دوربین فاصلهٔ کانونی عدسی آن دوربین است. یعنی عدسی دوربین در چه فاصله‌ای نور رسیده را کانونی می‌کند. فاصلهٔ کانونی عدسی دوربینهای معمولی ۵۰ میلی‌متر است. هر اندازه فاصلهٔ کانونی دوربین بزرگتر باشد، زاویهٔ میدان دید دوربین کوچکتر می‌شود، و جسم مورد مشاهده بزرگتر دیده می‌شود. (جدول ۵ـ۱) عدسیها یا لنزهای تله فاصلهٔ کانونی بزرگتری نسبت به عدسیهای معمولی دارند.

۲) دیافراگم

در بسیاری از دوربینهای عکاسی میزان ورود نور را می‌توان تنظیم کرد. برای این منظور دریچه‌ای در پشت عدسی دوربین کار گذاشته‌اند که قطر سوراخ این دریچه را می‌توانید تنظیم کنید. معمولاً بر دوربینها عددهایی را از ۱/۷ یا ۲ تا ۲۲ مشاهده می‌کنید. این عددها نشان

جدول ۵ـ۱، مشخصات اندازهٔ میدان دید دوربین‌هایی با فاصله کانونی‌های مختلف و اندازهٔ خورشید بر روی فیلم ۳۵ میلی‌متری را نشان می‌دهد.

فاصلهٔ کانونی	اندازهٔ میدان دید	اندازهٔ خورشید
۲۸ میلی‌متر	$49^\circ \times 74^\circ$	۰/۲ میلی‌متر
۳۵	۳۹×۵۹	۰/۳
۵۰	۲۷×۴۰	۰/۵
۱۰۵	۱۳×۱۹	۱
۲۰۰	۷×۱۰	۱/۸
۴۰۰	۳/۴×۵/۱	۳/۷
۵۰۰	۲/۷×۴/۱	۴/۶
۱۰۰۰	۱/۴×۲/۱	۹/۲
۱۵۰۰	۰/۹×۱/۴	۱۳/۸
۲۰۰۰	۰/۷×۱	۱۸/۴

دهندهٔ اندازهٔ گشودگی دیافراگم هستند. و معمولاً آنها را به صورت f/۲ ... تا f/۲۲ می‌نویسند. هر قدر عدد f بزرگتر باشد، اندازهٔ دریچهٔ دیافراگم کوچکتر می‌شود و مقدار نور کمتری به فیلم می‌رسد. عدد f از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{نسبت کانونی (عدد f)} = \frac{\text{فاصلهٔ کانونی عدسی}}{\text{قطر عدسی}}$$

۳) سرعت

برای عکسبرداری باید قطر سوراخ دریچه دیافراگم و سرعت باز و بسته شدن آن را تنظیم کرد. برای مثال اگر بخواهید از جسمی کم نور عکس بگیرید، باید قطر سوراخ دریچه را بزرگتر کنید یا سرعت باز و

بسته شدن آن راکاهش دهید. معمولاً به صورت خودکار، کوتاهترین زمان یا بیشترین سرعت باز و بسته شدن دیافراگم در دوربینها $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ثانیه و کمترین سرعت $\frac{۱}{۲}$ ثانیه است. بر روی دوربینها فقط مخرج کسر سرعت را نمایش می‌دهند.

برای نور دهی بلند مدّت باید دوربین را بر B تنظیم کنید، در این صورت تا هنگامی که دستتان بر دگمهٔ شاتر باشد، دیافراگم باز می‌ماند.

۴) فاصله

در عکاسی تنظیم فاصله بسیار مهم است. در عکسبرداری نجومی به دلیل اینکه اجسام بسیار دورند، فاصله را باید بی‌نهایت (∞) تنظیم کنید.

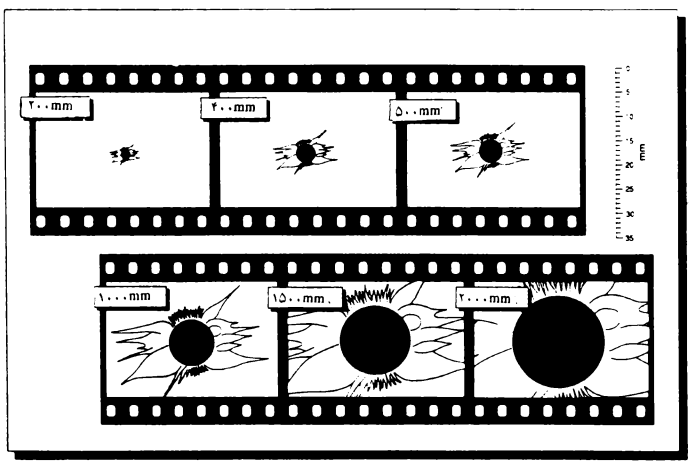
۵) حساسیت فیلم

میزان حساسیت فیلمها متفاوت است. برخی از فیلمها نسبت به نور حساسیّت بیشتری دارند. معمولاً حساسیت فیلم را برحسب واحدی به نام ASA یا ISO می‌سنجند. فیلمهای با حساسیّت ISO ۵۰ تا ۱۰۰ کُند، ۸۰ تا ۱۵۰ متوسط، ۲۰۰ تا ۴۰۰ سریع و بیشتر از ۸۰۰ بسیار سریع نامیده می‌شوند. در عکاسی معمولی از فیلمهای با حساسیت ISO ۱۰۰ استفاده می‌شود. در عکسبرداری نجومی برای عکاسی از پدیده‌های کم‌نور، میزان نوردهی و گشودگی دیافراگم را افزایش می‌دهند و از فیلم‌هایی با حساسیّت زیاد استفاده می‌کنند.

عکسبرداری از خورشیدگرفتگی

از هر گونه دوربینی که دیافراگم، سرعت و فاصله در آن قابل تنظیم باشد، می‌توانید برای عکسبرداری از خورشیدگرفتگی استفاده کنید. دوربینهایی که لنز تله دارند از همه مناسبترند. تصویر خورشید در

دوربینهای با عدسی معمولی (۵۰ میلی‌متر) بزرگتر از ۰/۵ میلی‌متر نیست. در حالی که اگر به جای عدسی معمولی از یک عدسی ۲۰۰ میلی‌متر استفاده کنید، می‌توانید تصویری ۱/۸ میلی‌متری از خورشید بدست آورید. آنهایی که عدسی تلهٔ ۱۰۰۰ دارند تصویر خورشید را به قطر ۹/۲ میلی‌متر ثبت می‌کنند. برای اینکه اندازه تصویر خورشید را روی فیلم عکاسی حساب کنید کافی است که فاصله کانونی لنزتان را برحسب میلی‌متر در عدد ۰/۰۰۹۲ ضرب کنید. (شکل ۵ـ۱)



شکل ۵ـ۱: اندازهٔ تصویر خورشید بر فیلم عکاسی ۳۵ میلی‌متری در دوربین‌هایی با فاصلهٔ کانونی مختلف

فاصله کانونی تلسکوپها خیلی بیشتر از عدسی‌های تله است، بنابراین تصویر آنها بسیار بزرگتر خواهد بود. توجه به این نکته مهم است که

اگر فاصله کانونی تلسکوپ بزرگتر از ۲۶۰۰ میلی‌متر باشد، اندازه تصویر از قطع فیلم ۳۵ میلی‌متری بزرگتر خواهد شد. بنابراین تصویری که روی فیلم می‌افتد فقط گوشه‌ای از قرص تیرهٔ خورشید است. این وضع برای آنهایی که می‌خواهند از تاج عکس بگیرند، محدودیت بیشتری ایجاد می‌کند. برای اینکه تصویر کل تاج، فیلم ۳۵ میلی‌متری را پر کند، فاصله کانونی تلسکوپ نباید از حدود ۱۵۰۰ تا حداکثر ۱۸۰۰ میلی‌متر بزرگتر باشد.

فراموش نکنید، تا هنگامی که خورشید کاملاً پشت ماه پنهان نشده است، نباید بدون فیلتر به خورشید نگاه کنید. اگر با دوربینهای عکاسی از خورشید یا گرفتگی جزئی عکس می‌گیرید، باید از فیلترهای خنثی استفاده کنید. بهترین فیلتر برای عکسبرداری از خورشید فیلتر مایلار است. این فیلتر از یک ورقهٔ نازک با اندود آلومینیوم ساخته شده است و قسمت عمده نور خورشید را منعکس می‌کند. استفاده از فیلترهای شیشه‌ای خورشید نیز مناسب است. از این فیلترها در عینکهای مخصوص جوشکاری استفاده می‌شود که در فروشگاههای ابزار و یراق موجود است (مناسبترین فیلتر از این نوع، شیشهٔ جوشکاری نمرهٔ ۱۴ است). راه دیگر برای تهیه فیلتر خورشیدی این است که یک حلقه فیلم سیاه سفید را در مقابل نور روز باز کنید تا فیلم به اندازهٔ کافی نور ببیند و سیاه شود. بعد از ظاهر کردن کامل فیلم از آن به عنوان فیلتر خورشیدی استفاده کنید. البته برای اینکه فیلم به اندازهٔ کافی سیاه شود باید ۵۰ درصد بیشتر از زمان معمول در داروی ظهور بماند. بنابراین بهتر است فیلم را خودتان ظاهر کنید یا اینکه آن را به عکاسیهایی بدهید که فیلمهایشان را با دست ظاهر می‌کنند. برای این کار هیچگاه از فیلمهای رنگی نور دیده

استفاده نکنید. فیلترهای خورشیدی که برای مشاهده با چشم مناسبند، باید نور خورشید را صد هزار بار کمتر کنند. البته در عکاسی چون زمان نوردهی فیلم (سرعت شاتر) قابل کنترل است، لازم نیست حتماً از فیلترهایی که برای چشم ساخته شده‌اند استفاده کنید. با کنترل زمان نوردهی بر فیلم می‌توانید مناسبترین زمان نوردهی را برای یک فیلتر خاص (که ممکن است دست‌ساز خودتان باشد) بدست آورید. برای این کار باید زمان نوردهی مناسب را با روش آزمایش خطا حساب کنید. دوربین فیلتردار را در روز روشن به سمت خورشید بگیرید. از یک فیلم سیاه و سفید با حساسیت کم (حدود ۵۰ تا ۱۰۰) استفاده کنید. دیافراگم را بین عددهای ۸ تا ۱۶ قرار دهید و تعداد زیادی عکس از قرص خورشید با سرعتهای متفاوت از $\frac{1}{1000}$ تا $\frac{1}{4}$ بگیرید. پس از ظهور فیلم بهترین سرعت را انتخاب کنید. سرعت به دست آمده برای عکاسی از قرص خورشید و تمام مراحل گرفتگی جزئی مناسب است.

بهتر است از چند روز پیش از خورشید گرفتگی این آزمایشها را انجام دهید، تا با اطلاعات دقیق برای عکسبرداری آماده باشید.

توجّه: هنگام عکسبرداری از خورشید، موقعی که فیلتری جلو عدسی دوربین نیست و شدت نور را فقط با سرعت و دیافراگم کنترل می‌کنید، مطلقاً از دریچهٔ دوربین به خورشید نگاه نکنید.

زیباترین و جذابترین قسمت گرفتگی هنگامی است که خورشید در پشت ماه کاملاً پنهان و خورشیدگرفتگی، کلی می‌شود. نور شدید خورشید از بین می‌رود و تاج سفید، زبانه‌ها و فام سپهر نمایان می‌شوند. در لحظهٔ گرفتگی کلی نه چشم و نه دوربینهای عکاسی هیچکدام احتیاج به فیلتر ندارند. روشنایی سطحی تاج میلیونها برابر از

خورشید کمتر است و با دور شدن از لبه خورشید این روشنایی کمتر می‌شود. بنابراین برای عکاسی از قسمتهای مختلف تاج باید از زمانهای نوردهی متفاوت استفاده کنیم (از $\frac{1}{1000}$ تا چند ثانیه) برای اینکه از تاج عکس بگیرید باید خیلی سریع عمل کنید. چون مدّت زمان خورشیدگرفتگی کلی کوتاه است. برای مثال در گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ مدّت زمان آن در بخشهای غربی ایران کمتر از ۲ دقیقه است. توجّه: بعد از تماس سوّم نور خورشید ناگهان از لبهٔ غربی ساطع می‌شود. دقت کنید که در این هنگام بدون فیلتر با تلسکوپ، دوربین دو چشمی یا دوربین عکاسی و حتی با چشم غیرمسلح منظرهٔ گرفتگی را تماشا نکنید.

○ جدول راهنمای زمان نوردهی

برای استفاده از این جدول و پیدا کردن زمان نوردهی مناسب ابتدا حساسیت فیلمتان را در ستون حساسیت فیلم پیدا کنید. بعد روی خط افقی حرکت کنید تا به نسبت کانونی مورد نظرتان برسید حالا به سمت پایین حرکت کنید تا به سرعت شاتر مقابل موضوع مورد نظرتان برسید. عددی که در این سطر نوشته شده مناسبترین زمان نوردهی برای عکسبرداری از آن موضوع است. دربارهٔ استفاده از جدول چند نکته مطرح است. زمانهای نوردهی گرفتگی جزئی برای دوربینهایی است که از فیلترهای خنثی شمارهٔ ۴ و ۵ (۴ND و ۵ND) استفاده می‌کنند. دیگر زمانهای مربوط به دانه‌های بیلی، فام سپهر و تاج، بدون فیلتر درنظر گرفته شده‌اند و فقط در هنگام گرفتگی کلی قابل استفاده هستند.

اعداد مقابل تاج (۱R / ۰۰، ۲R / ۰ و ...) نشان می‌دهد که تاج تا چه گستردگی بر حسب شعاع خورشید قابل ثبت است. بنابراین "تاج ۸R"

حساسیت فیلم(ISO)	عدد f (نسبت کانونی)								
۲۵	۱/۴	۲	۲/۸	۴	۵/۶	۸	۱۱	۱۶	۲۲
۵۰	۲	۲/۸	۴	۵/۶	۸	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲
۱۰۰	۲/۸	۴	۵/۶	۸	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲	۴۴
۲۰۰	۴	۵/۶	۸	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲	۴۴	۶۴
۴۰۰	۵/۶	۸	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲	۴۴	۶۴	۸۸
۸۰۰	۸	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲	۴۴	۶۴	۸۸	۱۲۸
۱۶۰۰	۱۱	۱۶	۲۲	۳۲	۴۴	۶۴	۸۸	۱۲۸	۱۷۶
موضوع * Q	سرعت شاتر								
۴ND[1] جزئی ۱۱	—	—	—	۱/۴۰۰۰	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵
۵ND[1] جزئی ۸	۱/۴۰۰۰	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵	۱/۶۰	۱/۳۰	۱/۱۵
[2]دانه‌های بیلی ۱۲	—	—	—	—	۱/۴۰۰۰	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰
فام سپهر ۱۱	—	—	—	۱/۴۰۰۰	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵
زبانه‌ها ۹	—	۱/۴۰۰۰	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵	۱/۶۰	۱/۳۰
تاج ۰/۱R ۷	۱/۲۰۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵	۱/۶۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۸
[3]تاج ۰/۲R ۵	۱/۵۰۰	۱/۲۵۰	۱/۱۲۵	۱/۶۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۸	۱/۴	۱/۲
تاج ۰/۵R ۳	۱/۱۲۵	۱/۶۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۸	۱/۴	۱/۲	۱ ث	۲ ث
تاج ۱R ۱	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۸	۱/۴	۱/۲	۱ ث	۲ ث	۴ ث	۸ ث
تاج ۲ R ۰	۱/۱۵	۱/۸	۱/۴	۱/۲	۱ ث	۲ ث	۴ ث	۸ ث	۱۵ ث
تاج ۴R ۱-	۱/۸	۱/۴	۱/۲	۱ ث	۲ ث	۴ ث	۸ ث	۱۵ ث	۳۰ ث
تاج ۸R ۳-	۱/۲	۱ ث	۲ ث	۴ ث	۸ ث	۱۵ ث	۳۰ ث	۱ د	۲ د

ث : ثانیه، د: دقیقه

۱) زمانهای نوردهی گرفتگی جزئی برای خورشید گرفتگی حلقوی نیز کاربرد دارند.

۲) دانه‌های بیلی بسیار درخشان و زودگذرند.

۳) زمان نوردهی تاج ۰/۲R برای عکسبرداری از اثر حلقهٔ الماس نیز مناسب است.

به این معنی است که اگر برطبق عاملهای مندرج در آن سطر عکسبرداری کنید. گستردگی تاج خورشید تا ۸ برابر شعاع خورشید در فیلم ثبت خواهد شد. البتّه این در صورتی است که تاج واقعاً تا این اندازه گستردگی داشته باشد.

اگر بخواهید می‌توانید زمان نوردهی را برای پدیده‌های گوناگون خورشیدگرفتگی از این رابطه محاسبه کنید: $T=\frac{f^2}{I\times 2^Q}$

در این رابطه، T : زمان نوردهی برحسب ثانیه، f : عدد f، I : حساسیّت فیلم (ISO)، Q : نمای نورانیت (که مقدار آن برای هر پدیده در جدول آمده است)

یکی دیگر از پدیده‌های جالب توجّه نوارهای سایه‌ای است، که در جدول نیامده است.

پیشتر دربارهٔ ماهیّت این پدیده بحث کردیم. عکسبرداری از نوارهای سایه‌ای دشوار است. چون حدّ اکثر ۲ یا ۳ درصد نسبت به زمینه تیره‌ترند. از طرفی سرعت حرکت آنها زیاد است. معمولاً نوارها در هر ثانیه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر حرکت می‌کنند. برای عکسبرداری از این پدیده بهتر است از فیلمهای با حساسیّت زیاد مانند ISO ۴۰۰ استفاده کنید. نوردهی هم باید کمتر از $\frac{1}{125}$ ثانیه باشد. پیشنهاد می‌کنیم با سرعت $\frac{1}{250}$ و با f/۴ (یا $\frac{1}{500}$ و با f/۲) عکسبرداری کنید. به هر حال احتمال ثبت شدن نوارهای سایه‌ای روی فیلم کم است و رصد آنها با چشم غیرمسلّح اهمیّت بیشتری دارد.

چند تذکر: برای نوردهی بلند مدّت و حتّی کوتاه مدّت، دوربین را روی پایه سوار کنید. چون ممکن است با کوچکترین لرزش دست نتیجهٔ تلاش شما از بین برود. برای انجام دادن نوردهی مطمئن دگمهٔ شاتر را با دست فشار ندهید، چون با این کار دوربین می‌لرزد و تصویر

خراب می‌شود. برای این منظور از وسیلهٔ سیم مانندی به نام دکلانشور استفاده کنید. می‌توانید دکلانشور را از فروشگاههای لوازم عکاسی تهیه کنید. استفاده از دکلانشور در نوردهی بلند مدّت بسیار ضروری است. به خاطر داشته باشید که در نوردهی بلند مدّت سرعت دوربین را روی B تنظیم کنید.

فصل ۶

ویژگی‌های خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸

مسیر جهانی خورشیدگرفتگی

چهارشنبه ۲۰ مرداد سال ۱۳۷۸ خورشیدگرفتگی کلی رخ می‌دهد. این آخرین خورشیدگرفتگی در قرن بیستم خواهد بود. نمودار ۷-۱-۱ وضعیت جهانی خورشیدگرفتگی را نشان می‌دهد. در این نمودار اطلاعات مربوط به مسیر، درصد قدرگرفتگی خورشید و زمان آن جا دارد. نوار مرکزی، مسیر عبور تمام سایه را از نیمکرهٔ غربی به نیمکرهٔ شرقی نشان می‌دهد بخشهایی از زمین که در این مسیر قرار دارند، خورشیدگرفتگی راکلی مشاهده می‌کنند. خوشبختانه این مسیر از کشور ما، ایران هم می‌گذرد. توجه کنید که شکل تمام سایهٔ ماه برزمین، بیضی شکل است امّا مسیر حرکت آن نواری را تشکیل می‌دهد.

گرفتگی از شمال اقیانوس اطلس آغاز می‌شود. در ساعت ۱۴:۰۰:۵۷ به وقت رسمی ایران نخستین تماس تمام سایهٔ ماه با سطح زمین رخ می‌دهد. در آن هنگام مدّت زمان گرفتگی کلی ۴۷

ثانیه و پهنای مسیر گرفتگی ۴۹ کیلومتر خواهد بود. سایه ماه به سوی مشرق حرکت می‌کند و از اقیانوس اطلس می‌گذرد تا اینکه در ساعت ۱۴:۴۰ به وقت ایران به سواحل جنوب غربی انگلستان می‌رسد و وارد اروپا می‌شود در این هنگام، خورشید ° ۴۵ از افق مشرق ارتفاع دارد. مدّت زمان گرفتگی کلی به ۲ دقیقه و پهنای تمام سایه به ۱۰۳ کیلومتر می‌رسد. مسیر تمام سایه از برخی کشورهای اروپا می‌گذرد.

کشورهای فرانسه، بلژیک، لوگزامبورگ، آلمان، اتریش، مجارستان، یوگسلاوی، رومانی و بلغارستان در مسیر گرفتگی کلی در اروپا قرار دارند.

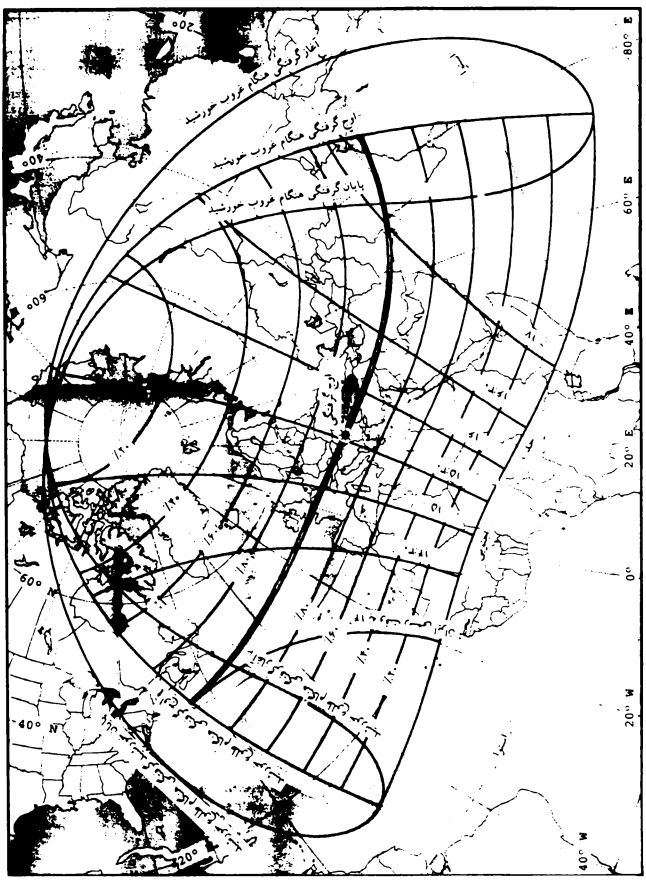
در هر خورشید گرفتگی، اوج گرفتگی در منطقهٔ مشخصی رخ می‌دهد. یعنی در آن منطقه مدّت زمان گرفتگی بیشترین و پهنای تمام سایه بزرگترین اندازه است. در گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ اوج گرفتگی در کشور رومانی مشاهده خواهد شد. در ساعت ۱۵:۳۳:۰۴ به وقت ایران در ناحیّه‌ای در رومانی با مختصات طول ° ۲۴ و َ۱۸ شرقی و عرض جغرافیائی ° ۴۵ و َ۴/۵ شمالی این شرایط رخ خواهد داد. در این مکان پهنای تمام سایه به ۱۱۲/۳ کیلومتر و مدّت زمان خورشید گرفتگی کلی به ۲ دقیقه و ۲۲/۴ ثانیه می‌رسد. در آن هنگام خورشید ° ۵۹ از افق ارتفاع دارد و سرعت حرکت تمام سایه ۰/۶۸ کیلومتر در ثانیه خواهد بود. سپس باگذر از دریای سیاه، ترکیه و عراق، در ساعت ۱۱:۵۲ به وقت جهانی و ۱۶:۲۲ به وقت رسمی ایران، تمام سایه به مرز غربی ایران می‌رسد. تمام سایه از بخشهایی از استانهای کردستان، کرمانشاه، همدان، مرکزی، لرستان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان عبور خواهد کرد.

مدّت زمان خورشیدگرفتگی کلی در بخش غربی ایران ۲ دقیقه و در جنوب شرقی ایران به‌کمتر از ۱/۵ دقیقه می‌رسد.

پس از گذر از جنوب شرق ایران، مسیر تمام سایه از کشورهای پاکستان و هند می‌گذرد. تا اینکه در جنوب خلیج بنگال (در شرق هند) در ساعت ۱۷:۰۶:۲۳ به وقت ایران تمام سایه از زمین جدا می‌شود و مسیرش را در فضا ادامه می‌دهد. در خلال سه ساعت و هفت دقیقه عبور تمام سایه از سطح کرهٔ زمین مسیری معادل ۱۴۰۰۰ کیلومتر را طی می‌کند و ۰/۲ درصد از مساحت کرهٔ زمین در مسیر تمام سایه قرار می‌گیرد.

در نمودار ۷-۱-۱ منحنی‌های افقی که در کنار نوار مرکزی تمام سایه دیده می‌شوند، درصد قدر گرفتگی خورشید را نشان می‌دهند. هرچه فاصلهٔ این منحنی‌ها از نوار مرکزی بیشتر می‌شود، درصد قدر گرفتگی خورشید کاهش می‌یابد تا اینکه به مرز شمالی و جنوبی گرفتگی برسیم. این بدین معنی است که رصدکنندگان از نوار مرکزی تا مرزهای شمالی یا جنوبی خورشیدگرفتگی را جزئی مشاهده می‌کنند. خطهایی از شمال به جنوب کشیده شده‌اند و در کنار آنها ساعتهایی نوشته شده است. این ساعتها برحسب ساعت رسمی ایران هستند و زمان گرفتگی را در مناطق روی خط نشان می‌دهند. برای مثال در بخش غربی عربستان حدّاکثر گرفتگی در ساعت ۴:۳۰ به وقت ایران رخ می‌دهد و در این زمان قدرگرفتگی ۷۰ درصد خواهد شد. امّا در سمت چپ و راست نمودار هر طرف سه منحنی دیده می‌شوند. توضیح آنها از سمت چپ به این صورت است:

نخستین منحنی مناطقی را مشخص می‌کند که با طلوع آفتاب، خورشیدگرفتگی در آن مناطق پایان می‌یابد. منحنی دوّم مناطقی‌اند



شکل ۷.۱.۱۰: مسیر جهانی خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸

که بیشینهٔ گرفتگی در هنگام طلوع آفتاب رخ می‌دهد و منحنی سوّم مربوط به مناطقی است که با طلوع آفتاب، خورشید گرفتگی آغاز می‌شود.

نواحی که در سمت چپ منحنی دوّم قرار دارند، ابداً خورشید گرفتگی کلی را مشاهده نمی‌کنند. در سمت راست نمودار هم منحنی‌هایی عکس این دیده می‌شوند. که از چپ به راست عبارتند از: پایان خورشیدگرفتگی با غروب آفتاب، بیشینهٔ خورشید گرفتگی در هنگام غروب آفتاب و آغاز خورشیدگرفتگی با غروب آفتاب.

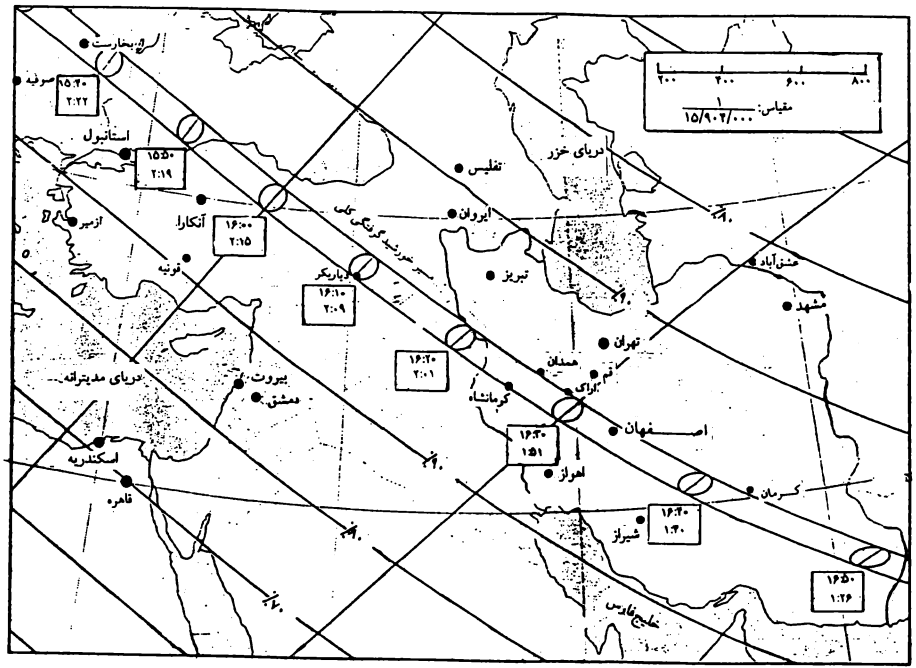
در این بخش مناطقی که در طرف راست منحنی دوّم قرار دارند، ابداً خورشیدگرفتگی کلی را مشاهده نمی‌کنند.

مسیر خورشید گرفتگی کلی در خاورمیانه

در نمودار ۷ـ۲ـ۱ نوار مرکزی، مسیر حرکت تمام سایه یعنی گرفت کلی خورشید را در منطقهٔ خاورمیانه نشان می‌دهد. مسیر بیضی تمام سایه از اروپا به دریای سیاه، سپس ترکیه، عراق و سرانجام به ایران می‌رسد.

منحنی‌های موازی مسیر گرفتگی کلی، درصد قدرگرفتگی را نشان می‌دهند. برای مثال درصد قدرگرفتگی در تهران حدود ۹۵ درصد است. این منحنی‌ها تا محدودهٔ درصد قدر ۷۰ درصد را شامل می‌شوند.

منحنی‌های عمود بر آنها نشان می‌دهند که در هر نیم ساعت بیضی سایه کجاست. در کنار آنها ساعتهایی برحسب زمان رسمی ایران نوشته شده است. برای مثال در ساعت ۱۶ بیضی سایه در ترکیه است.



شکل ۷-۲-۱: مسیر خورشیدگرفتگی کلی در خاورمیانه

پس از گذشت نیم ساعت یعنی در ساعت ۱۶:۳۰ تمام سایهٔ ماه در ایران از جنوب شهر اراک می‌گذرد.

سرعت حرکت تمام سایهٔ ماه بسیار زیاد است. برای مثال سرعت حرکت آن در ایران حدود یک کیلومتر در ثانیه است. شما هم می‌توانید با درنظر گرفتن موقعیّت بیضی‌ها و زمانهای داده شده و با درنظر گرفتن مقیاس نقشه سرعت حرکت بیضی تمام سایه را در مناطق مختلف به دست آورید. در زیر هر بیضی، زمان قرارگیری آن را در آن موقعیّت و مدّت زمان خورشیدگرفتگی کلی را روی خط مرکزی مشاهده می‌کنید. حالا به پرسشهای زیر پاسخ دهید: ۱ـ سرعت حرکت بیضی تمام سایه از مغرب به مشرق کم می‌شود یا زیاد؟ چرا؟

۲ـ با توجه به اطّلاعات نمودار مشخص است که مدّت زمان خورشیدگرفتگی کلی در بخشهای شرقی کمتر می‌شود؟ علّت این مسئله چیست؟

مختصات و نقشه‌های دقیق مسیر تمام سایه در ایران

رصدکنندگانی که در مسیر عبور تمام سایه قرار می‌گیرند. می‌توانند خورشیدگرفتگی کلی را مشاهده کنند. در این بخش مختصات دقیق مسیر تمام سایه از بخش غربی تا جنوب شرقی ایران در جدول ۷ـ۳ـ۱ آمده است. با واردکردن مختصات در نقشه‌های جغرافیایی می‌توانید اطلاعات دقیقی را از مسیر حرکت تمام سایه در ایران به دست آورید. حال به شرح جدول می‌پردازیم.

از راست به چپ ستون اول ساعت را به زمان رسمی ایران نشان می‌دهد. در دو ستون بعدی طول و عرض جغرافیایی حدّ شمالی گرفتگی کلی در آن زمان آمده است. در ستون چهارم و پنجم به

ترتیب طول و عرض جغرافیائی حدّ جنوبی گرفتگی و بعد از آن خط مرکزی گرفتگی کلی دیده می‌شود. ستون هشتم ارتفاع خورشید را از افق در هنگام گرفتگی نشان می‌دهد و در ستون نهم پهنای تمام سایه را برحسب کیلومتر می‌بینید. در ستون پایانی مدّت زمان گرفتگی کلی برحسب دقیقه و ثانیه آمده است. با توجه به جدول مشخص است که این اطلاعات با فاصلهٔ زمانی ۵ دقیقه تنظیم شده‌اند.

نقشه‌های ۷-۳-۱ تا ۷-۳-۳ مسیر گرفتی کلی را در ایران نشان می‌دهند و براساس اطّلاعات همین جدول مختصات رسم شده‌اند. این نقشه‌ها مسیر گرفتگی را در سه بخش غربی، مرکزی و شرقی ایران، نمایش می‌دهند. در نقشه‌ها، مکان شهرهای مهمی که در مسیر گرفتگی کلی قرار دارند، مشخص شده‌اند. می‌دانید که مقطع مخروط تمام سایهٔ ماه بر زمین، معمولاً بیضی شکل است. در بین حدّشمالی و جنوبی گرفتگی، وضعیت قرارگیری و موقعیّت بیضی تمام سایهٔ ماه در زمانهای مختلف مشخص شده است. سرعت حرکت بیضی تمام سایه به قدری است که در مدّتی حدود نیم ساعت از غرب ایران به جنوب شرقی آن گذر می‌کند. خط میان حدّشمالی و جنوبی را خط مرکزی می‌گویند. رصد کنندگانی که روی این خط قرار گیرند، بیشترین مدّت زمان خورشید گرفتگی کلی را مشاهده می‌کنند، چون بزرگترین بخش بیضی تمام سایه از آن مناطق می‌گذرد. در زیر هر بیضی سه عدد نوشته شده است یکی ساعت قرارگیری بیضی در آن بخش از ایران است و دوّمی مدّت زمان خورشیدگرفتگی کلی را در خط مرکزی آن بخش نشان می‌دهد و سوّمی اندازهٔ ارتفاع خورشید از افق را در آن منطقه هنگام خورشیدگرفتگی مشخص می‌کند.

خطهای کناری که تقریباً هم جهت با خط مرکزی‌اند، مدت زمان گرفتگی کلی را در بخشهای مختلف بیضی تمام سایه نشان می‌دهند. مشخص است که هرچه از خط مرکزی دورتر باشیم، مدّت زمان گرفتگی کلی کوتاهتر می‌شود. بیشترین مدّت زمان گرفتکی کلی در ایران حدود ۲ دقیقه آن هم در بخش غربی ایران (در مرز ایران و عراق) خواهد بود. در خلال عبور بیضی تمام سایه از ایران، مدّت زمان گرفتگی کلی کوتاهتر می‌شود. تا این که در جنوب شرقی ایران این مدّت به کمتر از ۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه می‌رسد. نکتهٔ جالب توجه این است که مسیر خورشیدگرفتگی کلی در ایران از شهرهای مهمی عبور می‌کند. با توجه به نقشه‌ها مشخص است که شهرهای سنندج، کرمانشاه، شهرکرد، اصفهان، رفسنجان، در مسیر گرفتگی کلی قرار دارند.

خطهای کنار نقشه نیز محدودهٔ قدر گرفتگی ۹۵ درصد را نشان می‌دهند. در جدولهای ۷ـ۳ـ۲ و ۷ـ۳ـ۳ اطلاعات خورشیدگرفتگی برای برخی از شهرهای ایران در مسیر گرفتگی کلی و خارج از آن آمده است.

	حدّ شمالی		حدّ جنوبی		خط مرکزی				
زمان رسمی ایران	عرض	طول	عرض	طول	عرض	طول	ارتفاع خورشید	پهنای تمام سایه	مدّت خورشیدگرفتگی کلی
۱۶ : ۲۰	´۱۷/۴ و °۳۶ شمالی	´۲۵/۷ و °۴۵ شرقی	´۳۶/۴ و °۳۵ شمالی	´۳۰/۳ و °۴۴ شرقی	´۵۷/۰ و °۳۵ شمالی	´۵۷/۸ و °۴۴ شرقی	°۴۸	۱۰۹ کیلومتر	۲ د و ۱ ث
۱۶ : ۲۵	۳/۴ و ۳۵	۴۲/۳ و ۴۷	۲۴/۵ و ۳۴	۴۷/۵ و ۴۶	۴۴/۰ و ۳۴	۱۵/۷ و ۴۷	۴۶	۱۰۷	۱ د و ۵۶/۵ ث
۱۶ : ۳۰	۴۵/۵ و ۳۳	۸/۹ و ۵۰	۸/۹ و ۳۳	۱۰/۷ و ۴۹	۲۷/۳ و ۳۳	۳۹/۶ و ۴۹	۴۳	۱۰۵	۱ د و ۵۱/۵ ث
۱۶ : ۳۵	۲۳/۲ و ۳۲	۴۱/۹ و ۵۲	۴۹/۰ و ۳۱	۴۲/۳ و ۵۱	۶/۲ و ۳۲	۱۱/۹ و ۵۲	۴۰	۱۰۳	۱ د و ۴۶/۰ ث
۱۶ : ۴۰	۵۵/۵ و ۳۰	۲۶/۷ و ۵۵	۲۴/۰ و ۳۰	۲۵/۴ و ۵۴	۳۹/۹ و ۳۰	۵۵/۹ و ۵۴	۳۷	۱۰۰	۱ د و ۴۰/۰ ث
۱۶ : ۴۵	۲۱/۰ و ۲۹	۲۸/۳ و ۵۸	۵۲/۴ و ۲۸	۲۵/۱ و ۵۷	۶/۹ و ۲۹	۵۶/۵ و ۵۷	۳۳	۹۷	۱ د و ۳۳/۴ ث
۱۶ : ۵۰	۳۷/۳ و ۲۷	۵۵/۱ و ۶۱	۱۲/۲ و ۲۷	۴۹/۰ و ۶۰	۲۴/۹ و ۲۷	۲۱/۸ و ۶۱	۲۹	۹۳	۱ د و ۲۶/۱ ث
۱۶ : ۵۵	۳۹/۸ و ۲۵	۲/۶ و ۶۶	۱۹/۳ و ۲۵	۵۱/۸ و ۶۴	۲۹/۷ و ۲۵	۲۷/۰ و ۶۵	۲۴	۸۷	۱ د و ۱۷/۷ ث

جدول ۱-۳-۷ مختصات دقیق مسیرگذر تمام سایهٔ ماه در خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ در ایران

خورشیدگرفتگی کلی چهارشنبه ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ در شهرهای ایران

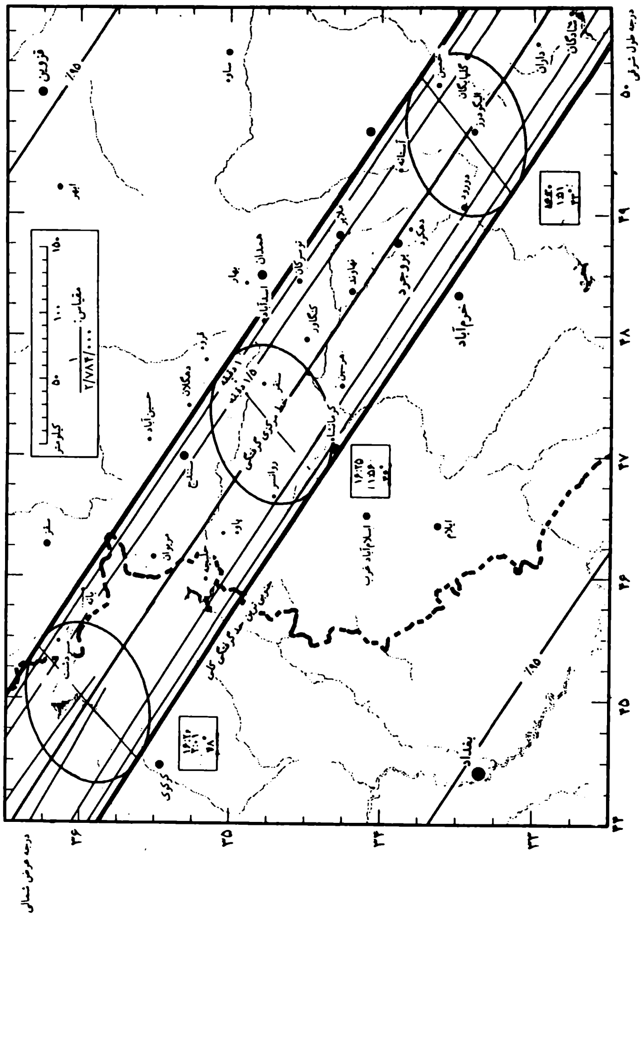
نام شهر	زمان شروع گرفتگی کلی (به وقت رسمی ایران) ثانیه : دقیقه : ساعت	مدت گرفتگی کلی ثانیه	دقیقه
اسدآباد(همدان)	۱۶:۲۵:۲۸/۱	۵۴	۰
اصفهان	۱۶:۳۲:۴۱/۹	۳۳	۱
الیگودرز	۱۶:۲۹:۱۱/۷	۵۱	۱
بروجرد	۱۶:۲۷:۱۶/۶	۵۳	۱
بم	۱۶:۴۴:۳۶/۴	۲۶	۱
تویسرکان	۱۶:۲۶:۰۷/۸	۱۱	۱
خمین	۱۶:۲۹:۲۸/۴	۱۹	۱
درود	۱۶:۲۸:۳۱/۷	۳۵	۱
دهکرد(بروجرد)	۱۶:۲۷:۳۳/۶	۵۳	۱
رفسنجان	۱۶:۴۰:۴۱/۷	۲۰	۱
سقز	۱۶:۲۴:۲۵/۱	۴۶	۱
سنندج	۱۶:۲۳:۰۲/۱	۱۵	۱
شهرضا	۱۶:۳۴:۰۲/۳	۳۴	۱
شهرکرد	۱۶:۳۲:۵۳/۸	۴۱	۰
کرمانشاه	۱۶:۲۵:۰۳/۸	۵۳	۰
کنگاور	۱۶:۲۵:۱۸/۹	۵۱	۱
گلپایگان	۱۶:۲۹:۵۸/۰	۲۸	۱
مریوان	۱۶:۲۱:۲۱/۴	۵۱	۱
مشیز(کرمان)	۱۶:۴۱:۵۱/۴	۳۳	۱
ملایر	۱۶:۲۶:۵۵/۹	۲۳	۱
نجف‌آباد	۱۶:۳۲:۲۱/۷	۴۷	۱
نهاوند	۱۶:۲۶:۱۷/۳	۵۴	۱
هرسین	۱۶:۲۵:۲۲/۶	۳۹	۱
همایونشهر	۱۶:۳۲:۲۹/۲	۳۹	۱

جدول ۷-۳-۲

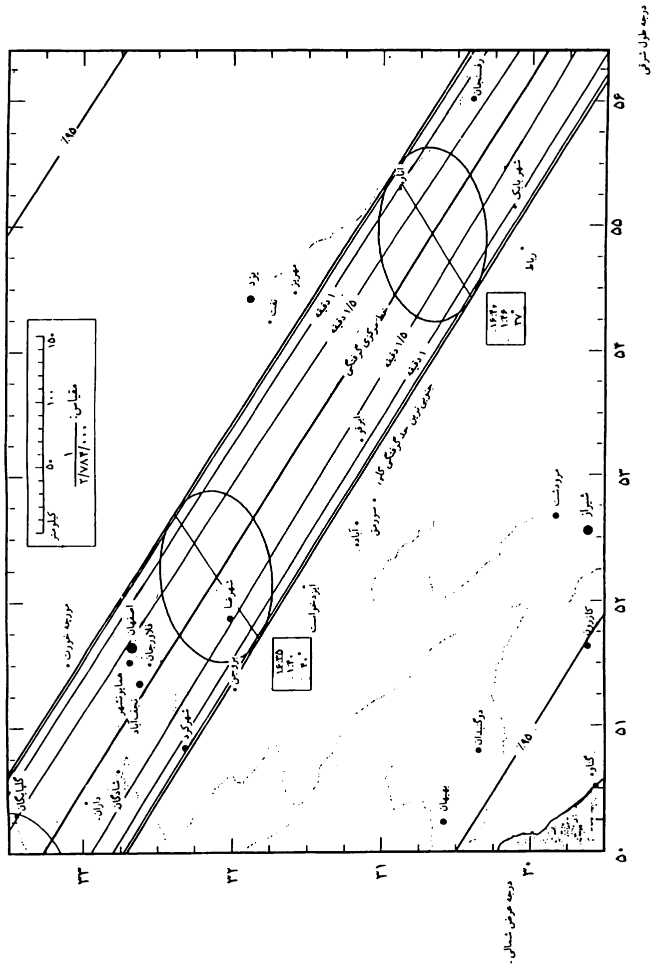
خورشید گرفتگی جزئی چهارشنبه ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ در شهرهای ایران

نام شهر	زمان شروع گرفتگی جزئی (به وقت رسمی ایران) ثانیه : دقیقه : ساعت	بیشترین درصدتیرگی	زمان بیشترین درصدتیرگی (به وقت رسمی ایران) ثانیه : دقیقه : ساعت
آمل	۱۵:۱۰:۰۷/۱	۹۰/۳	۱۶:۲۷:۴۰/۷
اراک	۱۵:۰۹:۰۶/۴	۹۹/۹	۱۶:۲۸:۵۵/۷
اردبیل	۱۵:۰۰:۲۴/۰	۹۱/۰	۱۶:۲۰:۰۳/۰
ارومیه	۱۴:۵۵:۲۵/۰	۹۷/۶	۱۶:۱۷:۲۰/۳
اسلامشهر	۱۵:۰۹:۱۲/۵	۹۳/۹	۱۶:۲۷:۴۴/۶
اهواز	۱۵:۱۲:۰۲/۴	۹۴/۷	۱۶:۳۲:۳۹/۲
ایرانشهر	۱۵:۳۷:۱۷/۰	۱۰۰/۰	۱۶:۴۹:۵۴/۰
بابل	۱۵:۱۰:۲۷/۸	۸۹/۲	۱۶:۲۷:۴۳/۲
بندرعباس	۱۵:۳۱:۲۹/۴	۹۴/۱	۱۶:۴۶:۵۲/۸
بوشهر	۱۵:۱۹:۵۳/۱	۹۱/۲	۱۶:۳۸:۵۸/۰
تبریز	۱۵:۰۹:۳۹/۴	۹۴/۴	۱۶:۱۷:۵۷/۵
تهران	۱۵:۰۹:۱۲/۵	۹۳/۵	۱۶:۲۸:۰۱/۸
خرم‌آباد	۱۵:۰۷:۳۹/۸	۹۹/۹	۱۶:۲۸:۲۵/۶
خرمشهر	۱۵:۱۲:۴۴/۹	۹۱/۳	۱۶:۳۳:۳۷/۴
خوی	۱۴:۵۳:۵۰/۹	۹۵/۰	۱۶:۱۵:۲۸/۳
دزفول	۱۵:۰۹:۳۹/۴	۹۷/۲	۱۶:۳۰:۲۷/۳
رشت	۱۵:۰۴:۰۶/۶	۹۱/۸	۱۶:۲۳:۱۴/۸
زاهدان	۱۵:۳۳:۴۵/۴	۹۶/۷	۱۶:۴۶:۲۲/۸
زنجان	۱۵:۰۲:۵۹/۵	۹۵/۱	۱۶:۲۳:۰۲/۵
ساری	۱۵:۱۱:۰۴/۵	۸۸/۷	۱۶:۲۸:۰۴/۸
سبزوار	۱۵:۱۸:۵۵/۷	۸۳/۲	۱۶:۳۲:۴۷/۹
شیراز	۱۵:۲۱:۳۱/۰	۹۵/۶	۱۶:۳۹:۳۵/۸
قائمشهر	۱۵:۱۰:۵۵/۰	۸۹/۲	۱۶:۲۸:۰۴/۶
قزوین	۱۵:۰۶:۱۶/۸	۹۴/۰	۱۶:۲۵:۲۶/۶
قم	۱۵:۱۰:۱۹/۲	۹۷/۰	۱۶:۲۹:۱۴/۷
کاشان	۱۵:۱۲:۲۲/۳	۹۷/۹	۱۶:۳۱:۰۱/۰
کرج	۱۵:۰۸:۴۱/۵	۹۳/۸	۱۶:۲۷:۱۹/۰
کرمان	۱۵:۲۷:۱۶/۶	۹۹/۷	۱۶:۴۲:۲۵/۱
گرگان	۱۵:۱۳:۰۰/۴	۸۶/۰	۱۶:۲۸:۵۷/۲
مراغه	۱۴:۵۷:۴۸/۴	۹۶/۴	۱۶:۱۹:۰۴/۷
مسجدسلیمان	۱۵:۱۱:۵۷/۴	۹۷/۴	۱۶:۳۲:۱۱/۸
مشهد	۱۵:۲۱:۳۶/۳	۸۰/۴	۱۶:۳۴:۰۶/۹
نیشابور	۱۵:۲۰:۳۸/۲	۸۱/۷	۱۶:۳۳:۴۲/۸
همدان	۱۵:۰۵:۵۲/۰	۹۹/۸	۱۶:۲۶:۲۰/۴
یزد	۱۵:۲۰:۳۵/۲	۹۹/۳	۱۶:۳۷:۲۸/۵

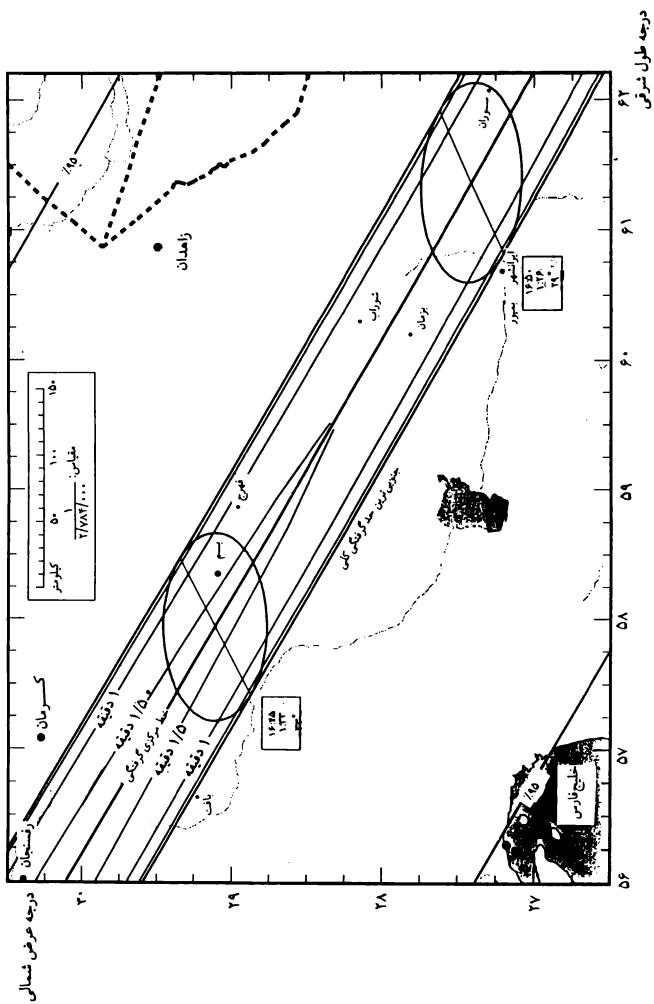
جدول ۷ـ۳ـ۳



۱-۳-۷: مسیر گذر بخشی تمام سایه از بخش غربی ایران



شکل ۲-۳-۷: مسیر گذر بخش تمام سایه از بخش مرکزی ایران



شکل ۷-۳-۳. مسیر گذر بیضی تمام سایه از بخش جنوب شرقی ایران

انتخاب محّل مشاهده

به طور متوسط هر دو سال و نیم یکبار می‌توان از هر نقطهٔ زمین مراحل خورشید گرفتگی جزئی را مشاهده کرد. امّا شرایط رصد خورشید گرفتگی کلی ممکن است فقط یکبار در طول عمر ما پیش آید. پس باید از فرصت پیش آمده به خوبی استفاده کنیم. در همین گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ مراحل گرفتگی جزئی در سراسر ایران قابل مشاهده است. امّا مسیر گرفتگی کلی از بخشی از ایران می‌گذرد و تنها در این مسیر است که می‌توان این پدیده زیبا و با شکوه را مشاهده کرد. پس علاقه‌مندان از شهرهای مختلف ایران به مناطقی سفر می‌کنند که مسیر گرفتگی از آن مکانها می‌گذرد. ولی به کجا باید سفر کرد؟ برای انتخاب محّل مشاهده به چند عامل باید توجّه کنید.

*** مدّت زمان خورشید گرفتگی کلی**

همان‌طور که پیشتر گفتیم مدّت زمان خورشید گرفتگی کلی در بخشهای غربی ایران طولانی‌تر است. طوری که در مرز ایران و عراق این مدّت به ۲ دقیقه (در خط مرکزی) می‌رسد. امّا این مدّت در بخشهای شرقی‌تر کوتاهتر می‌شود. پس در مسیر تمام سایه مناطق غربی ایران برای رصد مناسبترند. گذشته از این مورد یکی از نکته‌های بسیار بسیار مهّم، انتخاب مکان رصد در مسیر بیضی تمام سایه است. مکان رصد را حتماً در مسیر خط مرکزی گرفتگی انتخاب کنید. در این صورت پهنای بیشتری از بیضی تمام سایه از مکان رصد عبور می‌کند و مدّت زمان گرفتگی کلی طولانی‌تر می‌شود. (شکل‌های ۷ـ۳ـ۱ تا ۷ـ۳ـ۳) در لبه، مدت زمان گرفتگی کلی کوتاه است امّا پدیده‌هایی مانند دانه‌های بیلی و اثر حلقهٔ الماس دوام بیشتری دارند.

ممکن است شما به مناطق غربی ایران سفر کنید امّا با انتخاب مکان

رصد در لبهٔ مسیر گرفتگی کلی، مدّت زمان گرفت کلی را در حدّ چند ثانیه مشاهده کنید!

*** بررسی چشم‌انداز مکان رصد**

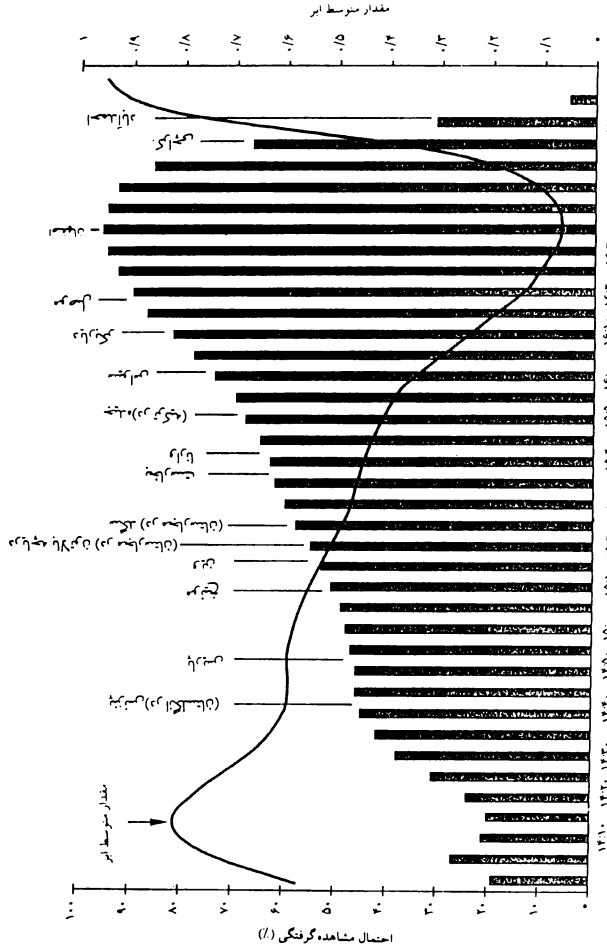
یک یا دو روز پیش از خورشیدگرفتگی مکان رصد را انتخاب کنید. از پیش در همان ساعتی که خورشیدگرفتگی روی می‌دهد، خورشید را در مکان رصد، مشاهده کنید. بدین ترتیب از وجود موانع احتمالی آگاه می‌شوید. ممکن است تپّه یا کوهی شما را از رصد خورشیدگرفتگی محروم کند. موقعیت خورشید در آسمان هنگام گرفتگی کلی در نقشه صفحهٔ ۱۲۸ آمده است. می‌توانید با درنظر گرفتن موقعیّت خورشید، از مکان دقیق آن هنگام گرفتگی کلی از پیش آگاه شوید.

اگر بر روی تپّه یا ساختمان بلندی خورشیدگرفتگی را رصد کنید، ممکن است بتوانید نزدیک یا دور شدن سایهٔ ماه را بر زمینهای کنار دست، ببینید.

*** شرایط جوی**

شاید در مواقع عادی، صاف یا ابری بودن آسمان برای ما کم اهمیّت باشد. امّا در مورد رصد خورشیدگرفتگی وضعیّت متفاوت است.

باید سعی کنیم که مکان رصد را در جایی انتخاب کنیم که شانس صاف بودن هوا در آن جا بیشتر باشد. خوشبختانه گرفتگی سال ۱۳۷۸ در فصل تابستان رخ می‌دهد. در این فصل، اغلب مناطق ایران آسمانی صاف دارند. در نمودار ۷ـ۴ـ۱ از لحاظ آماری درصد احتمال مشاهدهٔ خورشیدگرفتگی برای برخی از شهرهای مهم در مسیر جهانی گرفتگی آمده است.



شکل ۷-۴-۱: احتمال مشاهدهٔ خورشیدگرفتگی برای شهرهای مختلف در مسیر عبور تمام سایه

با توجّه به نمودار مشخّص است که اصفهان به احتمال بیشتر از ۹۰ درصد آسمانی صاف دارد* مردم این شهر نسبت به دیگر شهرها بخت بیشتری برای مشاهدهٔ گرفتگی دارند. البتّه این پیش‌بینی‌ها برآوردهایی کلی هستند. ممکن است شرایط جوی در ناحیه‌ای کوچک متغیر باشد. از مناطق مه‌آلود یا رفتن به قلّهٔ کوهها پرهیز کنید. ممکن است در نواحی مرتفع ابرهایی ناحیه‌ای تشکیل شوند.

اگر در نزدیک زمان گرفتگی آسمان ابری شد، بهترین کار حرکت کردن است. شاید با چند دقیقه رانندگی خود را به مکانی با آسمان صاف برسانید. به هرحال فراموش نکنید که به طور معمول هرکس در طول عمر خود یکبار شانس مشاهدهٔ خورشیدگرفتگی کلی را دارد!

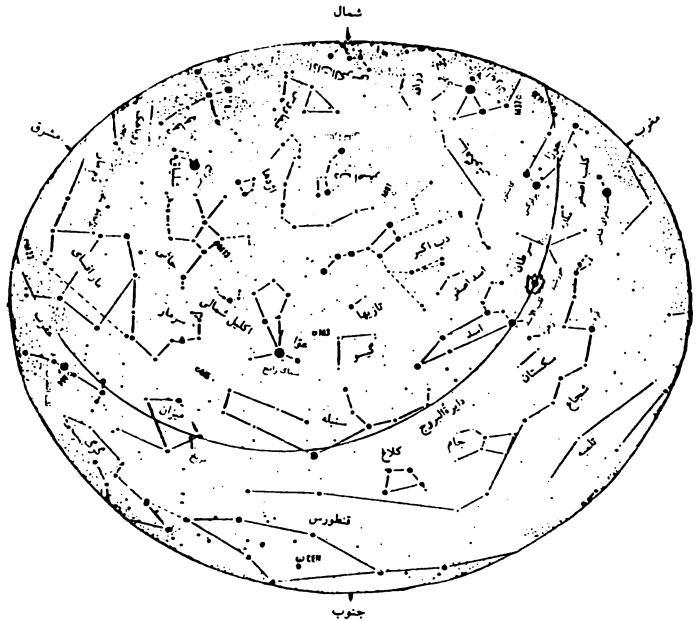
منظرهٔ آسمان هنگام خورشیدگرفتگی کلی در ایران

پیشتر در بخش رصد خورشیدگرفتگی کلی دربارهٔ امکان مشاهدهٔ ستاره‌ها و سیارات هنگام خورشیدگرفتگی کلی بحث کردیم. برای انجام دادن این رصد، باید از پیش از مکان ستاره‌ها و سیّارات آگاهی داشته باشیم. در این جا نقشه‌ای از ستاره‌های آسمان را هنگام خورشیدگرفتگی کلی آورده‌ایم. (شکل ۷ـ۵ـ۱) این نقشهٔ آسمان مربوط به ناحیه‌ای در میان مسیر گرفتگی در ایران است**. چون خورشیدگرفتگی کلی در این مکان در ساعت ۴:۳۵ بعدازظهر (۱۶:۳۵) رخ می‌دهد، نقشهٔ آسمان نیز برای این ساعت تنظیم شده

---

* چون اصفهان مهمترین شهر در مسیر گرفتگی در ایران است، در نمودار آمده است. دیگر مناطق ایران در مسیر گرفتگی نیز وضعیتی شبیه به اصفهان دارند.

** البتّه با دقّت مناسبی برای تمام مناطقی از ایران که در مسیر خورشید گرفتگی کلی قرار می‌گیرند، قابل استفاده است.



شکل ۷ـ۵ـ۱: منظرهٔ آسمان هنگام گرفتگی کلی در بخش مرکزی مسیر گرفتگی در ایران (ساعت ۴:۳۵ بعدازظهر)

است. در نقشه صورتهای فلکی جداگانه مشخّص شده‌اند. اغلب صورتهای فلکی که هنگام خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد در ایران دیده می‌شوند، در آسمان شبهای فصل بهار همان ابتدای شب در آسمان دیده می‌شوند. پس بهتر است چند ماه پیش از خورشیدگرفتگی صورتهای فلکی مشخص شده در نقشه را در آسمان فصل بهار بیابید. در نقشه مکان خورشید در هنگام گرفتگی کلی و مکان سیارات هم مشخص شده است. هنگام خورشیدگرفتگی، خورشید در افق غربی در صورت فلکی اسد است و 40° ارتفاع دارد. زهره $15/3^\circ$ جنوب شرقی خورشید قرار دارد. در این هنگام قدر زهره $3/5-$ است. یعنی پرنورتر از هر ستاره یا سیّاره‌ای دیده می‌شود. عطارد نیز در این میهمانی حضور دارد! عطارد با قدر $0/7$ کم نورتر از زهره به نظر می‌آید و در صورت فلکی سرطان جای دارد. ارتفاع عطارد از افق مغرب 25° است و $18/3^\circ$ از خورشید جدایی دارد. در افق جنوب شرقی در صورت فلکی میزان می‌توانید سیّاره سرخ، مریخ را مشاهده کنید. مریخ از قدر $0/3$ است و 31° از افق ارتفاع دارد. ستاره‌هایی که در نقشه با بزرگترین دایره‌ها نشان داده شده‌اند، در زمرهٔ ستاره‌های درخشان آسمان هستند، در هنگام خورشیدگرفتگی کلی مطمئناً آنها نیز مشاهده می‌شوند. (مگر ستاره‌هایی که در نزدیکی افق قرار می‌گیرند) در نقشه ستاره‌ها تا حدّ قدر ۵ نشان داده شده‌اند.

برای استفاده از نقشه در ساعت یاد شده رو به جنوب بایستید و نقشه را طوری مقابل صورتتان بگیرید که جنوب در پائین قرار گیرد، حالا جهتهای مشرق و مغرب نقشه با آسمان منطبق می‌شود. مرکز نقشه نشان دهنده بالای سر در آسمان است. برای یافتن صورتهای فلکی در جهتهای مختلف، باید نقشه را بچرخانید تا آن جهت در

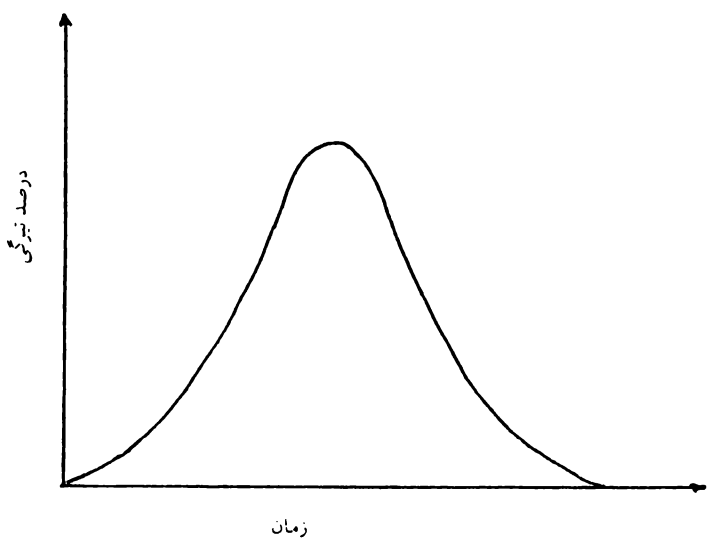
پائین نقشه قرار گیرد. برای مثال برای یافتن صورتهای فلکی در افق شمالی، روبه جهت شمال بایستید و نقشه را طوری بچرخانید که شمال در پائین قرار گیرد. در این صورت، هم جهتهای نقشه با آسمان منطبق می‌شود.

پاسخ پرسشهای مطرح شده در متن کتاب

صفحهٔ ۴۶

ج ۱ـ شکل کلی نمودار به این صورت است که ابتدا افزاینده سپس کاهنده می‌شود. چون با پیشرفت گرفتگی جزئی درصد تیرگی افزایش می‌یابد و به مقداری بیشینه می‌رسد، سپس دوباره درصد تیرگی کاهش می‌یابد.

ج ۲ـ نمودار از گونهٔ غیرخطی است. اگر دوبازهٔ زمانی برابر را در آغاز و نزدیک به بیشینهٔ درصد تیرگی در نظر بگیرید، و در هر دوبازه، سرعت حرکت ماه را از مقابل قرص خورشید ثابت فرض کنیم، متوجّه می‌شوید که هرچه از آغاز گرفتگی بگذرد در مدّت زمان برابر قرص ماه بخش بیشتری از قرص خورشید را می‌پوشاند.



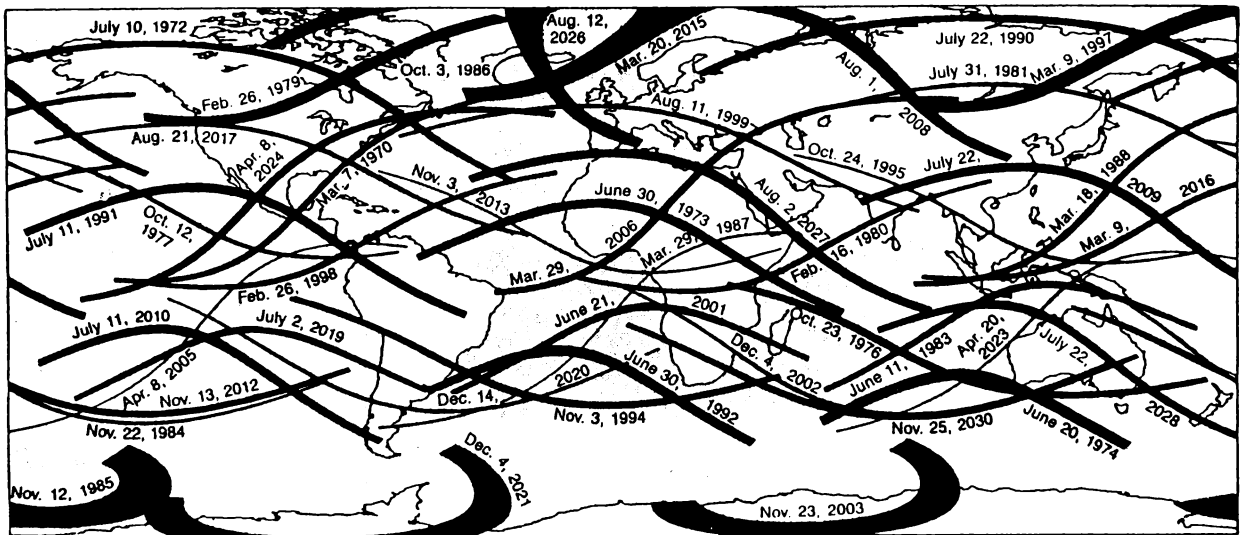
ج ۳ـ عواملی که بر شکل نمودار اثر می‌گذارند عبارتند از: قطر زاویه‌ای ماه و خورشید، سرعت حرکت زاویه‌ای ماه، وضعیت عبور ماه از مقابل قرص خورشید.

ج ۴ـ اگر نمودار را معکوس نگاه کنیم متوجّه می‌شویم، با افزایش درصد تیرگی، روشنایی محیط کاهش می‌یابد. امّا نکتهٔ مهم آن است که چون نمودار درصد تیرگی ـ زمان خطی نیست، کاهش روشنایی محیط نیز خطی یا به عبارت دیگر یکنواخت نیست. بلکه در نزدیکی اوج گرفتگی روند کاهش روشنایی محیط نیز افزایش می‌یابد.

صفحهٔ ۱۱۵

ج ۱ـ سرعت حرکت بیضی تمام سایه از مغرب به مشرق افزایش می‌یابد. چون در مسیر تمام سایه هرچه به سوی مشرق برویم، ارتفاع ماه و خورشید در هنگام خورشید گرفتگی کاهش می‌یابد. در نتیجه با حرکت زاویه‌ای ماه، تمام سایهٔ آن به مقدار قابل توجهی بر زمین جابه‌جا می‌شود. می‌توانید با مدلی این مطلب را شبیه‌سازی کنید. چراغ قوه‌ای را عمود بر سطح زمین نگه دارید. حالا اگر برای مثال 10° درجه آن را نسبت به خط قائم حرکت دهید، نور آن مقداری برسطح زمین جابه‌جا می‌شود. در حالت دوّم چراغ قوه را با زاویهٔ کمتری نسبت به سطح زمین نگه دارید. اگر همان 10° جابه‌جائی صورت گیرد، می‌بینید که نور چراغ قوّه از مسافت بیشتری برسطح زمین عبور می‌کند. در مورد خورشید گرفتگی نیز وضعیّت شبیه این است با این تفاوت که در آن جاگذر تمام سایهٔ ماه از سطح زمین مطرح است.

ج ۲ـ با افزایش سرعت حرکت تمام سایهٔ ماه، مدّت زمان خورشید ـ گرفتگی کلی در بخشهای شرقی ایران کمتر می‌شود.



مسیر جهانی خورشیدگرفتگی‌های کلی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۳۰ میلادی.
آیا می‌توانید در این تصویر خورشیدگرفتگی‌های مربوط به هر دورهٔ ساروس را بیابید؟

پیوست ـ ۱

زاویه سنجی و همایش در آسمان

بر کرهٔ آسمان نمی‌توانیم از مقایسهای سانتی‌متر و متر و اینچ استفاده کنیم. مقیاسهای طولی برای تعیین مکان اجرام به کار نمی‌روند. بر کرهٔ آسمان به معیار دیگری به نام اندازه‌گیری زاویه‌ای نیاز داریم. معمولاً اندازه‌گیری زاویه‌ای در آسمان برحسب ثانیه (″) و دقیقه (′) و درجه (°) کمان صورت می‌گیرد. هر ۱ درجه برابر ۶۰ دقیقه و هر ۱ دقیقه برابر ۶۰ ثانیه است. برای مثال وقتی می‌گوییم: قطر زاویه‌ای خورشید °۰/۵ است، بدین معنی است که اگر از چشمتان دو خط فرضی یکی به بالای قرص خورشید و دیگری به پائین قرص آن کشیده شود، زاویه‌ای که این دو خط با هم می‌سازند، °۰/۵ یا ′۳۰ است. در نتیجهٔ کمانی که بر کرهٔ آسمان این دو نقطه را به هم وصل می‌کند برابر °۰/۵ درجه کمان است.

پیمایش و زاویه سنجی در آسمان دشوار نیست و در آغاز کار نیازی به داشتن دستگاه زاویه‌سنج دقیق (تئودولیت) نیست.

پیمایش را می‌توان با دست هم انجام داد. یک مشت کامل با اندازه‌ای متوسط در فاصلهٔ بازو از چشم °۱۰ از آسمان را می‌پوشاند. در همین فاصله یک وجب °۲۰ و انگشت سبابه °۱ و چهار انگشت بسته °۶/۵ از آسمان را می‌پوشانند. اگرچه زاویه‌سنجی با این روش تقریبی است. امّا کارآیی زیادی دارد. وقتی می‌گویند جسمی از افق °۱۰ ارتفاع دارد، یعنی تقریباً به اندازهٔ یک مشت دست (در فاصلهٔ بازو از چشم) از لبهٔ افق بالاتر است.

پیوست ـ ۲

قدر ظاهری

وقتی به ستاره‌ها می‌نگریم بارزترین تفاوت آنها، اختلاف درخشندگی ظاهری آنهاست. این مسأله همواره مورد توجه اخترشناسان بوده است.

درخشندگی ظاهری ستاره‌ها را برای ناظر زمینی «قدرظاهری» می‌گویند. اساس قدر ظاهری را «اَبَرخُس» دانشمند یونان قدیم بنیانگذاری کرد. او ستارگان را برحسب درخشندگی ظاهری به شش گروه تقسیم کرد و این گروهها را قدر نامید.

اخترشناسان یونان درخشانترین ستارگان قابل مشاهده را در قدر اول و کم نورترین را در قدر ششم جای می‌دادند. از آنجایی که چشم، اختلاف بین قدرها را یکسان می‌بیند، به نظر می‌آید که ستاره‌ای از قدر دوم فقط یک بار نورانی‌تر از ستارهٔ قدر سوم است. سرانجام در قرن نوزدهم با به کارگیری دستگاههای دقیق نورسنجی معلوم شد که فاصلهٔ قدرها با درخشندگی یکسان نیستند و واکنش چشم انسان به نورانیت حالت لگاریتمی دارد. اندازه‌گیریها نشان دادند که ستاره‌ای از قدر ششم، صدبار کم نورتر از ستاره‌ای از قدر اول است. به این ترتیب دو ستاره‌ای که یک قدر اختلاف دارند، اختلاف درخشندگی آنها به اندازهٔ ریشهٔ پنجم عدد ۱۰۰ است.

$\sqrt[5]{100} = 2/512 \sim 2/5$

براین اساس ستارهٔ قدر اول، ۲/۵ بار نورانی‌تر از ستارهٔ قدر دوم و $2/5^2$ بار یا ۶/۳ بار نورانیتر از ستارهٔ قدر سوم و... است.

توجه کنید که کم نورترین ستاره‌هایی را که ما با چشم غیرمسلّح

تشخیص می‌دهیم از قدر ششم هستند.

*** مقیاس قدر دو ویژگی اساسی دارد:**

۱ـ این مقیاس، مقیاس معکوسی است، به این معنی که اعداد بزرگتر قدر نشان دهندهٔ اجرام کم‌نورترند.

۲ـ این مقیاس، لگاریتمی است یعنی تغییرات درخشندگی با تغییرات قدر یکسان نیست.

جدول زیر قدر ظاهری برخی از اجرام آسمانی را نشان می‌دهد.

خورشید	-۲۶/۵
ماه (در هنگام بدر)	-۱۲/۵
سیارهٔ زهره	-۴/۴
مشتری	-۲/۵
شعرای یمانی	-۱/۵

فهرست منابع

فارسی:

* باقری، محمّد، رسولی، فریبرز آماده شوید! مجلهٔ نجوم شمارهٔ ۸۱ (خرداد ۱۳۷۷)

* جمعی از نویسندگان، همه چیز دربارهٔ گرفت ۲ آبان، مجلهٔ نجوم شمارهٔ ۴۸ (شهریور ۱۳۷۴)

* شرمینی، نادر، شناخت نجوم، تهران، انتشارات سازمان کتابهای جیبی، ۱۳۴۵

* فرزان، مهدی، فن عکاسی، مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر، تهران، ۱۳۶۶

* قاسملو، فرید، خورشیدگرفتگی کلی مرئی در ایران، چهارشنبه ۲۰ مرداد ۱۳۷۸، گروه تاریخ علم، بنیاد دایرةالمعارف اسلامی (آگهی شمارهٔ ۶)

* مدیر شانه‌چی، محسن، گرفتگیهای ماه و خورشید، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۶۵

انگلیسی:

* Codona, J.L, *The Enigma of shadow Bands,* Sky & Telescope, May 1991.

* Covington, M.A, *Astrophotography for the Amateur,* Cambridge university press, 1985.

* Dixon, R.T, *Dynamic Astronomy,* prentic - Hall, Inc., 1989

* Espenak, F., and Anderson, J. *Total solar Eclipse of 1999 August 11,* Nasa Refrence publ, 1997.

* Espenak, F., and Anderson, J. *Total solar Eclipse of 1995 october 24* , Nasa Refrence publ, 1994.

* Espenak, F., *The Millenium's last total Ecliplse,* Sky & Teleacope, April 1998.

*Levy, D., *The sky a user's guide,* Cambridge university press, 1994.

* Muriden, J., *Sky watcher's Handbook,* W.H. freeman spektrum publ., 1993.

* Newton J. and Teece,p. *The Guide to Amateur Astronomy,* Cambridge university press, 1995.

* Seeds, M.A, *Foundations of Astronomy,* wadsworth publishing company, 1990.

* Sidgwick, S.B, *observational Astronomy for Amateurs,* Enslow publ., 1982.

واژه‌نامهٔ فارسی ـ انگلیسی

	الف
اثر حلقهٔ الماس	diamond ring effect
اسد (صورت فلکی)	Leo
اوج خورشیدی	aphelion
اوج زمینی	apogee
	ب
بیلی، فرانسیس	Baily, Francis
	ت
تاج	corona
تاج نگار	coronograph
تمام سایه	umbra
	ح
حضیض خورشیدی	perihelion
حضیض زمینی	perigee
	خ
خط مرکزی	center line
خورشیدگرفتگی	solar eclipse
خورشیدگرفتگی جزئی	partial solar eclipse
خورشید گرفتگی حلقوی	annular solar eclipse
خورشید گرفتگی حلقوی ـ کلی	annular - total eclipse
خورشید گرفتگی کلی	total solar eclipse

	د
Baily's beads	دانه‌های بیلی
ecliptic	دایرةالبروج
	ز
solar prominences	زبانه‌های خورشیدی
Universal Time	زمان جهانی
Venus	زهره
	س
Saros	ساروس(چرخه)
Eclipse year	سالِ گرفتگی
Shadow	سایه
Negative Shadow	سایهٔ منفی
	ش
Sirius	شعرای یمانی
	ص
Constellation	صورت فلکی
	ع
Mercury	عطارد
Astro - photography	عکس‌برداری نجومی
	ف
Chromospher	فام سپهر
Eclipse seaons	فصول گرفتگی

ق

Angular Diameter	قطر زاویه‌ای

گ

Node	گره
Ascending node	گره صعودی
Descending node	گره نزولی
Lunar nodes	گره‌های ماه

م

Draconic Month	ماه اژدهایی
Synodic Month	ماه هلالی
new Moon	ماه نو
Saros Series	مجموعه ساروس
Mars	مریخ

ن

General Relativity	نسبیت عام
Shadow bands	نوارهای سایه‌ای
Penumbra	نیم‌سایه

آشنایی با مؤلف کتاب

حمیدرضا گیاهی یزدی از سال ۱۳۶۵ در زمینه‌های گوناگون نجوم رصدی و محاسباتی (به صورت آماتوری) فعالیت کرده است. آخرین مدرک تحصیلی وی کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی است ودر حال حاضر با گروه تاریخ علم بنیاد دایره‌المعارف اسلامی در زمینه پژوهش تاریخ نجوم همکاری میکند. تدوین حدود ۵۰ مقاله در مجله نجوم از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷ و عضویت یکساله در هیئت تحریریه مجله مزبور، تدریس اخترشناسی در مرکز رصدخانه کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان در سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۶، تدریس در دوره های آموزشی مربیان درکانون مزبوروکانون فرهنگی - تربیتی، همکاری با برنامه نجومی ((سیری در سپهر)) در شبکه - ۲ صدای جمهوری اسلامی ایران ، ایراد سخنرانی در زمینه‌های گوناگون نجوم رصدی در فرهنگسراهای بهمن، اندیشه، شفق، سرپرست برنامه رصد گروه دانشجویان فیزیک دانشگاه گیلان در خورشیدگرفتگی ۲ آبان ۱۳۷۴، ترجمه مجموعه کتابهای چهار جلدی آسمان پرستاره ازدیگر فعالیت‌های مؤلف کتاب حاضر است .

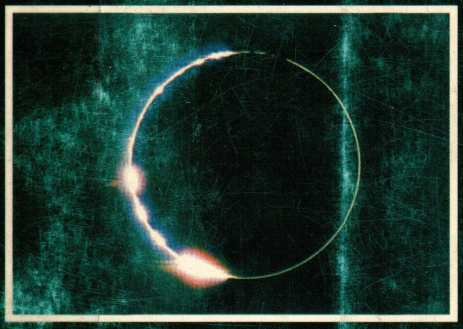
شرح تصاویر پشت جلد

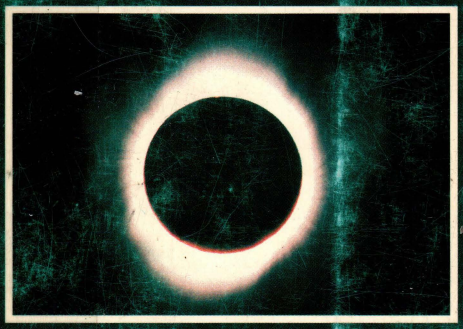
ستون راست از بالا به پائین: * خورشید گرفتگی حلقوی در ۴ ژانویه ۱۹۹۲ در کالیفرنیای آمریکا * مرحله گرفتگی جزئی (میان تماس اول و دوم) درخورشیدگرفتگی کلی ۲ آبان ۱۳۷۴ درایران

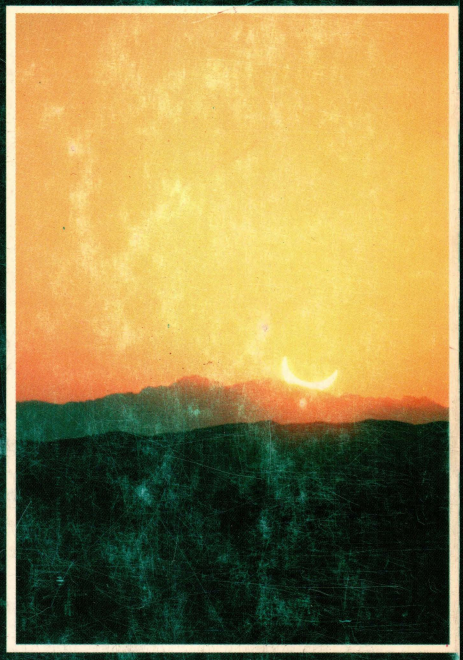
ستون چپ: دانه‌های بیلی در خورشید گرفتگی کلی ۱۱ ژوئیه ۱۹۹۱ * فام سپهر (هاله سرخ رنگ لبه قرص تیره خورشید) وتاج خورشیدی در گرفتگی کلی ۲ آبان ۱۳۷۴ در هند * اثر حلقه الماس پس از تماس سوم درگرفتگی ۲ آبان ۱۳۷۴ در روستای فورگ در ایران

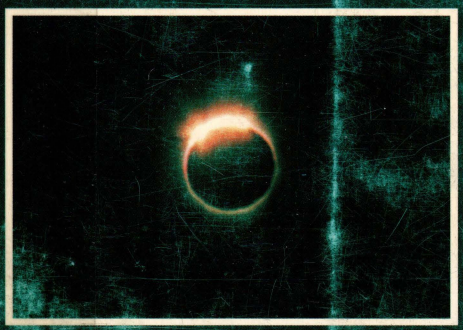
کتابخانه مجازی ریاضیات

SOLAR ECLIPSE









نشر کنگره

شابک ۸-۰-۹۰۵۸۵-۹۶۴
ISBN 964-90585-0-8