

طیف‌شناسی؛ کلید ستارگان

آشنایی با خطوط طیفی ستارگان

کیث رابینسون

ترجمهٔ حسن عبدی

سرشناسه	: رابینسون، کیت
عنوان و نام پدیدآور	: طیف‌شناسی؛ کلید ستارگان (آشنایی با خطوط طیفی ستارگان) / کیت رابینسون؛ ترجمه
مشخصات نشر	: تهران: آرنا، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۲۷۳ص.
شابک	: 978-600-356-627-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: Spectroscopy : the key to the stars, reading the lines in stellar spectra
موضوع	: ستاره‌ها -- طیف‌ها -- دستنامه‌های آماتوری
موضوع	: Stars -- Spectra -- Amateurs' manuals
موضوع	: طیف‌سنجی نجومی -- دستنامه‌های آماتوری
موضوع	: Astronomical spectroscopy -- Amateurs' manuals
شناسه افزوده	: دی، حسن، ۱۳۵۸ - مترجم
رده بندی کنگره	: QB۸۷۱/۲۹ ۱۳۹۶
رده بندی دیویی	: ۵۲۳.۸۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۷۳۰۸



عنوان	: طیف‌شناسی؛ کلید ستارگان (آشنایی با خطوط طیفی ستارگان)
مترجم	: حسن عبدی
ناشر	: آرنا
ویراستار	: رحیمه مقصودی
چاپ	: اول ۱۳۹۶
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۲۲۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۳۵۶-۶۲۷-۹

فهرست مطالب

۱	سخن نویسنده
۵	مقدمه: عصر طلایی ستاره‌شناسان غیر حرفه‌ای
۱۱	مبانی؛ نور، تابش و اتم
۱۱	نور
۲۱	تابش الکترومغناطیسی
۲۳	آغاز طیف شناسی
۲۶	تابش جسم سیاه: کامل‌ترین طیف
۳۲	تولد تئوری کوانتوم
۳۶	اتم‌ها
۴۱	خلاصه
۴۳	اسرار خطوط؛ ترازهای انرژی ساختار اتم
۴۴	ترازهای انرژی
۴۷	انرژی الکترون‌ها
۴۹	گذارهای الکترون
۵۴	پراکنشگی

همه چیز در اعداد کوانتومی خلاصه می شود..... ۵۸

نظم در هرج و مرج؛ خطوط طیفی..... ۶۷

الکترون های رقصان؛ رقص تانگو دو نفره است..... ۷۴

خلاصه..... ۸۳

دوست قدیمی مان، اثر دوپلر..... ۸۵

امواج حرکت..... ۸۵

اثر دوپلر چگونه می دهد؟..... ۸۶

خلاصه..... ۹۵

شناسایی خطوط طیفی..... ۹۷

الگوی خط..... ۹۸

پهنای معادل..... ۹۹

جمعیت اتم ها..... ۱۰۲

ترازهای انرژی ارتعاشی..... ۱۰۳

نقش اثر دوپلر..... ۱۰۷

تلاطم..... ۱۱۲

در فشار بسیار بالا..... ۱۱۳

وابستگی..... ۱۱۴

چه پهنایی الگوی خط است؟..... ۱۱۸

خلاصه..... ۱۲۶

طیف ستارگان و یادیار مشهور..... ۱۲۷

جو ستارگان..... ۱۲۷

جذب بیوسته..... ۱۲۹

جذب خطی..... ۱۳۳

زدهای طیفی..... ۱۳۷

بهین شدگی خط..... ۱۴۲

تصاویر لحظه‌ای طیفی..... ۱۴۶

چند نکته درباره نمودار هرتسپرونگ-راسل..... ۱۴۹

خلاصه..... ۱۵۱

سرد ولی ناملایم: طبقه مولکولی ستارگان قرمز..... ۱۵۳

جو ستارگان در مقابل ارمایشگاه شمسی..... ۱۵۴

کارهایی که مولکول‌ها انجام می‌دهند..... ۱۵۵

خلاصه..... ۱۶۸

در تاریکی می‌درخشد؛ خطوط نشری و سحابی..... ۱۷۱

آنچه بالا رفته پایین می‌آید..... ۱۷۱

باز ترکیب..... ۱۷۴

باز یافت و فروافت فوتون..... ۱۷۶

سحابی نازک و ضخیم..... ۱۷۸

فلونورتابی..... ۱۸۳

تابش ممنوعه..... ۱۸۵

لبه سحابی..... ۱۸۸

۱۹۰ خلاصه

۱۹۱ حلقه‌های درخشان؛ قرص‌های برافزایشی

۱۹۱ مدل‌سازی اختر فیزیکی

۱۹۴ تشریح دیسک برافزایشی

۱۹۵ مدل‌سازی

۲۰۵ مدلی

۲۱۱ مدلی توسعه یافته

۲۱۲ خلاصه

۲۱۳ الگوی پی‌دج‌اچ و دوستان

۲۱۳ بهترین نمونه الگوی پی‌دج‌اچ

۲۱۵ هندسه برونشازشی باد

۲۱۷ الگوی پی‌دج‌اچ ستارگان سرد

۲۱۹ راز الگوی پی‌دج‌اچ در ستارگان همزیست

۲۲۳ خلاصه

۲۲۵ مغناطیس طیفی؛ اثر زیمن

۲۲۵ بزرگی میدان مغناطیسی چقدر است؟

۲۲۶ کمی بیشتر درباره الکترون‌های داخل اتم

۲۲۷ تکانه

۲۲۸ تکانه زاویه‌ای

۲۲۹ دنیای شگفت‌انگیز x, y, z

۲۳۱..... ورود میدان مغناطیسی

۲۳۵..... گذارهای الکترونی در میدان مغناطیسی

۲۳۶..... در جهت عکس میدان مغناطیسی

۲۴۲..... بهنای شکافتگی خطوط

۲۴۲..... اتم‌های مرکب

۲۴۳..... میدان مغناطیسی بسیار بالا

۲۴۴..... خلاصه

۲۴۵..... منحنی رشد

۲۴۵..... فراوانی

۲۴۷..... یک تجربه آزمایشگاهی

۲۴۹..... کمی از تئوری

۲۵۲..... با جزئیات بیشتر

۲۵۵..... تعیین فراوانی

۲۵۷..... خلاصه

۲۵۹..... پیوست: ثابت‌ها و فرمول‌های فیزیکی

۲۵۹..... ثابت‌ها

۲۶۰..... فرمول‌ها

سخن نویسنده

به تازگی، طبق روال همیشگی در جلسه انجمن نجوم شهر حضور یافتم. سخنران جلسه یکی از ساره‌شناسان غیر حرفه‌ای بود و درباره CCD های نجومی صحبت می‌کرد. همین‌که به صحبت‌هایش گوش می‌دادم به نظرم رسید، کتاب حاضر برای خیلی از افراد حاضر در این جلسه بسیار مفید و قابل استفاده است. سخنران جلسه ابتدا درباره عکاسی با CCD صحبت کرد و سپس چند نظر عکس‌هایی را که خودش با CCD گرفته بود به حضار نشان داد. عکس‌ها تحسین خیلی از حضار را برانگیخت. بعد، نتایج فتومتری چند ستاره متغیر را ارائه کرد که حاکی از تلفیق سرگرمی‌اش با یک مطالعه علمی مفید بود. در نهایت، آخرین کارهایش را در زمینه طیف‌شناسی ارائه نمود و راه‌پای آن تأکید کرد. از سخنران جلسه درباره قدرت تفکیک‌پذیری ضیفی مناسب برای غیر حرفه‌ای‌ها سؤال کردم و ایشان با شور و شوق به آن جواب دادند و گفتند که قدرت تفکیک‌پذیری زیر یک آنگستروم برای غیر حرفه‌ای‌ها قدرت نسبتاً مناسبی است. قانع شدم و خیلی از حرف‌هایش را مطابق با کتاب حاضر یافتم که برای عموم مردم نوشته شده است.

علاقه‌ام به نجوم به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد؛ کودکی بیش نبودم و ابزار چندانی در اختیار نداشتم. ولی یادم است که از دو حوزه مثل بیماری طاعون می‌بایست دوری می‌کردم. یکی از این حوزه‌ها اخترشناسی رادیویی بود؛ در آن زمان این رشته بیشتر با الکترونیک سروکار

داشت تا ستاره‌ها و البته از تصاویر باکیفیت و شگفت‌انگیز امروزی هم خبری نبود، جز چند خط نمودار که بر صفحات مخصوصی [اغلب نگاتیوهای قدیمی عکاسی] درج شده بود. حوزه دیگر، طیف‌شناسی بود که به نظر می‌رسید با فیزیک پیشرفته‌ای درگیر باشد. آنچه می‌دانستم این بود که خطوط طیفی، حاوی اطلاعاتی از عناصر تشکیل‌دهنده ستاره‌ها است و خطوط انتقال، سرخ و آبی نیز حاکی از حرکت اجسام نجومی است. در هر حال، طیف‌شناسی قطعا در دستور کار مشاهدات نجومی ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای قرار نداشت.

با رشد فناوری، همه این‌ها تغییر کرد. امروزه ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای با دوربین عکاسی مجهز به CCD (دوربین‌های دیجیتال) که به طیف‌سنج خانگی متصل هستند، به راحتی طیف‌شناسی نجومی انجام می‌دهند. اگرچه فیزیک مربوط به آن چندان تغییری نکرده است، ولی مطالب آن، فراتر از فیزیک دبیرستان است. تقریباً اکثر کتاب‌هایی که در زمینه طیف‌شناسی نجومی نوشته شده‌اند کتاب‌هایی هستند که چندان توجهی به مخاطبینشان نکرده‌اند و به قول معروف "همه را از دم تیغ گذرانده‌اند". حتی در شان دوره کارشناسی نیز از چنین کتاب‌هایی استفاده نمی‌کنند. به غیر از کتاب "طیف‌شناسی غیرحرفه‌ای عملی" نوشته استفان تونکین^۲ که توسط اسپرینگر^۳ منتشر شده است، کتاب مفید و قابل استفاده برای ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای در زمینه طیف‌شناسی بسیار کمیاب است. البته قبل از ۱۹۸۰ نیز کتاب نسبتاً

^۱ Practical Amature Spectroscopy

^۲ Tonkin, Stephen

^۳ Springer

خوبی با عنوان "طیف شناسی نجومی"^۱ توسط تاگری^۲ نوشته شده بود که دیگر چاپ نمی شود و اطلاعات آن به روز نیست.

کتاب کاربردی تونکین درباره روش های عملی طیف شناسی نجومی برای ستاره شناسان غیر حرفه ای، منبع خوبی برایم بود. کاملاً روشن است که نیاز به کتابی درباره مبانی تئوری طیف شناسی نجومی، امری اجتناب ناپذیر است و از آنجایی که مخاطبین، اطلاعات چندانی درباره فیزیک طیف شناسی نجومی در سطح دانشگاه ندارند، لذا امیدوارم، این کتاب پاسخگوی نیاز ستاره شناسان غیر حرفه ای در زمینه طیف شناسی نجومی باشد و به خوبی نیاز آن ها را برآورده سازد. این کتاب، درباره نحوه تشکیل طیف نجومی و فرایندهای فیزیکی مربوط به آن است و تا حد امکان، مباحث فیزیکی، فراتر از فیزیک دبیرستان اجتناب شده است. تمامی مباحث فیزیکی از ابتدا تا آخر به طور کامل با جزئیات بیشتر، با ریاضیات ساده در حد جایگذاری در معادله و بدون استناد از روابط پیچیده ریاضی، شرح داده شده است.

شاید یکی دو موضوع ناآشنایی باشد که در نگاه اول کمی پیچیده به نظر برسد، ولی حوصله کنید و به دقت مطلب را تا آخر بخوانید و اگر لازم شد، باره مطالعه کنید. امیدوارم، این کتاب جهت درک اتفاقاتی که در طیف های تان رخ می دهد، شما کمک کند و خیلی زود دریابید که طیف شناسی نجومی، گنجینه ای از اطلاعات هیجان انگیز و مهم، فراتر از شناسایی خطوط طیف است. طیف شناسی نجومی واقعا کاری بسیار جذاب است و یقین دارم که شما با خواندن این کتاب سعی خواهید کرد تا اطلاعات بیشتری کسب کنید.

^۱ Astronomical Spectroscopy

^۲ A.D. Thackeray

مقدمه: عصر طلایی ستاره‌شناسان غیر حرفه‌ای

گوستا کیرشهف در سال ۱۸۲۴ متولد شد. او به همراه رابرت بونزن اساس طیف‌شناسی مدرن را پایه‌ریزی کرد. برحسب اتفاق سال بعد ۱۸۲۵، فیلسوف مشهور فرانسوی آگوست کنت^۱ اعلام کرده بود که دانش انسان به ساختار ستارگان دست‌نیافتنی است. نقل‌قول که امروزه باعث خنده مردم دانشمند است. در طول دهه ۱۹۶۰ پدر آنجلو ساشی^۲ هم ستارگان را بر اساس طیفشان طبقه‌بندی کرد. تا آغازی بر طیف‌شناسی نجومی باشد.

اواخر قرن نوزدهم، مصادف با عصر طلایی نجوم غیر حرفه‌ای بود؛ ولی باید اذعان کرد که در آن دوران ستاره‌شناسان غیر حرفه‌ای معمولاً پول و وقت کافی برای انجام کارهایشان برخوردار بودند. آن‌ها از ابزارهای خاصی چون تلسکوپ‌های زمینی مثل میکرومتر بیفیلار که جزء ابزار کار حرفه‌ای‌های عصر بود بهره می‌بردند. همچنین در لیست اموال رصدخانه هر ستاره‌شناس غیر حرفه‌ای نجیب‌زاده‌ای به احتمال زیاد یک طیف‌نگار منشوری هم یافت می‌شد که آرایشی از چند عدسی و منشور کوچک در داخل یک لوله بود که به یک چشمی در انتهای تلسکوپ متصل می‌شد؛ ابزارهایی که جهت بررسی و تفسیر طیف ستارگان مورد علاقه ستاره‌شناسان غیر حرفه‌ای کافی به نظر می‌رسید. البته در آن زمان، درباره خطوط

^۱ August Comte

^۲ Father Angelo Secchi

مرموزی که در طیف ستارگان خودنمایی می‌کرد، اطلاعات چندانی در دست نبود، به‌جز چند خطی که نشانگر وجود عناصر شیمیایی معینی در ستاره بود. سر ویلیامز هاگینز^۱ با مقایسه طیف ستارگان با طیف مشابه آزمایشگاهی پی به جابجایی‌های کوچکی برده بود که از دور و یا نزدیک شدن ستاره نسبت به کره زمین ناشی می‌شد. با این وجود، سال‌ها طول کشید تا چگونگی تشکیل خطوط مرموز و الگوهای ایجادشده، در دهه‌های اول قرن بیستم، توسط دانشمندان به‌طور دقیق توضیح داده شود.

با شروع قرن بیستم، دهان طلایی نجوم غیرحرفه‌ای به پایان خود رسید و نجوم حرفه‌ای با ابزارهای پیشرفته و نظریه‌های توسعه‌یافته و کامل شده، به سرعت با گام‌هایی بلند در حال پیشرفت بود. حتی نیروتمندترین حرفه‌ای‌ها هم از قافله عقب‌مانده بودند و توان مقابله با تلسکوپ‌های بزرگی چون تلسکوپ بزرگ ۱۰۰ اینچی ویلسون^۲ را نداشتند. ولی برای ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای از همه بدتر این بود که ستاره‌شناسی حرفه‌ای به خاطر رشد روزافزون طیف‌شناسی نجومی، در مسیر جدیدی به نام اخترفیزیک تکامل می‌یافت. پیشرفت چشمگیر فیزیک نظری و از همه مهم‌تر مکانیک کوانتوم^۳، طیف‌شناسی مشاهده‌ای را به ابزار تحلیلی بسیار قدرتمند برای ستاره‌شناسان حرفه‌ای تبدیل کرد، برخی مکانیک کوانتومی در آن سال‌ها، سؤال‌های بزرگی برای نام‌های بزرگی چون آلبرت اینشتین^۴ مطرح می‌کرد.

با این حال بزرگی جهان و تلاش‌های برخی ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای، نقش کم سو شده آن‌ها را دوباره احیاء کرد و با کشف ستارگان متغیر^۴ عصری تازه برای ستاره‌شناسان

^۱ Sir William Huggin

^۲ Mt. Wilson

^۳ Albert Einstein

^۴ variable stars

غیرحرفه‌ای آغاز شد. تعداد ستارگان متغیر که در اواخر قرن نوزدهم به تعداد انگشت‌های دست نمی‌رسید، تعدادشان در نیمه اول قرن بیستم به هزاران ستاره رسید که بررسی آن‌ها در حد و توان ستاره‌شناسان حرفه‌ای نبود. لذا ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای علاقه‌مند، به یاری حرفه‌ای‌ها شتافتند و در کنار هم به تحقیق و بررسی ستاره‌های متغیر مشغول شدند. بدون شک امروزه یکی از کارهای هیجان‌انگیزی که یک ستاره‌شناس حرفه‌ای یا غیرحرفه‌ای به علاقه‌مندان تازه‌کار یاد می‌دهند ستارگان متغیر است. همواره در زمینه ستارگان متغیر همکاری مثبتی میان ستاره‌شناسان حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای بوده و است و ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای در سطح جهان با بررسی ستارگان متغیر در تهیه داده‌های لازم برای ستاره‌شناسان حرفه‌ای کمک بزرگی کرده‌اند و ستاره‌شناسان حرفه‌ای نیز مشتاقانه در مقالاتشان از داده‌های آن‌ها استفاده می‌کنند.

با وجود این، امروزه با رشد روزافزون علوم با گام‌هایی سریع‌تر، ابزارها نیز ارزان‌تر شده است و بار دیگر ابزارهای به‌روز و قدرتمند با ندرک سرمایه در اختیار ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای نیز قرار گرفته است که قابل مقایسه با ابزارهای ستاره‌شناسان حرفه‌ای است؛ البته به برکت اینترنت و دسترسی به منابع پایگاه داده‌ها این امر تسهیل شده است. دیگر رقابتی میان ستاره‌شناسان حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای بر سر بزرگی تلسکوپ نیست و ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای به راحتی می‌توانند به ابزارهای تحقیق ستاره‌شناسان حرفه‌ای دسترسی داشته باشند و همپای ستاره‌شناسان حرفه‌ای و در کنار آن‌ها فعالیت کنند. چنانکه گفته شد جهان‌هم به حدی بزرگ است که برای هرکسی که می‌خواهد عضوی مؤثر از انجمن ستاره‌شناسان باشد کارهای زیادی تعریف شود. طیف‌شناسی یکی از این کارها است که تا همین اواخر، در میان ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای کم‌کم به فراموشی سپرده‌شده بود ولی امروزه به کمک

CCD و دستگاه‌های مقرون‌به‌صرفه، زمینه لازم برای فعالیت آن‌ها در این عرصه فراهم شده است. انجمن رصدگران ستارگان متغیر امریکا (AAVSO) نمونه‌ای بارز از همکاری ستاره‌شناسان حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای است که در عرصه طیف‌شناسی و نورسنجی ستارگان متغیر فعالیت می‌کنند.

به هر جهت، عدم رفع مبانی تئوری خطوط طیفی مانعی بزرگ است که سوای ریاضیات آن با مکانیک کوانتوم پیچیده‌ای سروکار دارد. احتمالاً اینجا توقف گاه بزرگی برای اکثر طیف‌شناسان غیرحرفه‌ای است. اگر از هر ستاره‌شناس غیرحرفه‌ای بپرسید که چه زمینه‌ای از نجوم را خوب درک نمی‌کنید، قطعاً پاسخ همان طیف‌شناسی است. اگر مقالات محققان ستاره‌شناسان حرفه‌ای را درباره طیف‌شناسی خوانده باشید؛ حتماً با اصطلاحات تخصصی زیادی مواجه خواهید شد که با فیزیک سطح بالا نوشته شده است و بیشتر مناسب دانشجویان سطح کارشناسی و بالاتر است و لذا درگیر ریاضیات سطح بالا هم خواهد بود. درواقع اکثر مخاطبین کتاب‌هایی که درباره طیف‌شناسی نجومی نوشته و نشر شده، مربوط به دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد است که مایه نگرانی بیشتر ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای است. شک ندارم، اگر راهی برای درک بهتر طیف‌شناسی بدون نیاز به اطلاعات سطح دانشگاهی بود، بیشتر ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای مجذوب حوزه طیف‌شناسی می‌شدند. هر ستاره‌شناس غیرحرفه‌ای باتجربه با درکی بهتر از طیف‌شناسی، از مزایای آن بهره‌های زیادی خواهد برد و علل پدیده‌های زیادی چون: عمق خطوط طیفی، پهن‌شدگی خطوط طیفی، خطوط دوقله‌ای و پیچیدگی خطوط طیفی مولکولی و ... را بهتر درک خواهد کرد.

امیدوارم این کتاب سرآغازی برای درک هر چه بهتر چارها و چستی‌های طیف نجومی‌تان باشد. در این کتاب درباره فرایندهایی که در سطح ستاره و سحابی منجر به تشکیل طیف آن‌ها می‌شود اطلاعات خوبی برای ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای مهیا شده است. با مطالعه این کتاب بدون اینکه با فیزیک سطح بالا درگیر شوید، درباره اتفاقات عجیب ستارگان چیزهای زیادی یاد خواهید گرفت. البته به‌طور کلی، دستیابی به بینشی درست از فیزیک کوانتومی بدون نیاز به ریاضیات و تحصیلات دانشگاهی هم مقدور است. به‌عنوان یک طیف‌شناس تنها لازم است اطلاعات از عملکرد مکانیک کوانتوم در داخل اتم اطلاعاتی داشته باشیم و با تعدادی از اصول اساسی آن آشنا شویم، تا به کمک آن‌ها موضوعات مربوطه را تجزیه و تحلیل کنیم که با توجه به ارتباط منطقی با یکدیگر دارند درک خیلی از اتفاقات برای ما آسان خواهد شد.

در این کتاب به‌جز چند عملیات ریاضی ساده، در حد جایگذاری در معادله و چند رابطه ریاضی ساده و بسیار مفید، وارد مسائل سخت ریاضی نخواهیم شد. مثلاً، رابطه ساده‌ای که دمای گاز را به سرعت اتم‌ها نسبت می‌دهد و برای تفسیر پهن‌شدگی خط طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نمونه‌ای بارز از این روابط ساده است. محاسبات بسیار ساده‌ای هم خواهد داشت که با یک ماشین حساب جیبی به راحتی قابل انجام است که طیف‌شناسی غیرحرفه‌ای را جذاب‌تر می‌کند. البته چنین محاسبات ساده‌ای گام به گام توضیح داده‌شده است تا شما را در رسیدن به جواب صحیح کمک کند.

ابتدا موضوعات اصلی و پایه را شرح خواهیم داد و سپس برخی از مهم‌ترین پدیده‌هایی را که در طیف نجومی خودنمایی می‌کنند، توضیح داده خواهند شد و با نحوه عملکردشان

آشنا خواهیم شد. لذا از اجرام نجومی مثل سحابی گازی^۴ یا دیسک برافزایشی^۵ که در آنها نحوه عملکرد فیزیک به‌خوبی نمایان است، استفاده خواهیم کرد. طیف‌ها خود نماینده ستاره‌های واقعی و مانند اجرام نجومی هستند. مثلاً وقتی برای معرفی طیف مولکولی از ستارگان سرخ سرد استفاده می‌کنیم، طیف مولکولی آن بیانگر همه آن چیزی است که می‌خواهیم درباره آن بدانیم.

امیدوارم با مطالعه این کتاب تا آخر، بتوانید طیف‌هایتان به‌خوبی تجزیه و تحلیل کرده و اطلاعات بالارزش از آنها کسب کنید. اطلاعاتی که در عصر طلایی نوین ستاره‌شناسان غیرحرفه‌ای، اطلاعاتی ذی‌و‌مت بالارزشی است.

^۴ gaseous nebulae

^۵ accretion disks