



# اخترفیزیک برای رصدگران



انتشارات



مؤلف: مایک اینگلیس  
مترجم: کامبیز خالقی



## اختریفیزیک برای رصدگران

ناشر: انتشارات خوشخوان

مؤلف: مایک اینگلیس

مترجم: کامبیز خالقی

صفحه‌آرایی: گروه فنی همیمه (پاک‌نژاد ۶۷۴۲۳۰۹۳۲۹۰۹۴-۰۶۶۴۶۴۰۹۴)

طراح جلد: سعیده ترقی‌جاء

چاپ اول: تابستان ۱۳۸۹

تیراژ: ۱۱۰۰ نسخه

قیمت: ؟؟؟؟؟؟ تومان

چاپ: دانش‌پژوه

ISBN: 978-600-5695-08-3

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۹۵-۰۸-۳

آدرس: تهران - خیابان جمهوری - خیابان دانشگاه شمالی - کوچه بهار - پلاک ۴ - طبقه ۲ تلفن: ۶۶۴۹۴۰۲۰

کلیه‌ی حقوق برای ناشر محفوظ است.

در اوایل دهه‌ی ۸۰ که اوج هنرنمایی ناشران کتب کمک آموزشی برای دانش‌آموزان و دانشجویان بود، یافتن کتابی وزین و متین برای دانش‌آموزان و دانشجویان ممتاز که قشر اندکی از کل جامعه را شامل می‌شدند کار بسیار دشوار و در حد غیرممکن بود. این انتشارات با همین قصد و نیت تأسیس گردید که خلأ بازار کتاب را شناسایی کرده و در آن جهت فعالیت کند. در ابتدا برای دانش‌آموزان داوطلب المپیادهای علمی کتب تخصصی تدوین و منتشر کرد که مورد استقبال آن اندک دانش‌آموزان قرار گرفت. در ادامه برای دانش‌آموزان ممتاز و تیزهوش دبیرستان و پیش‌دانشگاهی کتب کمک آموزشی متمایز از کتب موجود در بازار منتشر نمود که شدیداً مورد استقبال آن قشر از جامعه قرار گرفت. باید توجه کرد که انتشار این کتب به خاطر پایین بودن جامعه‌ی آماریشان از نظر مالی مقرون به صرفه نمی‌باشد، به همین دلیل عمده‌ی ناشرین از نشر کتب برای این افراد همت چندانی نمی‌کنند اما با توجه به سیاست این انتشارات مایه‌ی مباحثات است صرف‌نظر از سود مادی خدمت به افراد ممتاز (گرچه قلیل باشند) سرلوحه‌ی فعالیت‌ها قرار گیرد.

در همین راستا نشر سلسله کتبی در مورد نجوم و ستاره‌شناسی موجب افتخار خواهد بود. از عموم خوانندگان گرامی تقاضا می‌آید نظرات و پیشنهادات خود را با این انتشارات در میان بگذارند تا ضمن استفاده‌ی بهینه از آن‌ها، در ادامه‌ی فعالیت‌مان دلگرم باشیم. ما را از دعای خیرتان فراموش نکنید.

رسول حاجی‌زاده  
مدیر انتشارات خوشخوان

حضور نجوم و نجوم آماتوری در میان مردم سابقه‌ای نزدیک به دو دهه دارد. اگر بخواهیم صفحات تاریخ حضور فعال منجمان در ارگان‌های مختلف را ورق بزنیم، نخست با برنامه رادیویی «سیری در سیهر» مواجه می‌شویم که از شروع دهه هفتاد خورشیدی در رادیو آغاز به کار کرد و تا بعد از کسوف معروف سال ۱۳۷۸ نیز ادامه یافت. این برنامه را که شروعی بر آغاز حضور گسترده نجوم در صدا و سیما بود به جرأت می‌توان یکی از تأثیرگذارترین عوامل در عمومی‌سازی دانش آسمانی نجوم قلمداد کرد.

در دهه‌ی هفتاد خبری از اینترنت و دیگر رسانه‌های زیرمجموعه نبود و حتی همین تلویزیون خودمان هم محدود به دو، سه کانالی می‌شد که مجبور بود تمامی نیاز خبری و اطلاع‌رسانی جامعه را یکجا برطرف کند و دیگر جایی برای اختصاص برنامه‌های خاص علمی باقی نمی‌ماند. در زمینه انتشارات هم وضعیت مشابهی حکمفرما بود و به جز چند کتاب مانند نجوم به زبان ساده، نجوم دینامیکی، ساختار ستارگان و کهکشان‌ها و غیره، که در دوره‌ای با انتشارشان عطش فراوان مخاطبان را پاسخگو شدند منابع دیگری به چشم نمی‌خورد. اما امروزه با افزایش تعداد مخاطبان و دسترسی آنان به منابعی مثل اینترنت باعث شده تا نیاز به کتابی منظم و منسجم که با تغییرات اندکی در اطلاعات ما از کیهان در صحت مطالبش خلل کمتری وارد شود یا قابلیت به‌روزرسانی آن مانند کتاب‌های خارجی در چاپ‌های دوم و سوم وجود داشته باشد، ضروری به نظر برسد.

این روند کم‌کم رو به بهبود نهاد، تا جایی که امروز شاهد چندین کانال تلویزیونی و رادیویی هستیم که خوشبختانه با مدیریت مدیران فرهیخته و علمی، توجه خاصی را به جامعه‌ی نجومی ایران مبذول داشته‌اند و سال‌هاست که با پخش برنامه تلویزیونی «آسمان شب» در شبکه‌های ۲ و ۴ سیما و اخیراً برنامه‌های «چوگان فلک» از رادیو جهانی صدای آشنا و «روی موج نجوم» از رادیو تهران تقاضای جامعه‌ی نجومی را به داشتن تریبونی ثابت و جایگاهی برای عمومی‌سازی نجوم پاسخگو بوده‌اند. اما امروز نجوم ایران در جایگاه دیگری قرار دارد، امروز هم اینترنت هست هم ماهواره هم گرادیه‌ی عظیم مطبوعات و کتاب‌های نجومی لاتین که در اکثر فروشگاه‌های نجومی و اخیراً غیرنجومی هم یافت می‌شوند.

امروز نجوم ایران در مرحله‌ای نزدیک به تولید اطلاعات پذیرفتنی رصدی در عرصه‌ی بین‌الملل قرار دارد، اولین نشانه‌های این دگرگونی هم در رویت رسیده است. در دوره‌ای از تاریخچه کوتاه نجوم آماتوری افراد زیادی آمدند، علاقه‌مند شدند، فعالیت کردند، چهره شدند و امروز ...

امروز خیل عظیمی از آنان با نجوم خداحافظی کردند. نه از این رو که دیگر آسمان را دوست ندارند. مگر می‌شود! بارها شاهد بوده‌ایم افرادی که امکانات مناسب

رصدی هم هلال (که در سال‌های اخیر تخصصی‌تر به آن نگاه شده) به منحصه ظهور ندارند تنها با يك نگاه ساده از پشت تلسکوپ در یکی از برنامه‌های رصدی، مشتری پرو یا قرص مجلات و کتاب‌های نجومی می‌شوند. این افراد نه از باب خستگی از آسمان بلکه از این باب که «دیگر سحابی جبار را چند بار می‌توان دید؟» با جامعه‌ی نجومی خداحافظی کرده‌اند. شاید این جمله کمی سطحی به نظر برسد اما در پشت آن خیل عظیمی از انتقادات نهفته است. ما امروزه منجمان جوان زیادی داریم که بعضاً از روی عشق به آسمان، نجومی شده‌اند و گروهی نیز با نگاه به انجام فعالیت علمی قدم در عرصه‌ی نجوم محاسباتی، المبیاد نجوم و گاه فعالیت‌های تخصصی‌تر گذاشته و می‌گذارند. سرنوشت عاشقان که مشخص است اما مگر در سایر کشورهای دنیا و در رده آماتوری چه ابزار پیشرفته‌تری دارند که ما امروز نداریم. به لطف خدا و تلاش عده‌ای از دوستان در تهیه تجهیزات نجومی امروز دیگر رصدگران برای تهیه يك چشمی ساده ماه‌ها چشم به در نمی‌دوزند تا روی پستیچی بسته‌ای را تحویل بدهد تا شاید محتویاتش معیوب و بعضاً نابود شده باشد. امروز در هر کجای ایران که باشیم ظرف ۲۴ ساعت ابزار موردنیاز در اختیارمان قرار می‌گیرد. حال چرا این همه امکانات فقط صرف رصد و عکاسی از اجرام اعماق آسمان و در باقی شرایط تست کردن سرعت رصد انجام می‌شود. مگر نه این است که با همان دوربین دیجیتال ساده‌مان می‌توانیم نخستین گام‌ها را برای انجام فعالیت‌های علمی - پژوهشی نظیر طیف‌سنجی، تفکیک ستاره‌های خوشه‌های کروی یا بررسی ابرنواخترها و ... برداریم. این قدم‌ها معمولی‌ترین کارهایی است که می‌توانیم با همان ابزاری که در اختیارمان قرار دارد انجام دهیم.

این‌ها را نگفتم تا به این نتیجه برسم که نجوم آماتوری، هیچ با زحمات پیشگامان نجوم ایران تا به امروز را زیر سؤال ببریم زیرا که آنچه تا به امروز انجام شده بهترین کارها در دوه زمانی خودشان بوده است. می‌خواهم بگویم: اگر عاشقان آسمان دوست دارند از آنچه می‌بینند عکاسی کنند و شاید به این روش توانایی‌های نجومی خود را به معرض نمایش بگذارند، اما کار در اینجا متوقف نشود. جامعه نجومی جوان ایران می‌تواند با همین امکاناتی که در اختیار دارد در پروژه‌های رصدی بین‌المللی شرکت کند و در يك کلام می‌تواند آهسته، آهسته به سمت تولید محتوای علمی گام بردارد.

با توجه به آنچه گفته شد بسیار خرسندیم که از اوایل پاییز امسال (۱۳۸۹) مجموعه کتاب‌های نجومی با حداکثر دقت در تألیف و با همکاری بهترین و معتبرترین اساتید نجوم کشور آماده تقدیم به دانش‌پژوهان محترم کرده‌ایم که به

مرور عناوین مختلف آنها در انتشارات خوشخوان و با همکاری دوست و استاد ارجمند جناب آقای حاجی زاده مدیر محترم انتشارات و تحت عنوان يك شاخه‌ی جدید در فعالیت‌های این گروه انتشاراتی به دست دوستان منجم خواهد رسید. البته این بدان معنی نیست که کتاب‌های حاضر را عاری از هرگونه اشتباه می‌دانیم که انسان فالذاته جای الخطا بوده و عاری بودن از خطا مختص ذات مقدس حق تعالی است. بنابراین از همه‌ی شما دانش پژوهان گرامی که هم اکنون آماده‌ی استفاده از این کتاب هستید تقاضا می‌کنم که مشکلات احتمالی خود را با آدرس پستی انتشارات در میان بگذارید و بر ما ببخشید.

در پایان ذکر این نکته را ضروری می‌دانم که هدف از تألیف کتب اخیر علاوه بر فراهم آوردن خوارك خام و تدریس مطالب موردنیاز برای دانش آموزان علاقه‌مند به شرکت در المپیاد نجوم، ایجاد بستری مناسب برای اغنای علمی گروه‌های نجومی و منجمان نیز بوده است و همان‌طور که گفته شد در راستای شروع دوره‌ای که من نام عصر نوین نجوم آماتوری در ایران را به آن می‌دهم (حرکت‌های بسته و گریخته دیگری نیز در همین راستا و پیش از این انجام شده بود اما با توجه به این که فراهم کردن منابع مهم‌ترین گام در آغاز این عصر طلایی خواهد بود، امیدوارم که این حرکت پیش‌قراول خوبی برای آغاز رسمی این دوره باشد)، آماده و ترجمه می‌شود و امید آن داریم که این حرکت اقدامی مفید برای شروع دوره نوین نجوم آماتوری و احیای دوره سابق باشد تا به مرور زمان و ظرف دو، سه سال آینده با مشکلات کمتری برای پژوهندگان این علم مواجه باشیم و حرکت علمی و رو به جلویی در نجوم آماتوری شکل گیرد و به جایگاه رفیعی که ایران عزیزمان در دنیای نجوم باستان داشته است برگردیم.

به پایان آمد این دفتر حکایت همچنان باقی

به صد دفتر نشاید گفت حسب الحال مشتاقی

و من الله توفیق

کامبیز خالقی

تهران - پاییز ۱۳۸۹

### برای پدر و آلن که به ستارگان پیوسته‌اند

بار دیگر، قلم به دست گرفته و سفری را آغاز کردم تا به شرح پیچیدگی‌های زیبا و پر رمز و راز ستارگان، کهکشان‌ها و سایر اجرامی که در میان آن‌ها قرار دارد، بپردازم. سفری که راه‌ها و پیچ و خم‌های بسیاری در آن وجود داشت و باعث شد ساعت‌های متمادی را با این نگرانی بگذرانم که مبادا بیش از حد به شرح و بسط يك موضوع خاص، یا خلاصه‌گویی افراطی که باعث نامفهوم شدن مطلب در جای دیگری از نوشته‌هایم شود. به هر حال نهایتاً کتاب به بازار آمد و این بار سنگین از دوش من، بر زمین نهاده شده و باعث شد تا هم‌اکنون نسخه نهایی کتاب در اختیار شما قرار گرفته باشد. در تمام طول نگارش این کتاب به اندازه‌ی کافی خوش شانس بوده‌ام که از حمایت ناشرم، هری بلوم، برخوردار باشم، کسی که در مقام يك اخترشناس حرفه‌ای به خوبی می‌داند که مؤلفان اخترشناسی تافته‌ای جدا بافته‌اند و باید با ملاطفت و بردباری با آن‌ها برخورد نمود. همچنین باید از دوست عزیزم، جان واستون، از همکاران اسپرینگر، نیز تشکر نمایم، که موافقت خود را پس از خواندن اولین چکیده‌ی کتاب اعلام نمود. ایشان خود، از اخترشناسان آماتور است و دقیقاً می‌داند چه مطالبی باید در يك کتاب گنجانده شود و شاید مهم‌تر از همه، چه چیزهایی باید از آن حذف گردد! از خوش اقبالی من است که در محضر چند تن از بزرگ‌ترین متخصصان جهان تلمذ کرده‌ام و هنوز هم آشنایی با آنان مایه‌ی مباهات من است. در کمال فروتنی باید بگویم که این افراد نه تنها اخترشناسانی برتر چه در حوزه‌ی نظری و چه مشاهده‌ای هستند بلکه آموزگارانی خارق‌العاده نیز هستند. افرادی همچون کریس کیچین، آلن مک کال، آین نیکولسون، رابرت فارست و مرحوم لومارش. آن‌ها بهترین اساتید من بوده‌اند.

دکتر مایک اینگلیس

لانگ آیلند، آمریکا، ۲۰۰۶

برای اکثر افراد عادی، اخترفیزیک - علم ستارگان، کهکشان‌ها و جهانی که در آن زندگی می‌کنیم - عنوانی است که در سطح کتب دانشگاهی می‌توان یافت و بنابراین راهنمای اخترفیزیک برای اخترشناسان آماتور، در نگاه اول، معنا و مفهومی نخواهد داشت. ولی من به شما اطمینان می‌دهم که هرکسی می‌تواند بفهمد یک ستاره چگونه متولد می‌شود، زندگی می‌کند و می‌میرد، چگونه کهکشان‌ها متحول می‌شوند و شکل آن‌ها، دربارهی منشاء و سن آن‌ها چه به ما می‌گوید، و حتی چطور عالم آغاز شده و چطور به انتها خواهد رسید. در واقع در این مبحث به ریاضیات اندکی نیاز است، و اگر هم از ریاضی استفاده شود، چیزی در حد ضرب، تقسیم، تفریق و جمع می‌باشد.

به علاوه، اجسام شگفت‌انگیزی در آسمان شب دیده می‌شوند که مبهم‌ترین مفاهیم اخترفیزیک را شرح خواهند داد. تمام آن چه نیاز دارید، شوق یادگیری و یک آسمان تیره در شب است.

آموختن نکاتی دربارهی فرآیندهای منجر به شکل‌گیری ستاره، یا آن چه به هنگام مرگ آن رخ می‌دهد، یا حتی علت این که شکل بعضی کهکشان‌ها مارپیچی است و بعضی دیگر بیضوی هستند. مشاهدات شما را لذت بخش‌تر خواهد کرد. برای مثال بسیاری از اخترشناسان آماتور، ستاره‌ی رجل الجبار، در صورت فلکی جبار را می‌شناسند، اما چند نفر از شما می‌دانید که این ستاره جزء غول‌هاست، جرم آن ۴۰ برابر خورشید است و تقریباً نیم میلیون برابر درخشان‌تر از آن می‌باشد؟ چند نفر از شما می‌دانید که نزدیک‌ترین کهکشان بزرگ به ما،  $M31$  در ام‌راه‌المسلسله، یک سیاهچاله‌ی ابر جرم در مرکز خود پنهان کرده است که جرم آن ۵۰ میلیون برابر خورشید است؟ یا این که سحابی جبار، که به عقیده‌ی برخی برترین سحابی در آسمان است، در واقع در یک شیرخوارگاه بزرگ ستاره‌ای است، که در همین لحظه که شما در حال خواندن این کتاب هستید، ستارگانی در حال متولد شدن در آن هستند؟ دانستن هر کدام از این نکات لذت مشاهدات شما را دو چندان خواهد کرد.

هر بخش از این کتاب به جنبه‌ی خاصی از اخترفیزیک می‌پردازد. بخش اول بر مفاهیمی تکیه می‌کند که برای درک کامل مابقی کتاب به آن نیازمندید، به همین علت این بخش در عناوین مختلفی همچون درخشانی، جرم، فاصله‌ی ستارگان و غیره، تقسیم بندی شده است. سپس به ابزار کار یک اخترشناس، برای مثال طیف‌نمایی خواهیم پرداخت. حقیقت است اگر بگوییم تقریباً تمام آن چه در مورد ستارگان و کهکشان‌ها می‌دانیم با استفاده از این تکنیک مهم به دست آمده است.



زمان زیادی را صرف پرداختن به آن چه نمودار هر تسپرونگ - راسل نامیده می‌شود، نموده‌ایم؛ اگر مفهومی یا نموداری بتواند زندگی يك ستاره (و حتی يك خوشه‌ی ستاره‌ای) را به طور خلاصه شرح دهد، آن نمودار  $H - R$  است. این نمودار شاید مهم‌ترین و سودمندترین مفهوم در کل تحولات اختری باشد و باید بگوییم که با درك این نمودار، شما نحوه‌ی تكامل يك ستاره را فهمیده‌اید.

در مورد اجسام آسمانی، با شكل‌گیری ستارگان از غبار و گاز آغاز می‌کنیم و بحث را با به انتها رسیدن زندگی ستاره پایان می‌دهیم که به رویدادی تماشایی به نام ابرنواختر ختم شده و به پیدایش ستارگان نوترونی و احتمالاً سیاهچاله‌ها می‌انجامد! سپس در يك مقیاس بزرگ، به کاوش در کهکشان‌ها، شكل آن‌ها (یا ریخت شناسی)، توزیع آن‌ها در فضا و منشاء آن‌ها می‌پردازیم.

عناوین مورد بحث به نوعی، گلچین شده‌اند و در ذیل هر مورد، مثال‌هایی از آن را می‌توان مشاهده نمود؛ بنابراین در هر نقطه از این سفر، يك بخش مشاهده‌ای به توصیف اجسامی خواهد پرداخت که به بهترین وجه عناوین مورد بحث را تشریح خواهند نمود. بسیاری از اجسام، چه ستاره، سحابی یا کهکشان با معمولی‌ترین ابزار بصری قابل رؤیتند و بسیاری را نیز می‌توان با چشم غیر مسلح مشاهده نمود. در چند مورد استثنایی، به تلسکوپ یا دهانه‌ی متوسط نیاز است. البته اجسام قابل مشاهده را نمی‌توان با آن‌ها دید، بلکه تنها عده‌ای از آن‌ها (که معمولاً درخشان‌ترین هستند). این مثال‌ها به شما اجازه می‌دهند به شیوه‌ی خود نکاتی را درباره‌ی ستارگان، سحابی‌ها و کهکشان‌ها بیاموزید و چشم اندازی مفصل از اجسام شگفت انگیزی که ممکن است اکثر ما در آسمان شب مشاهده نماییم، به دست آورید.

برای آن دسته که با ریاضیات آشنایی دارند، قسمت‌هایی تحت عناوین خاص، آورده شده است. اما شجاع باشید و نترسید - برای خواندن و فهمیدن این کتاب نیاز به دانستن ریاضی ندارید؛ این قسمت‌ها فقط به این منظور آورده شده‌اند تا بر بعضی مکانیزم‌ها و اصول اخترفیزیک تکیه کرده و آن را بیشتر شرح دهند. با این حال اگر با ریاضیات مشکلی ندارید، به شما توصیه می‌کنم این بخش‌ها را بخوانید، زیرا درك شما از مفاهیم مختلف را بالاتر خواهد برد و به دست آوردن پارامترهایی همچون، سن و طول عمر ستاره، فاصله، جرم و درخشانی آن را به شما خواهد آموخت. ریاضیات ارائه شده در این کتاب، بسیار ساده بوده و در حد يك دانش آموز کلاس چهارم می‌باشد. در واقع برای ساده‌تر شدن ریاضی از تقریب‌های ساده (اما کاملاً قابل قبول) سود جسته‌ایم و از محاسبات پیش پا افتاده‌ای استفاده کرده‌ایم که به طور شگفت انگیزی پاسخ‌های درست به ما می‌دهند.

يك خواننده‌ی موشکاف بلافاصله متوجه می‌شود که ما در این کتاب از نقشه ستارگان استفاده نکرده‌ایم. علت آن ساده است: در کتاب‌های قبلی که نوشته‌ام، نقشه‌ی ستارگان گنجانده شده بود. اما اندازه‌ی آن‌ها انتقاداتی را برانگیخت. بعضی از خوانندگان عقیده داشتند که نقشه‌ها بسیار کوچکند و من نیز با آن‌ها موافقم. ارائه‌ی يك نقشه‌ی دقیق و بزرگ از اجسام مورد اشاره در این کتاب، به دو برابر شدن حجم آن و سه برابر شدن هزینه می‌انجامید. با وجود کثرت نرم افزارهای موجود از نقشه‌ی ستارگان برای خوانندگان آسان‌تر خواهد بود که نقشه‌ی خود را تهیه نمایند، تا این که آن را در این کتاب داشته باشند.

نکته‌ی آخر که می‌خواهم بر آن تأکید کنم این است که این کتاب را می‌توان به چند روش مطالعه نمود. مطمئناً شما می‌توانید از ابتدا آغاز کرده و تا آخر، آن را بخوانید. اما اگر علاقمند به موضوع خاصی هستید، مثلاً ابرنواختر و مرحله‌ی نهایی زندگی ستارگان، یا خوشه‌های کهکشانی، می‌توانید مستقیماً به سراغ بخش مورد نظر بروید. بعضی از اسامی ممکن است نا آشنا به نظر بیایند، اما سعی من بر این بوده است که کتاب را با توضیحات کافی نگارش نمایم تا مسئله‌ای در این باب پیش نیاید. به علاوه، بسیاری از شما ممکن است مستقیماً به سراغ فهرست مشاهدات بروید. کتاب را به هر طریقی که دوست دارید مطالعه نمایید. بدون هیاهوی بیشتر، بیایید سفر اکتشافی خود را آغاز کنیم.

تذکر:

آه خوب، درست است - ما گاهی از توان و یا ضرب اعداد در خودشان استفاده می‌کنیم. ولی فقط همین... راستش را می‌گوییم!

## فهرست مطالب

۱	ابزارکار	فصل ۱
۱		۱-۱ فاصله
۵		۱-۱-۱ نزدیک‌ترین ستارگان به ما
۸		۲-۱ روشنایی و درخشندگی
۱۰		۳-۱ قدر
۱۳		۱-۳-۱ درخشان‌ترین ستاره‌ها
۱۷		۴-۱ رنگ
۲۰		۱-۴-۱ ستارگان رنگی
۲۲		۵-۱ اندازه و جرم
۲۴		۱-۵-۱ بزرگ‌ترین ستارگان
۲۵		۶-۱ اجزا سازنده ستارگان
۲۶		۷-۱ طیف و طیف‌نمایی
۲۹		۸-۱ طبقه‌بندی ستارگانی
۳۱		۱-۸-۱ رشته طیفی
۴۱		۹-۱ نمودار هرتسپرونگ - راسل
۴۳		۱۰-۱ نمودار $H - R$ و شعاع ستاره‌ای
۴۵		۱۱-۱ نمودار $H - R$ و درخشندگی ستاره‌ای
۴۶		۱۲-۱ نمودار $H - R$ و جرم ستاره‌ای
۴۹		۱۳-۱ تذکرات
۵۳	محیط میان ستاره‌ای	فصل ۲
۵۳		۱-۲ مقدمه
۵۵		۲-۲ سحابی‌ها
۵۵		۳-۲ سحابی‌های گسیلی
۵۸		۱-۳-۲ درخشان‌ترین سحابی‌های گسیلی
۶۲		۴-۲ سحابی‌های تاریک
۶۴		۱-۴-۲ سحابی‌های تاریک معروف

۶۶	۲-۴-۲ سحابی‌های بازتابی
۶۷	۳-۴-۲ درخشان‌ترین سحابی‌های بازتابی
۶۸	۵-۲ سحابی‌های بازتابی
۶۹	۶-۲ پیش‌ستاره‌ها
۷۰	۷-۲ معیار جینز
۷۳	۸-۲ تذکرات

## فصل ۳ ستارگان ۷۵

۷۵	۱-۳ تولد یک ستاره
۷۸	۲-۳ تکامل پیش از رشته اصلی و اثر جرم
۸۳	۳-۳ اتلاف جرم و بهره جرم
۸۳	۱-۳-۳ ستارگان تی ثور
۸۴	۲-۳-۳ قرص (دیسک)ها و بادهای
۸۵	۴-۳ خوشه‌ها و گروه‌های ستاره‌ای
۸۵	۱-۴-۳ خوشه‌های ستاره‌ای کهکشانی
۹۱	۲-۴-۳ خوشه‌های ستاره‌ای درخشان
۹۸	۳-۴-۳ نهرها و اجتماعات ستاره‌ای
۹۹	۴-۴-۳ اجتماعات و نهرهای ستاره‌ای درخشان
۱۰۰	۵-۳ علل شکل‌گیری ستارگان
۱۰۲	۶-۳ خورشید - نزدیک‌ترین ستاره
۱۰۳	۱-۶-۳ از هسته تا سطح
۱۰۵	۲-۶-۳ زنجیره پروتون - پروتون
۱۰۸	۳-۶-۳ انتقال انرژی از هسته به سطح
۱۰۹	۷-۳ ستارگان دوتایی و جرم ستاره‌ای
۱۰۹	۱-۷-۳ ستارگان دوتایی
۱۱۱	۲-۷-۳ ستارگان دوتایی رویت‌پذیر
۱۱۴	۳-۷-۳ جرم ستارگان مدار پیما
۱۱۵	۸-۳ طول عمر ستارگان رشته اصلی
۱۱۹	۹-۳ ستارگان غول سرخ
۱۲۱	۱-۹-۳ غول‌های سرخ درخشان

۱۲۲	۳-۱۰ هلیوم سوزی و جرقه هلیمی
۱۲۳	۳-۱۰-۱ هلیوم سوزی
۱۲۴	۳-۱۰-۲ جرقه هلیمی
۱۲۵	۳-۱۱ خوشه های ستاره ای، غول های سرخ و نمودار $H - R$
۱۲۷	۳-۱۲ خوشه های ستاره ای پس رشته اصلی : خوشه های کروی
۱۳۰	۳-۱۲-۱ خوشه های کروی درخشان
۱۳۳	۳-۱۳ ستارگان تپنده
۱۳۴	۳-۱۳-۱ چرا ستارگان می تپند؟
۱۳۶	۳-۱۳-۲ متغیرهای قیفاووسی و رابطه تناوب - درخشندگی
۱۳۸	۳-۱۳-۳ قیفاووسی ها: دما و جرم
۱۳۹	۳-۱۳-۴ ستارگان متغیر آر آر شلیاق با دوره تناوب طولانی
۱۴۰	۳-۱۳-۵ متغیرهای قیفاووسی درخشان
۱۴۱	۳-۱۴ متغیرهای آر آر شلیاق درخشان
۱۴۲	۳-۱۴-۱ متغیرهای دراز دوره
۱۴۲	۳-۱۵ مرگ ستارگان
۱۴۳	۳-۱۶ شاخه مجانبی غول
۱۴۵	۳-۱۷ لایروبی ها
۱۴۶	۳-۱۸ اُفت جرم و بادهای ستاره ای
۱۴۶	۳-۱۹ ستارگان فروسرخی
۱۴۷	۳-۲۰ پایان زندگی یک ستاره $AGB$
۱۴۸	۳-۲۰-۱ ستارگان کربنی درخشان
۱۵۰	۳-۲۱ سحابی های سیاره ای
۱۵۳	۳-۲۱-۱ سحابی های سیاره ای درخشان
۱۵۶	۳-۲۲ کوتوله های سفید
۱۵۷	۳-۲۲-۱ واکنشی الکترون
۱۵۷	۳-۲۲-۲ حد چاندرا سکار
۱۵۸	۳-۲۲-۳ تحول کوتوله سفید
۱۶۰	۳-۲۲-۴ منشأ کوتوله های سفید
۱۶۱	۳-۲۲-۵ کوتوله های سفید درخشان
۱۶۲	۳-۲۳ ستارگان پرجرم و سوخت هسته ای

۱۶۴	۱-۲۳-۳ ابرغول‌های درخشان
۱۶۵	۲۴-۳ آهن، ابرنواختران و شکل‌گیری عناصر
۱۶۹	۱-۲۴-۳ باقی‌مانده ابرنواختر
۱۷۱	۲-۲۴-۳ انواع ابرنواختر
۱۷۲	۲۵-۳ نتیجه نهایی تحول ستارگان پرجرم : تب اخترها، ستارگان
۱۷۲	۱-۲۵-۳ تب اخترها و ستارگان نوترونی
۱۷۵	۲-۲۵-۳ سیاهچاله‌ها
۱۸۰	۲۶-۳ تذکرات

۱۸۵	فصل ۴ کهکشان‌ها
۱۸۵	۱-۴ مقدمه
۱۸۵	۲-۴ انواع کهکشان‌ها
۱۸۶	۳-۴ ساختار کهکشانی
۱۸۷	۴-۴ جمعیت‌های ستاره‌ای
۱۸۸	۵-۴ طبقه‌بندی کهکشان‌ها توسط هابل
۱۹۰	۶-۴ مشاهده کهکشان‌ها
۱۹۱	۱-۶-۴ کهکشان‌های مارپیچی
۲۰۲	۲-۶-۴ کهکشان‌های مارپیچی میله‌دار
۲۰۴	۳-۶-۴ کهکشان‌های بیضوی
۲۰۸	۴-۶-۴ کهکشان‌های عدسی شکل
۲۱۰	۷-۴ کهکشان‌های فعال و AGN‌ها
۲۱۳	۱-۷-۴ درخشان‌ترین کهکشان‌های فعال
۲۱۷	۸-۴ عدسی گرانشی
۲۱۹	۹-۴ انتقال به سرخ، فاصله و قانون هابل
۲۲۰	۱۰-۴ قانون هابل
۲۲۰	۱۱-۴ خوشه‌های کهکشانی
۲۲۱	۱-۱۱-۴ گروه‌ها و خوشه‌های کهکشانی
۲۲۳	۱۲-۴ نکته پایانی
۲۲۴	۱۳-۴ تذکرات



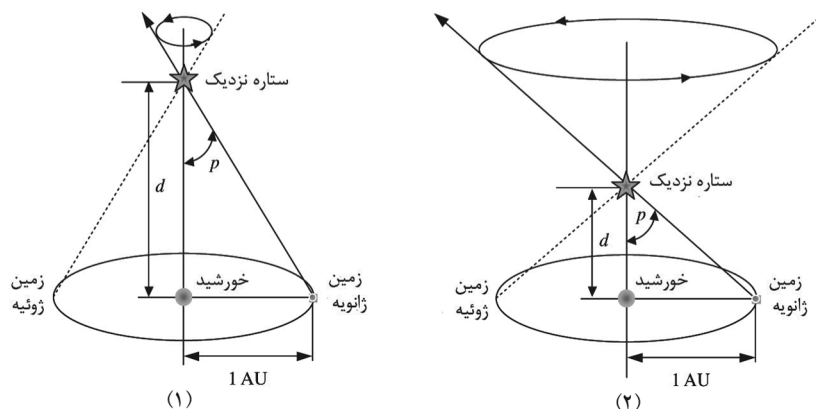
## ۱-۱ فاصله

برای تعیین بسیاری از پارامترهای اصلی هر جسمی در آسمان، ابتدا لازم است میزان نزدیکی آن تا خود را به دست آوریم. بعداً خواهیم دید که این امر از اهمیتی حیاتی برخوردار است، زیرا ظاهر درخشان یک ستاره در آسمان شب، می‌تواند حاکی از نزدیکی آن به ما و یا دال بر درخشندگی ذاتی آن ستاره باشد. بالعکس بعضی ستارگان ممکن است به این جهت کم‌نور به نظر برسند که یا در فاصله بسیار دوری از ما قرار گرفته‌اند و یا به خودی خود ستاره کم‌نوری هستند. لازم است بدانیم که کدام یک از این توضیحات در مورد یک ستاره صدق می‌کند. تعیین فاصله در اخترشناسی، همیشه با مشکل و خطا همراه بوده و خواهد بود. هنوز توافقی بر این‌که بهترین روش، کدام است وجود ندارد، به‌خصوص در مورد فاصله تا کهکشان‌های دیگر و تا منتهی‌الیه کهکشان ما، یعنی راه شیری. قدیمی‌ترین روش، که امروزه همچنان مورد استفاده است، احتمالاً دقیق‌ترین روش محسوب می‌شود، به‌خصوص در تعیین فاصله تا ستارگان.

این تکنیک ساده، اختلاف‌منظر (پارالاکس) ستاره‌ای نامیده می‌شود و در واقع اندازه‌گیری زاویه‌ای است وقتی که ستاره از دو مکان مختلف در مدار زمین مشاهده می‌شود. این دو مکان عموماً شش ماه از یکدیگر فاصله دارند و به همین دلیل به نظر می‌رسد که ستاره، نسبت به ستارگان دورتری که در پس‌زمینه قرار دارند، تغییر مکان داده است. اختلاف‌منظر ( $p$ ) ستاره مشاهده شده با نصف زاویه‌ای که به نظر می‌رسد مکان ظاهری ستاره به آن مقدار تغییر نموده، برابر است. هرچه اختلاف‌منظر ( $p$ )، بزرگ‌تر باشد،



فاصله تا ستاره ( $d$ ) کوچک‌تر خواهد بود. شکل ۱-۱ به تشریح این مفهوم پرداخته است. اگر اختلاف‌منظر اندازه‌گیری شده ستاره‌ای، ۱ ثانیه قوس ( $\frac{1}{3600}$  درجه) و خط مبنای آن ۱ واحد نجومی (AU) باشد، که فاصله متوسط زمین تا خورشید است، در این صورت فاصله ستاره ۱ پارسک (pc) خواهد بود - «فاصله جسمی که اختلاف‌منظر آن یک ثانیه قوس است». واژه پارسک از بخش‌های اول کلمات Parallax به معنی اختلاف‌منظر و Second به معنی ثانیه گرفته شده است و پارسک واحدی برای فاصله است که اغلب در اخترشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد<sup>(۱)</sup>.



شکل ۱-۱. اختلاف‌منظر ستارگان. (۱) زمین به دور خورشید می‌گردد و مکان ستاره‌ای که در نزدیکی است، نسبت به ستارگان پس‌زمینه تغییر می‌کند. اختلاف‌منظر ستاره، اندازه‌گیری زاویه‌ای مدار زمین است زمانی که از ستاره رصد می‌شود. (۲) هر چه ستاره نزدیک‌تر باشد، زاویه اختلاف‌منظر (PA) بزرگ‌تر خواهد بود.

فاصله یک ستاره ( $d$ ) بر حسب پارسک عکس اختلاف‌منظر است و معمولاً به این صورت نمایش داده می‌شود:

$$d(pc) = \frac{1}{p''}$$

بنابراین، با استفاده از معادله فوق، ستاره‌ای با اختلاف‌منظر اندازه‌گیری شده  $1/1^\circ$  ثانیه قوس در فاصله  $1^\circ pc$  و دیگری با اختلاف‌منظر  $1/5^\circ$  ثانیه قوس در فاصله  $2^\circ pc$  قرار دارد.

**نکته ۱.** رابطه بین اختلاف‌منظر و فاصله:  $d(pc) = \frac{1}{p''}$

$d$  فاصله تا ستاره که بر حسب پارسک اندازه‌گیری می‌شود.

$p$  زاویه اختلاف‌منظر ستاره بر حسب ثانیه قوس است.

این رابطه‌ی ساده، مهم‌ترین دلیل بیان فواصل نجومی بر حسب پارسک، به جای سال نوری ( $l.y$ ) است. درخشان‌ترین ستاره در آسمان شب شعرای یمانی (آلفا - سگ کوچک) است، که اختلاف‌منظر



آن  $379^\circ$  ثانیه‌ی قوس است. پس فاصله‌ی آن از زمین برابر خواهد بود با:

$$d = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.379} = 2.63 \text{ pc}$$

توجه داشته باشید که  $1 \text{ pc}$  برابر است با  $3.26$  سال نوری. این فاصله را می‌توان به این صورت نیز بیان نمود:

$$d = 2.63 \times \frac{3.26 \text{ l.y.}}{1 \text{ pc}} = 8.6 \text{ l.y.}$$

جای شگفتی است که تمامی ستارگان شناخته شده، زاویه‌ی اختلاف منظرشان کوچک‌تر از  $1^\circ$  ثانیه قوس است. اندازه‌گیری فاصله آن دسته از ستارگان که زاویه‌شان کوچک‌تر از  $1^\circ$  ثانیه قوس است از روی زمین، به دلیل تأثیر اتمسفر بسیار مشکل است؛ این مسئله اندازه‌گیری فاصله را به حدود  $10^\circ$  ( $\frac{1}{10^\circ}$ ) محدود می‌کند. ولی ماهواره هپارکوس که در سال  $1989$  به فضا پرتاب شده، قادر به اندازه‌گیری زاویه اختلاف منظر با دقت  $1^\circ$  ثانیه قوس است و این تعیین فاصله تا حدود  $100^\circ$   $\text{pc}$  را میسر می‌سازد<sup>(۲)</sup>.

اما این پیشرفت بزرگ در تعیین فاصله، تنها برای ستارگانی مفید است که در فواصل نسبتاً نزدیکی قرار دارند. اکثر ستارگان کهکشان، دورتر از آن هستند که بتوان اختلاف منظر آن‌ها را اندازه‌گیری نمود. پس در مورد آن‌ها باید به روش دیگری متوسل شد.

در واقع ستارگان فراوانی هستند که روشنایی آن‌ها تغییر می‌کند (به این‌ها ستارگان متغیر گفته می‌شود). پاره‌ای از این ستارگان در تعیین فاصله نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. اگرچه در مورد جزئیات ویژگی‌های آن‌ها بعداً بحث خواهیم کرد اما اشاره‌ی کوچکی به این ستارگان در این جا خالی از لطف نیست.

دو گونه از ستارگان متغیر در تعیین فاصله مورد استفاده قرار می‌گیرند. ستارگان متغیر قیفاووسی و ستارگان متغیر آر آر شلیاق<sup>(۳)</sup>.

هر دو نوع از این گونه ستارگان در زمره‌ی متغیرهای تپنده، طبقه‌بندی می‌شوند و ستارگانی هستند که قطر آن‌ها به مرور زمان دستخوش تغییر می‌شود. اهمیت این ستارگان در این است که روشنی یا درخشندگی<sup>(۴)</sup> متوسط و تناوب تغییرپذیری آن‌ها به یکدیگر مرتبط است. هرچه مدت زمان تغییر روشنایی ستاره طولانی‌تر باشد (تناوب)، درخشندگی آن بیشتر خواهد بود. به همین دلیل است که نسبت مشهور تناوب به درخشندگی قابل توجیه می‌شود<sup>(۵)</sup>.

اندازه‌گیری تناوب یک ستاره، کاری نسبتاً آسان است و ستاره‌شناسان آماتور نیز قادر به انجام آن هستند. با اندازه‌گیری تناوب، می‌توان درخشندگی ستاره را به دست آورد. با مقایسه درخشندگی، که میزان روشنی ذاتی ستاره است، نسبت به روشنی ظاهری آن در آسمان، می‌توان فاصله‌ی ستاره را به دست آورد<sup>(۶)</sup>.



با استفاده از متغیرهای قیفاووسی به عنوان مرجع تاکنون فواصلی تا حدود  $6^{\circ}$  میلیون سال نوری به دست آمده‌اند.

در روش مشابه دیگری، از ستارگان آر آر شلیاق استفاده می‌شود که درخشندگی آن‌ها از قیفاووسی‌ها کمتر و تناوب آن‌ها نیز کمتر از یک روز است. از روی این ستارگان می‌توان به فواصلی تا  $2^{\circ}$  میلیون سال نوری دست یافت.

راه دیگر تعیین فاصله، استفاده از اختلاف منظر طیفی است، در این روش با یافتن طبقه‌بندی طیفی ستاره، می‌توان درخشندگی ذاتی آن را به دست آورده، و سپس با مقایسه‌ی آن و روشنایی ظاهری، فاصله را تعیین نمود.

روش‌های دیگری نیز وجود دارند که از آن‌ها برای تعیین فاصله‌ی اجسام بسیار دور از ما، یعنی کهکشان‌ها، استفاده می‌شود. در این روش‌ها، متد تالی فیشر<sup>۱</sup> و قانون معروف هابل<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند. به جزئیات بیشتر این روش‌ها، یعنی متغیر قیفاووسی، تالی فیشر و قانون هابل، بعداً خواهیم پرداخت.

در نهایت، نکته‌ای در مورد تعیین فاصله وجود دارد که شایان توجه است. گمان نکنید که با این روش‌ها، مقادیر کاملاً دقیقی به دست می‌آید. این طور نیست. همیشه خطای کوچکی وجود دارد. این خطا معمولاً حدود  $10^{\circ}$  تا  $25^{\circ}$  است و حتی گاهی تا  $50^{\circ}$  خطا نیز وجود داشته است. به خاطر داشته باشید وقتی  $25^{\circ}$  خطا در ستاره‌ای که فاصله آن  $4000$  سال نوری تخمین زده شده است، وجود داشته باشد، بدین معنی است که این ستاره در فاصله‌ای بین  $5000$  سال نوری قرار دارد. در جدول ۱-۱ فهرستی از  $20^{\circ}$  ستاره که در نزدیک‌ترین فاصله به ما واقع شده‌اند، آمده است.

حال بایاید از نقطه نظر مشاهده‌ای، به بحث در مورد پاره‌ای از نزدیک‌ترین ستارگان در آسمان شب بپردازیم. فهرست ذیل (جدول ۱-۱) به هیچ عنوان کامل نیست ولی شامل ستارگانی می‌شود که به آسانی دیده می‌شوند. بسیاری از ستارگانی که نزدیک ما هستند، کم‌نورند و به همین علت مشاهده آن‌ها با اشکال همراه است، به همین دلیل این ستارگان در این فهرست گنجانده نشده‌اند. در تمام طول کتاب، برای نامگذاری ستارگان از روش ذیل استفاده شده است: بخش اول نام رایج ستاره است که پس از آن نام علمی آن آمده است. بخش بعد موقعیت آن به بُعد و میل را نشان می‌دهد و بخش بعد به ماه‌هایی اشاره می‌کند که ستاره برای رصد در بهترین مکان قرار می‌گیرد.

خط بعد داده‌ها و اطلاعات استاندارد ستاره‌ی مورد بحث را نمایش می‌دهد: از جمله، قدر ظاهری و پس از آن قدر مطلق، داده‌های خاص مربوط به ستاره و در نهایت صورت فلکی که ستاره در آن قرار دارد.

1) Tully Fisher    2) Hubble

جدول ۱-۱ ۲۰ ستاره از نزدیک‌ترین ستارگان در آسمان

ردیف	ستاره	فاصله (سال نوری)	صورت فلکی
۱	خورشید	.....	.....
۲	پروکسیما قنطورس	۴٫۲۲	قنطورس
۳	آلفا قنطورس <sup>(۷)</sup> A	۴٫۳۹	قنطورس
۴	ستاره بارنارد <sup>(۷)</sup>	۵٫۹۴	حوا (مار افسای)
۵	وُلف ۳۵۹	۷٫۸	اسد
۶	لالتند ۲۱۱۵۸	۸٫۳۱	دب اکبر
۷	شعرای یمانی <sup>(۷)</sup> A	۸٫۶۰	کلب اکبر
۸	یو - وی قیطس <sup>(۷)</sup> A	۸٫۷	قیطس (نهنگ)
۹	راس ۱۵۴	۹٫۶۹	قوس
۱۰	راس ۲۴۸	۱۰٫۳	امراة المسلسله
۱۱	اپسیلون نهر	۱۰٫۴۹	نهر
۱۲	اچ دی ۲۱۷۹۸۷	۱۰٫۷۳	حوت جنوبی
۱۳	راس ۱۲۸	۱۰٫۸۹	سنبله
۱۴	اچ دی ۶۸۹ - ۷۸۹	۱۱٫۲	دلو
۱۵	۶۱ دجاجة A	۱۱٫۳۵	دجاجة
۱۶	شعرای شامی <sup>(۷)</sup> A	۱۱٫۴۲	کلب اصغر
۱۷	۶۱ دجاجة B	۱۱٫۴۳	دجاجة
۱۸	اچ دی ۱۷۳۷۴۰	۱۱٫۴۷	اژدها
۱۹	اچ دی ۱۷۳۷۳۹	۱۱٫۶۴	اژدها
۲۰	جی ایکس امراة المسلسله <sup>(۷)</sup>	۱۱٫۶۴	امراة المسلسله

### ۱-۱-۱ نزدیک‌ترین ستارگان به ما

مارس - آوریل - می	$۶۲^{\circ}۴۱'$	$۱۴^h ۲۹.۷^m$	$(V \ ۶۴۵ \ Cen)$	پروکسیما قنطورس
قنطورس	$۰^{\circ}۷۷۲''$	$۴/۲۲l.y$	$۱۵/۴۵M$	$۱۱.۰ \ ۱۷^m(A)$

این دومین ستاره نزدیک به زمین و نزدیک‌ترین ستاره به منظومه شمسی است و اگرچه کم‌نور است ولی در این فهرست گنجانده شده است. این ستاره یک کوتوله سرخ و یک ستاره شراری به شمار می‌رود

که به طور مداوم انفجاراتی در آن شکل می‌گیرد و بیشینه دامنه‌ی آن حدود یک قدر است. داده‌های اخیر حاکی از این است که بر خلاف تصورات پیشین، این ستاره، آلفا قنطورس را همراهی نمی‌کند، بلکه در حقیقت در مداری هذلولی به دور آن می‌گردد و تنها از میان منظومه، عبور می‌کند.

دسامبر-ژانویه -فوریه	$16^{\circ}43'$	$6^h45^m1^s$	$\alpha$ (کلب اکبر)	شعرای یمان A
کلب اکبر	$0^{\circ}379''$	$8/61.y.$	$1/45M$	$-1/44m$

شعرای یمانی که به آن ستاره‌ی سگ نیز می‌گویند، بسیار زیباست. این ستاره ششمین ستاره‌ی نزدیک و درخشان‌ترین ستاره در آسمان است. در میان منجمان آماتور این ستاره به دلیل رنگ‌های زیبایی که در نتیجه اثر اتمسفری از خود نمایش می‌دهد، مشهور است. یک ستاره کوتوله همراه این ستاره است، که نخستین نمونه‌ی کشف شده است و جلوه‌ای خیره‌کننده در هر دستگاه بصری از خود به نمایش می‌گذارد.

دسامبر-فوریه -ژانویه	$56^{\circ}13'$	$7^h39^m3^s$	$\alpha$ (کلب اصغر)	شعرای شامی
کلب اصغر	$0^{\circ}283''$	$11/41.l.y.$	$2/68M$	$0/40m$

شعرای شامی از نظر نزدیکی، پانزدهمین و از نظر درخشش، هشتمین ستاره است. این ستاره نیز مانند همسایه‌اش، شعرای یمانی، یک کوتوله‌ی سفید همراه خود دارد اما با تلسکوپ‌های آماتوری رویت‌پذیر نیست.

آوریل-می -ژوئن	$4^{\circ}38'$	$17^h57^m8^s$	$HD21185$	ستاره بارنرد
حوا	$0^{\circ}549''$	$5/94.l.y.$	$13/24M$	$9/54m$

سومین ستاره نزدیک، یک کوتوله سرخ است. آنچه این ستاره را معروف کرده، این است که بزرگ‌ترین حرکت خاص را در میان ستارگان دارد<sup>(۱)</sup> یعنی  $0/4^{\circ}$  ثانیه قوس در سال. سرعت ستاره بارنرد<sup>۱</sup> که ستاره گریزبای بارنرد نیز خوانده می‌شود،  $14^{\circ}km$  در ثانیه است. با این سرعت تنها  $15^{\circ}$  سال طول خواهد کشید تا این ستاره مسافتی برابر با قطر ماه را در پهنه آسمان بپیماید. پیش‌تر گمان می‌شد که این ستاره متعلق به کهکشان «جمعیت هاله» است.

جولای-آگوست -سپتامبر	$38^{\circ}45'$	$21^h06^m9^s$	$V1803cyg$	A دجاجة ۶۱
دجاجة	$0^{\circ}287''$	$11/35.l.y.$	$7/49M$	$5/20Vm$

این ستاره نمونه‌ی خوبی از یک ستاره‌ی دوتایی، با جدایی  $3/3^{\circ}$  ثانیه‌ی قوس و زاویه مکان  $150^{\circ}$  است (به بخش ۷-۳ مراجعه نمایید). هر دو ستاره کوتوله هستند و رنگ نارنجی زیبایی دارند. در واقع این

1) Barnard

اولین ستاره‌ای است که اندازه‌گیری فاصله‌ی آن در سال ۱۸۳۸ توسط اف، دبلیو. بیسل<sup>۱</sup> و با استفاده از اختلاف منظر ستارگانی، با موفقیت انجام شد.

اگوست - سپتامبر - اکتبر	$18,2^h$	$+44^{\circ} 01'$	Grb34	امراه‌المسلسله
امراه‌المسلسله	$0,28''$	$11,65l.y$	$10,33M$	$8,09Vm$

این ستاره یکی از کوتوله‌های سرخ اشاره شده از منظومه‌ای دوتایی است و ستاره‌ی اولیه، خود یک ستاره‌ی دوتایی طیفی محسوب می‌شود.  $GX$  امراه‌المسلسله که نام دیگر آن گرومبریج  $A34$  است، حدوداً در  $25^{\circ}$  شمالی امراه‌المسلسله ۲۶ قرار گرفته است.

اگوست - سپتامبر - اکتبر	$23^h 5,5^m$	$-35^{\circ} 52'$	$HD217987^{(1)}$	Lacille
حوت جنوبی	$0,304''$	$10,73l.y$	$9,76M$	$7,35m$

این ستاره یک کوتوله سرخ است که از لحاظ سرعت حرکت خاص، چهارمین مقام را در میان ستارگان شناخته شده داراست، این ستاره در یک سال مسافتی حدود ۷ ثانیه‌ی قوس را می‌پیماید، بنابراین حدود ۱۰۰۰ سال طول خواهد کشید که از فاصله‌ی زاویه‌ای ماه کامل که  $5^{\circ}$  است عبور نماید. Lacille در منتهی‌الیه جنوب شرقی صورت فلکی خویشت، در  $1^{\circ}$  جنوب شرقی از  $\pi$  حوت جنوبی واقع شده است.

سپتامبر - اکتبر - نوامبر	$17^h 57^m$	$-17^{\circ} 57'$	$(L726 - 8A)$	UV قیطس
قیطس	$0,381''$	$8,56l.y$	$15,42M$	$12,56Vm$

هفتمین ستاره‌ی نزدیک، منظومه‌ای از کوتوله‌های سرخ است که رصد آن‌ها اگرچه بسیار مشکل است، ناممکن نیست. پیشوند UV حاکی از این است که دو عضو آن، ستارگان شراری هستند. در کتاب‌های قدیمی‌تر، ستاره‌ی کم‌نورتر ستاره‌ی شراری لوتین نامیده شده است که از نام کاشف آن دبلیو. جی. لوتین<sup>۲</sup> گرفته شده است که اولین بار آن را در سال ۱۹۴۹ رصد نمود.

اکتبر - نوامبر - دسامبر	$32,9^h$	$-09^{\circ} 77'$	$(HD22049)$	اپسیلون نهر
نهر	$0,311''$	$10,49l.y$	$6,18M$	$3,72m$

دهمین ستاره نزدیک را می‌توان با چشم غیر مسلح مشاهده نمود. مشاهدات اخیر حاکی از این است که ممکن است ستاره‌ای با جرم بسیار کوچک، تقریباً  $48^{\circ}$  جرم خورشید، این ستاره را همراهی نماید که دیده نمی‌شود.

1) F.W.Bessel 2) W.J.Luyten



## ۲-۱. روشنایی و درخشندگی

در آسمان، ستارگان و کهکشان‌های فراوانی وجود دارند که بیشتر انرژی خود را از همان فرآیندی به دست می‌آورند که سوخت خورشید را تأمین می‌نماید. این مسئله بدان معنا نیست که همه‌ی آن‌ها شبیه هستند. ستارگان از جنبه‌های بسیاری همچون جرم، اندازه و غیره با یکدیگر متفاوتند. یکی از مهم‌ترین خصیصه‌های آن‌ها، درخشندگی ( $L$ ) است. درخشندگی اغلب بر حسب وات ( $W$ )، یا ضریبی از درخشندگی خورشید<sup>(۱۲)</sup>،  $L_{\odot}$ ، اندازه‌گیری می‌شود و مقدار انرژی است که ستاره در هر ثانیه از خود گسیل می‌کند. با این حال ما نمی‌توانیم مستقیماً به اندازه‌گیری درخشندگی یک ستاره پردازیم زیرا روشنایی آن، آن‌گونه که از زمین مشاهده می‌شود، به فاصله‌اش و همین‌طور درخشندگی واقعی آن بستگی دارد. برای مثال درخشندگی آلفا قنطورس  $A$  به صورت نقطه‌ای کدر از نور دیده می‌شود، زیرا فاصله‌ی آن از زمین حدود  $۲۸۰۰۰۰$  برابر بیشتر از فاصله‌ی خورشید تا زمین است.

برای به دست آوردن درخشندگی واقعی یک ستاره دانستن روشنایی ظاهری آن ضروری است. روشنایی ظاهری مقدار نوری است که در واحد سطح به زمین می‌رسد<sup>(۱۳)</sup>. هنگامی که نور از ستاره حرکت می‌کند، به تدریج در نواحی بزرگ‌تری از فضا پخش می‌شود و در واقع از آن‌چه قانون عکس مجذور نامیده می‌شود، تبعیت می‌نماید. اگر فاصله‌ی خورشید از زمین دو برابر فاصله‌ی کنونی آن بود، در این صورت با ضریب  $۴ = ۲^۲$  کم‌نورتر به نظر می‌رسید. اگر ما از فاصله‌ی  $۱۰$  برابر فاصله‌ی آن با زمین به خورشید بنگریم، این ستاره  $۱۰^۲$  بار کم‌نورتر به نظر می‌رسد. اگر از مکانی که آلفا قنطورس  $A$  در آن قرار دارد به خورشید بنگریم، نور آن به میزان  $۲۷۰۰۰۰۰^۲$  مرتبه کم‌نورتر می‌شود، یعنی  $۷۰$  میلیارد بار.

قانون عکس مجذور، مقدار انرژی وارده به چشم شما یا یک آشکارساز را شرح می‌دهد. کره‌ای عظیم را با شعاع  $d$  تصور کنید که ستاره‌ای در مرکز آن قرار گرفته است. مقدار نوری که از هر متر مربع از سطح کره‌ی فرضی می‌گذرد درخشندگی کل ( $L$ ) بخش بر مساحت کل کره خواهد بود. حال با توجه به این‌که مساحت کل کره با فرمول  $۴\pi d^۲$  به دست می‌آید، درخواهید یافت که هرچه کره بزرگ‌تر شود،  $d$  افزایش یافته و در نتیجه مقدار روشنایی نیز کاهش می‌یابد. حال فهمیده‌اید که چرا مقدار درخشندگی که از ستاره به زمین می‌رسد از روی فاصله‌ی ستاره به دست می‌آید.

این کمیت، یعنی مقدار انرژی‌ای که به چشم ما می‌رسد، روشنایی ظاهری است که قبلاً به آن اشاره کرده‌ایم (که گاهی فقط روشنایی ستاره نامیده می‌شود) و بر حسب وات بر متر مربع ( $W/m^۲$ ) محاسبه می‌شود.

### نکته ۲. فرمول درخشندگی و فاصله

رابطه‌ی میان فاصله، روشنایی و درخشندگی به صورت  $b = \frac{L}{۴\pi d^۲}$  است، که در این‌جا  $b$  روشنایی ستاره بر حسب  $W/m^۲$  و  $L$  درخشندگی ستاره بر حسب  $W$  و  $d$  فاصله تا ستاره بر حسب  $m$  است.

## مثال ۱

این فرمول را در مورد شعری یمانی که در فاصله ی  $۸/۶l.y.$  قرار دارد به کار می‌بریم.

$۱l.y.$ ،  $۱۰^{۱۵}m$ ،  $۹/۴۶ \times ۱۰^{۱۵}$  است؛ بنابراین  $۸/۶l.y.$  برابر است با

$$۸/۶ \times ۹/۴۶ \times ۱۰^{۱۵} = ۸/۱۴ \times ۱۰^{۱۶}m$$

$$b = \frac{۳/۸۶ \times ۱۰^{۲۶}W}{۴\pi(۸/۱۴ \times ۱۰^{۱۶}m)^2}$$

$$b = ۱ \times ۱۰^{-۷}W/m^2$$

این یعنی آشکارسازی با مساحت  $۱m^2$  (که می‌تواند یک تلسکوپ بازتابی باشد) تقریباً یک - ده میلیونیوم وات انرژی دریافت خواهد کرد!

اخترشناسان با استفاده از آشکارسازهای حساس به نور، روشنایی یک ستاره را اندازه‌گیری می‌نمایند، این روش نورسنجی نامیده می‌شود.

## نکته ۳. درخشندگی، فاصله و روشنایی

برای به دست آوردن درخشندگی یک ستاره، دانستن فاصله و روشنایی ظاهری آن الزامی است. اگر از خورشید به عنوان یک مرجع استفاده کنیم، انجام این کار بسیار ساده است. ابتدا، فرمول را به گونه‌ای دیگر مرتب می‌کنیم پس:

$$L = 4\pi d^2 b$$

حال این فرمول را در مورد خورشید به کار می‌بریم که درخشندگی آن  $L_{\odot}$ ، فاصله ی آن  $d_{\odot}$ ، برابر با  $۱AU$ ، است. در این صورت روشنایی ظاهری خورشید ( $b_{\odot}$ ) به این صورت خواهد بود:

$$L_{\odot} = 4\pi d_{\odot}^2 b_{\odot}$$

حال نسبت دو فرمول فوق را به این صورت می‌نویسیم:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4\pi d^2 b}{4\pi d_{\odot}^2 b_{\odot}}$$

که خواهیم داشت:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{d}{d_{\odot}}\right)^2 \frac{b}{b_{\odot}}$$

بنابراین برای به دست آوردن فاصله ی یک ستاره کافی است بدانیم در مقایسه با فاصله زمین و خورشید، که به صورت  $d/d_{\odot}$  نمایش داده شده است، چقدر دورتر قرار گرفته و در مقایسه با خورشید که به صورت  $b/b_{\odot}$  نمایش داده شده است، از چه مقدار روشنایی برخوردار است.

## مثال ۲

تصور کنید فاصله‌ی ستاره ۱، نصف فاصله ستاره ۲ است، ولی دو برابر درخشان‌تر به نظر می‌رسد. درخشندگی این دو ستاره را با یکدیگر مقایسه کنید. ابتدا،  $d_1/d_2 = 1/2$ ؛ به همین ترتیب،  $b_1/b_2 = 2$ . در این صورت:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 2 = 0.5$$

این یعنی درخشندگی ستاره ۱، نصف درخشندگی ستاره ۲ است، اما روشن‌تر به نظر می‌رسد زیرا به ما نزدیک‌تر است.

## ۳-۱ قدر

احتمالاً به هنگام نگاه کردن به آسمان شب، اولین چیزی که نظر هر کسی را جلب می‌کند، تفاوت درخشش ستارگان است. تعدادی از آن‌ها درخشان هستند، بعضی نسبتاً درخشانند و بیشتر آن‌ها کم‌نورند. این خصوصیت یعنی درخشش یک ستاره قدر آن نامیده می‌شود (این اصطلاح در مورد هر جسم نجومی که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود نیز به کار می‌رود). قدر یکی از قدیمی‌ترین طبقه‌بندی‌های علمی است که امروزه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و توسط منجم یونانی، هیپارکوس، ابداع شده است. وی درخشان‌ترین ستاره‌ها را تحت عنوان ستارگان قدر اول طبقه‌بندی نمود؛ و آن دسته که درخشش آن‌ها نصف دسته‌ی اول بود را ستارگان قدر دوم نامید و الی آخر؛ ستارگان قدر ششم کم‌نورترین ستارگانی بودند که وی توانست آن‌ها را مشاهده نماید<sup>(۱۴)</sup>. امروزه ما قادریم ستارگان کم‌نورتری را نیز ببینیم و به همین جهت رده‌بندی قدرها، تا قدر سی‌ام افزایش یافته است. از آن‌جا که این مقیاس بستگی به مقدار روشنایی ستاره در نظر مشاهده‌کننده‌ی زمینی دارد، این اصطلاح را به‌طور صحیح‌تر، قدر ظاهری می‌نامند و آن را با  $m$  نمایش می‌دهند.

حتماً تاکنون متوجه شده‌اید که این مقیاس‌بندی کمی گیج‌کننده است زیرا اجسام روشن‌تر مقدار قدر کوچک‌تری دارند؛ برای مثال ستاره‌ای با قدر ظاهری ۴+ (قدر چهارم) از ستاره‌ای با قدر ظاهری ۳+ (قدر سوم) کم‌نورتر است. بر خلاف سردرگمی که در کاربرد آن پیش می‌آید، قدر ظاهری در سرتاسر جهان مورد استفاده است و ما درگیر آن شده‌ایم. نکته‌ی دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد این است که از زمان هیپارکوس به بعد، طبقه‌بندی ستارگان دستخوش تغییراتی شده و تلاش‌ها بر این بوده است که این مقیاس بر مبنای علمی پایه‌گذاری شود. در قرن نوزدهم، اخترشناسان توانستند به اندازه‌گیری دقیق نور ستارگان بپردازند و دریافتند که به هنگام مشاهده‌ی ستارگان از زمین، ستاره‌ای با قدر اول حدود  $10^\circ$  بار روشن‌تر از ستاره‌ای با قدر ششم به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر روشنایی  $10^\circ$  ستاره با قدر ششم معادل روشنایی یک ستاره با قدر اول است. پس از آن، تعریف مقیاس قدر به این صورت ارائه شد: اختلاف ۵ قدری دقیقاً با ضریب  $10^\circ$  در روشنایی مطابقت می‌کند (به جدول ۱-۲ مراجعه نمایید) و اختلاف قدر ۱ با ضریب



۲/۵۱۲ در روشنایی برابر است. این مسئله در محاسبه‌ی ذیل نشان داده شده است:

$$۲/۵۱۲ \times ۲/۵۱۲ \times ۲/۵۱۲ \times ۲/۵۱۲ \times ۲/۵۱۲ = (۲/۵۱۲)^5 \simeq ۱۰۰$$

با استفاده از این مقیاس جدید، برخی اجرام دارای قدر منفی شده‌اند. قدر شعری یمانی، درخشان‌ترین ستاره در آسمان،  $۱/۴۴m$  - است؛ زهره (در درخشان‌ترین حالت) دارای قدر  $۴/۴m$  - است و قدر ماه کامل  $۱۲/۶m$  - قدر خورشید  $۲۶/۷m$  - است.

#### نکته ۴. نسبت قدر ظاهری و روشنایی

قدر ظاهری ( $m$ ) و قدر ( $M$ ) هر دو مورد استفاده‌ی اخترشناسان هستند و چند رابطه بین آن‌ها وجود دارد. دو ستاره‌ی  $S_1$  و  $S_2$  را در نظر بگیرید که قدر ظاهری آن‌ها به ترتیب  $m_1$  و  $m_2$  و روشنایی آن‌ها  $b_1$  و  $b_2$  است. رابطه‌ی میان آن‌ها را می‌توان چنین نوشت:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log\left(\frac{b_1}{b_2}\right)$$

این یعنی، نسبت روشنایی ظاهری آن‌ها ( $b_1/b_2$ ) با اختلاف قدر ظاهری آن‌ها ( $m_1 - m_2$ ) مطابقت دارد.

#### مثال ۳

قدر شعری یمانی  $A$ ،  $۱/۴۴$  - است، در حالی که قدر خورشید  $۲۶/۸$  - است. بنابراین نسبت روشنایی آن‌ها به این صورت خواهد بود:

$$\begin{aligned} m_1 - m_2 &= -2.5 \log\left(\frac{b_1}{b_2}\right) - ۱/۴۴ - (-۲۶/۸) \\ &= -2.5 \log\left(\frac{b_{\text{Sirius}}}{b_{\text{sun}}}\right) - ۱۰/۲۱ = \log\left(\frac{b_{\text{Sirius}}}{b_{\text{sun}}}\right) \\ \left(\frac{b_{\text{Sirius}}}{b_{\text{sun}}}\right) &\sim ۱۰^{-۱۰/۱} = ۷/۹ \times ۱۰^{-۱۱} = \frac{۱}{۱/۳۲ \times ۱۰^{۱۰}} \end{aligned}$$

بنابراین، شعری یمانی  $A$ ،  $۱۳/۲$  میلیارد بار کم‌نورتر از خورشید است، اگرچه درخشندگی واقعی آن بیشتر است و در فاصله‌ی دورتری نیز قرار دارد.

مقیاس قدر ظاهری به ما نمی‌گوید که ستاره‌ای درخشان است چون نزدیک به ما قرار دارد، و یا کم‌نور است چون در فاصله‌ی دوری قرار دارد (یا کوچک است)؛ تمام آن‌چه این طبقه‌بندی به ما می‌گوید روشنایی ظاهری ستاره است - یعنی روشنایی ستاره آن‌گونه که با چشم غیر مسلح یا از طریق تلسکوپ مشاهده می‌شود. تعریف قدر مطلق ستاره ( $M$ ) دقیق‌تر است؛ قدر مطلق یک ستاره میزان روشنایی آن

1) Sirius



در فاصله‌ی  $۱۰\text{ pc}$  است. این فاصله قراردادی است و با استفاده از اختلاف منظر ستاره‌ای، تکنیکی که قبلاً به آن اشاره شد، استخراج شده است؛ با این اوصاف قدر مطلق میزان روشنایی ستارگان را به‌طور دقیق‌تری مشخص می‌کند<sup>(۱۵)</sup>. برای مثال قدر مطلق ستاره‌ی زیبای ذنب‌الدجاجة که در آسمان تابستان و در صورت فلکی دجاجة دیده می‌شود،  $۸٫۷۳-$  است که این قدر آن را در زمره‌ی یکی از درخشان‌ترین ستاره‌ها قرار می‌دهد، در حالی که قدر ستاره‌ی فون بیزبروک  $۱۸٫۶+$  است که آن را جزو ستارگان ذاتاً کم‌نور قرار می‌دهد.

جدول ۱-۳، ۲۰ ستاره از درخشان‌ترین ستاره‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ ستاره از درخشان‌ترین ستاره‌ها در آسمان

ستاره	قدر <sup>(۱۶)</sup> ظاهری $m$	صورت فلکی
۱ شعرای یمانی	$۱٫۴۴_{V}^{(۱۶)}-$	کلب اکبر
۲ سهیل	$۰٫۶۲_{V}-$	شاه تخته
۳ آلفا قنطورس	$۰٫۲۸-$	قنطورس
۴ سماک رامج	$۰٫۰۵_{V}-$	گاواران
۵ نسر واقع	$۰٫۰۳_{V}-$	شلیاق
۶ عیوق	$۰٫۰۸_{V}+$	ارابه ران
۷ رجل الجبار	$۰٫۱۸_{V}+$	جبار
۸ شعرای شامی	$۰٫۴۰_{V}+$	کلب اکبر
۹ آخر النهار	$۰٫۴۵_{V}+$	نهر
۱۰ ابط الجوزا	$۰٫۴۵_{V}+$	جبار
۱۱ حضار	$۰٫۶۱_{V}+$	قنطورس
۱۲ نسر طایر	$۰٫۷۶_{V}+$	عقاب
۱۳ نیر نعیم	$۰٫۷۷_{V}+$	چلیپا
۱۴ دبران	$۰٫۸۷_{V}+$	ثور
۱۵ سماک اعزال	$۰٫۹۸_{V}+$	سنبله
۱۶ قلب العقرب	$۱٫۰۵_{V}+$	عقرب
۱۷ رأس التوأم الموحّر	$۱٫۱۶_{V}+$	جوزا
۱۸ فم الحوت	$۱٫۱۶_{V}+$	حوت جنوبی
۱۹ ممحظه	$۱٫۲۵_{V}+$	چلیپا
۲۰ ذنب الدجاجة	$۱٫۲۵_{V}+$	دجاجة

**نکته ۵.** رابطه‌ی میان قدر ظاهری و قدر مطلق

می‌توان برای یافتن فاصله‌ی یک ستاره، از قدر ظاهری آن استفاده نمود، فرمول آن به این صورت است:

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

که در این جا  $m$  قدر ظاهری ستاره  $M$  قدر مطلق ستاره  
 $d$  فاصله تا ستاره (بر حسب pc) است. و به  $m - M$  مدول فاصله گفته می‌شود.

**مثال ۴** شعرای یمانی در فاصله‌ی ۲/۶۳ pc قرار دارد و قدر ظاهری آن ۱/۴۴ - است. بنابراین می‌توان قدر مطلق آن را به این صورت محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} m - M &= 5 \log d - 5 \\ M &= m - 5 \log d + 5 \\ &= 1.44 - 5 \log(2.63) + 5 \\ M &\sim 1.46 \end{aligned}$$

**۱-۳-۱ درخشان‌ترین ستاره‌ها**

در ذیل فهرستی از درخشان‌ترین ستاره‌ها در آسمان آورده شده است. به بعضی از درخشان‌ترین ستاره‌ها در بخش نزدیک‌ترین ستاره‌ها اشاره شده است. برای نظم و ترتیب بیشتر، به آن‌ها اشاره نخواهد شد.

دسامبر - ژانویه - فوریه	$+28^{\circ} 2'$	$7^h 45.3^m$	(بتا جوزا) پولوکس
جوزا	$33.72 l.y.$	$1.09 M$	$1.16 m$

این ستاره یکی از دو ستاره‌ی معروف در صورت فلکی جوزا است و از ستاره‌ی دیگر که کاستور (رأس التوأم المقدم) نامیده می‌شود درخشان‌تر است.

مارس - آوریل - می	$-59^{\circ} 41'$	$12^h 47.7^m$	(بتا چلیپا) ممحظه
چلیپا	$352.1 l.y.$	$-3.92 M$	$1.25 m$

این ستاره در همان میدانی قرار دارد که خوشه‌ی ستاره‌ای درخشان جعبه‌ی جواهر واقع شده است. این ستاره، از ستارگان متغیر تپنده است که در درخشش آن تغییرات اندکی رخ می‌دهد.



مارس - آوریل - می	$-11^{\circ}10'$	$13^h25.2^m$	(آلفا سنبله) سماک اعزل
سنبله	$2621.y.$	$-3.55M$	$0.987m$

این ستاره، پانزدهمین ستاره‌ی درخشان و یک دوتایی طیفی بزرگ است و ستاره‌ی همراهش بسیار نزدیک به آن قرار گرفته است به طوری که اندکی باعث گرفتگی آن می‌شود. سماک اعزال نیز از ستارگان متغیر تپنده است، اگرچه تغییر و تپندگی آن با تجهیزات آماتوری رویت‌پذیر نیست.

مارس - آوریل - می	$-60^{\circ}22'$	$14^h03.8^m$	(بتا قنطورس) حضار
قنطورس	$5251.y.$	$-5.45M$	$0.587m$

این ستاره، یازدهمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است و به علت عرض جغرافیایی پایین (که در فاصله‌ی  $4.5^{\circ}$  از آلفا قنطورس قرار گرفته است) برای ساکنان شمالی رویت‌پذیر نیست. درخشندگی حیرت‌انگیز آن  $10000$  برابر خورشید است. ستاره‌ای سفید که درخشندگی همراه آن  $4.1$  است و از آن جا که تنها  $1.28$  ثانیه‌ی قوس از ستاره‌ی اولیه فاصله دارد، تمیز دادن آن بسیار مشکل است.

مارس - آوریل - می	$+19^{\circ}11'$	$14^h15.6^m$	(آلفا گاوران) سماک رامح
گاوران	$3671.y.$	$-0.10M$	$-0.167m$

سماک رامح که چهارمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است، در شمال خط استوا درخشان‌ترین ستاره به شمار می‌رود. این ستاره رنگ نارنجی زیبایی دارد و به علت حرکت خاصش در فضا جلب توجه می‌نماید. بر خلاف اکثر ستارگان، سماک رامح در صفحه راه شیری حرکت نمی‌کند، بلکه در مداری بسیار شیب‌دار به دور مرکز کهکشان در حال گردش است. محاسبات انجام شده پیش‌بینی نموده‌اند که این ستاره ظرف چند هزار سال از کنار منظومه‌ی شمسی عبور کرده و به سوی صورت فلکی سنبله خواهد رفت. بعضی اخترشناسان بر این باورند که در زمانی کمتر از نیم میلیون سال، سماک رامح دیگر با چشم غیر مسلح رویت‌پذیر نخواهد بود. در حال حاضر این ستاره  $10^{\circ}$  برابر درخشنده‌تر از خورشید است.

آوریل - می - ژوئن	$-60^{\circ}50'$	$14^h39.6^m$	(آلفا قنطورس) رجل قنطورس
قنطورس	$4391.y.$	$4.07M$	$-0.207m$

رجل قنطورس، سومین ستاره‌ی درخشان در آسمان است. در واقع بخشی از یک منظومه‌ی سه‌تایی است که قسمت اعظم نور آن را دو عضو دیگر این منظومه تأمین می‌نمایند. نزدیک‌ترین ستاره به خورشید یعنی پروکسیما قنطورس در این منظومه قرار دارد. این گروه از ستارگان از حرکت خاص بسیار بزرگی برخوردارند (حرکت ظاهری آن نسبت به پس‌زمینه).

آوریل - می - ژوئن	$-26^{\circ}26'$	$16^h29,4^m$	(آلفا عقرب)	قلب العقرب
عقرب	$604l.y.$	$-5,28M$	$1,067m$	

این ستاره یک غول سرخ است که درخشندگی آن  $6000$  برابر خورشید و قطر آن صدها برابر بیشتر از خورشید است. آن چه که باعث می شود این ستاره ارزش نگاه کردن داشته باشد، کنتراست رنگ واضحی است که بین آن و ستاره ی همدمش مشاهده می شود. رنگ ستاره ی همراه، سبز روشن است در حالی که قلب العقرب به رنگ سرخ دیده می شود. ستاره ی همراه از درخشندگی  $5,4$ ، زاویه مکان  $273$  درجه دارد و  $2,6$  ثانیه قوس دورتر قرار گرفته است.

ژوئن - جولای - آگوست	$+38^{\circ}47'$	$18^h36,9^m$	(آلفا شلیاق)	نسر واقع
شلیاق	$25,3l.y.$	$0,58M$	$0,37m$	

این ستاره که پنجمین ستاره ی درخشان است، برای ساکنان شمالی آشناست و در فصل تابستان در اوج آسمان قرار می گیرد. اگرچه از لحاظ ترکیب و اندازه، در واقع شبیه شعرای یمانی است ولی سه برابر دورتر از آن است و به همین دلیل کم نورتر به نظر می رسد. این ستاره غالباً به رنگ آبی فولادی توصیف می شود و از جمله ی اولین ستارگانی است که قرصی از غبار در اطراف آن مشاهده شده است - که احتمالاً می توان آن را حالت اولیه ی یک منظومه ی شمسی در حال شکل گیری تصور کرد. نسر واقع در  $12000$  سال پیش ستاره قطبی به شمار می رفت و پس از  $12000$  سال دیگر، مجدداً ستاره قطبی خواهد شد.

ژوئن - جولای - آگوست	$+8^{\circ}52'$	$19^h50,8^m$	(آلفا عقاب)	نسر طایر
عقاب	$16,77l.y.$	$2,20M$	$0,767m$	

نسر طایر که دوازدهمین ستاره ی درخشان است، افتخار این را دارد که در میان ستارگان درخشان، سریع ترین ستاره در چرخش به دور خود باشد، این ستاره تقریباً هر  $6\frac{1}{4}$  ساعت یک دوره ی گردش را کامل می کند. این سرعت بالا شکل ستاره را به آن چه بیضی پهن نامیده می شود تغییر داده است و در نتیجه ی این ویژگی شگفت انگیز، تصور می رود که قطر استوایی آن دو برابر قطر قطبی آن باشد. رنگ این ستاره کاملاً سفید گزارش شده، اگرچه بعضی زردی کمی در آن مشاهده نموده اند.

آگوست - سپتامبر - اکتبر	$-29^{\circ}37'$	$22^h57,6^m$	(آلفا عقاب)	نسر طایر
عقاب	$25,07l.y.$	$1,74M$	$1,177m$	

این ستاره ی سفید رنگ، هجدهمین ستاره ی درخشان است که به علت تأثیرات اتمسفری در نظر مشاهده کنندگان شمالی متمایل به قرمز به نظر می رسد. این ستاره در منطقه ای خلوت از آسمان قرار گرفته



و جالب است که ستاره‌ای در نزدیکی آن، که هیچ پیوند جاذبه‌ای با آن ندارد، در همان فاصله از زمین قرار گرفته است و به حالتی شبیه فم‌الحوت و در همان مسیر در فضا در حال حرکت است. بعضی فرضیات بر این باورند که این ستاره‌ها از بازماندگان یک خوشه یا اجتماع ستاره‌ای هستند که مدت‌ها پیش پراکنده شده‌اند. این ستاره‌ی نارنجی که قدر آن ۶٫۵ است در  $2^\circ$  جنوبی فم‌الحوت قرار گرفته است.

سپتامبر - اکتبر - نوامبر	$57^\circ 14'$	$1^h 37.7^m$	(آلفا نهر) آخرالنهر
عقاب	$144l.y.$	$-2.77M$	$0.45vm$

این ستاره که نهمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است در منتهی‌الیه جنوبی صورت فلکی عقاب قرار گرفته و برای ناظران شمالی بسیار دور است. در میان ستارگان درخشان، این ستاره از محدود ستارگانی است که در طبقه‌بندی ستارگانی، در کلاس «P» قرار گرفته و این کلاس نشان می‌دهد که ستاره‌ی عجیب است.

اکتبر - نوامبر - دسامبر	$16^\circ 31'$	$4^h 35.9^m$	(آلفا ثور) دَبَران
ثور	$65.11l.y.$	$-0.63M$	$0.87vm$

این ستاره که چهاردهمین ستاره‌ی درخشان است به نظر می‌رسد که در خوشه‌ی ستاره‌ای قلايص واقع شده باشد؛ ولی از لحاظ فیزیکی در این خوشه قرار ندارد و فاصله‌ی آن نصف فاصله‌ی اعضای دیگر خوشه است. این ستاره که به رنگ نارنجی کم‌رنگ است، تقریباً  $12^\circ$  برابر درخشنده‌تر از خورشید می‌باشد. این ستاره از ستاره‌های دوگانه نیز به شمار می‌رود ولی از آن‌جا که ستاره‌ی همراه آن بی‌نهایت کم‌نور است، تفکیک این دو از هم کاری بسیار مشکل است. قدر ستاره‌ی همراه که یک کوتوله‌ی سرخ است،  $13/4$  بوده و با زاویه مکان  $34^\circ PA$ ، در فاصله  $121/7''$  قرار دارد.

نوامبر - دسامبر - ژانویه	$8^\circ 12'$	$5^h 14.5^m$	(بتا جبار) رجل‌الجبار
جبار	$773l.y.$	$-6.69M$	$-0.18vm$

رجل‌الجبار که هفتمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است، درخششی بیشتر از آلفا جبار دارد. این ستاره‌ی اَبَرغول یکی از درخشان‌ترین ستارگان در آن بخش از کهکشان است که ما نیز در آن قرار داریم، درخشندگی آن  $560000$  برابر خورشید است ولی نسبت به دیگر ستارگان درخشان، در فاصله‌ی دورتری قرار دارد. رنگ این ستاره اغلب آبی توصیف می‌شود و از جرم بسیار زیادی برخوردار است - جرم آن حدود  $5^\circ$  برابر خورشید و قطر آن نیز  $5^\circ$  برابر خورشید است. این ستاره همراه آبی‌رنگی دارد که زاویه مکان آن  $20^\circ PA$ ، قدر ظاهری آن  $6/8$  و فاصله‌ی آن  $9$  ثانیه‌ی قوس است. به همین علت با یک

تلسکوپ ۱۵ سانتی متری یا حتی تلسکوپ کوچک تری که در شرایط ایده آل برای رصد، مورد استفاده قرار گرفته است، رویت پذیر است.

نوامبر - دسامبر - ژانویه	$+46^{\circ}00'$	$5^h16,7^m$	(آلفا ارابه ران) عیوق
ارابه ران	$42l.y.$	$-0,48M$	$-0,08V^m$

این ستاره که ششمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است، در حقیقت یک دوگانه‌ی طیف‌نماست، اگرچه با تلسکوپ نمی‌توان آن دو را از یکدیگر تمیز داد؛ با این حال ستاره‌ی کم‌نورتری با قدر دهم، حدود ۱۲ ثانیه‌ی قوس به سمت جنوب شرق و در  $137^{\circ}PA$ ، آن‌ها را همراهی می‌کند. این ستاره یک کوتوله‌ی سرخ است که خود یک ستاره‌ی دوگانه محسوب می‌شود (تنها با تلسکوپ‌های بزرگ رویت می‌شود). بنابراین عیوق در یک منظومه‌ی چهار عضوی قرار گرفته است.

نوامبر - دسامبر - ژانویه	$+7^{\circ}24'$	$5^h55,2^m$	(آلفا جبّار) ابط الجوزا
جبّار	$427l.y.$	$-5,14M$	$+0,45V^m$

این ستاره که دهمین ستاره‌ی درخشان در آسمان است، بسیار مورد علاقه‌ی رصد کنندگان است. این ستاره‌ی نارنجی - قرمز یک غول متغیر است که از تناوب نامنظمی برخوردار است. مشاهدات اخیر که توسط تلسکوپ فضایی هابل به انجام رسیده است، نشان می‌دهد که این ستاره بر سطح خود، ویژگی‌هایی شبیه به لکه‌های خورشیدی ولی بسیار بزرگ‌تر از آن از خود نشان می‌دهد، به طوری که این لکه‌ها شاید یک دهم سطح این ستاره را پوشانده باشند. این ستاره همراهی نیز دارد که می‌تواند مسئول شکل غیرکروی آن باشد. اگرچه این ستاره از ستارگان غول به شمار می‌رود از چگالی بسیار پایینی برخوردار است و جرم آن  $2^{\circ}$  برابر جرم خورشید است. این یعنی چگالی آن در واقع  $5/000000000$  برابر چگالی خورشید است.

## ۴-۱ رنگ

شب‌ها وقتی به آسمان نگاه می‌کنیم، ستارگان بی‌شماری را می‌بینیم که اکثر آن‌ها به رنگ سفید هستند. البته تعداد معدودی از آن‌ها به رنگ‌های متمایزی دیده می‌شوند. ابط الجوزا (آلفا جبّار) مانند قلب‌العقرب (آلفا عقرب) قرمز است؛ عیوق (آلفا ارابه ران) زرد رنگ؛ و نسر واقع (آلفا شلیاق) به رنگ آبی براق است. با این حال به نظر می‌رسد رنگ اکثر ستارگان تفاوت زیادی با هم نداشته باشد ولی اگر از میان یک دوربین یا تلسکوپ به آن‌ها بنگریم، وضعیت بسیار تغییر می‌کند<sup>(۱۷)</sup> و تفاوت‌ها در شکل و رنگ، بیشتر خودنمایی می‌کنند<sup>(۱۸)</sup>!



رنگ یک ستاره را دمای سطح آن تعیین می‌کند دمای یک ستاره‌ی سرخ، پایین‌تر است از دمای یک ستاره‌ی زرد و یک ستاره‌ی زرد به نوبه‌ی خود دمایی پایین‌تر از یک ستاره‌ی آبی دارد. این نمونه‌ای است از آن‌چه قانون وین<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (به نکته‌ی ۱-۶ مراجعه نمایید).

مطابق این قانون، ستارگان با دمای پایین، بیشتر انرژی خود را در بخش قرمز تا فروسرخ طیف گسیل می‌کنند در حالی که ستارگان گرم‌تر، انرژی خود را در بخش‌های آبی تا فرابنفش طیف گسیل می‌نمایند. پاره‌ای از ستارگان بسیار گرم، قسمت اعظم انرژی خود را در فرابنفش گسیل می‌کنند و به همین دلیل ما تنها کسری از نور آن‌ها را مشاهده می‌نماییم. به علاوه بسیاری از ستارگان، تقریباً تمامی نور خود را در فروسرخ گسیل می‌کنند و در نتیجه ما هرگز قادر به دیدن آن‌ها نیستیم. جای شگفتی است که این ستارگان کم‌جرم (بعداً در مورد آن‌ها بحث خواهد شد) و کم‌حرارت، ۷۰٪ ستارگان کهکشان ما را تشکیل می‌دهند و شما حتی در شبی که هوا صاف است نخواهید توانست آن‌ها را در آسمان ببینید.

نکته مهمی که باید در این‌جا مدنظر قرار گیرد، این است که اجسام گرم‌تر به این دلیل که انرژی متوسط فوتون‌ها در آن‌ها بالاتر است انرژی بیشتری را در تمامی طول موج‌ها گسیل می‌نمایند.

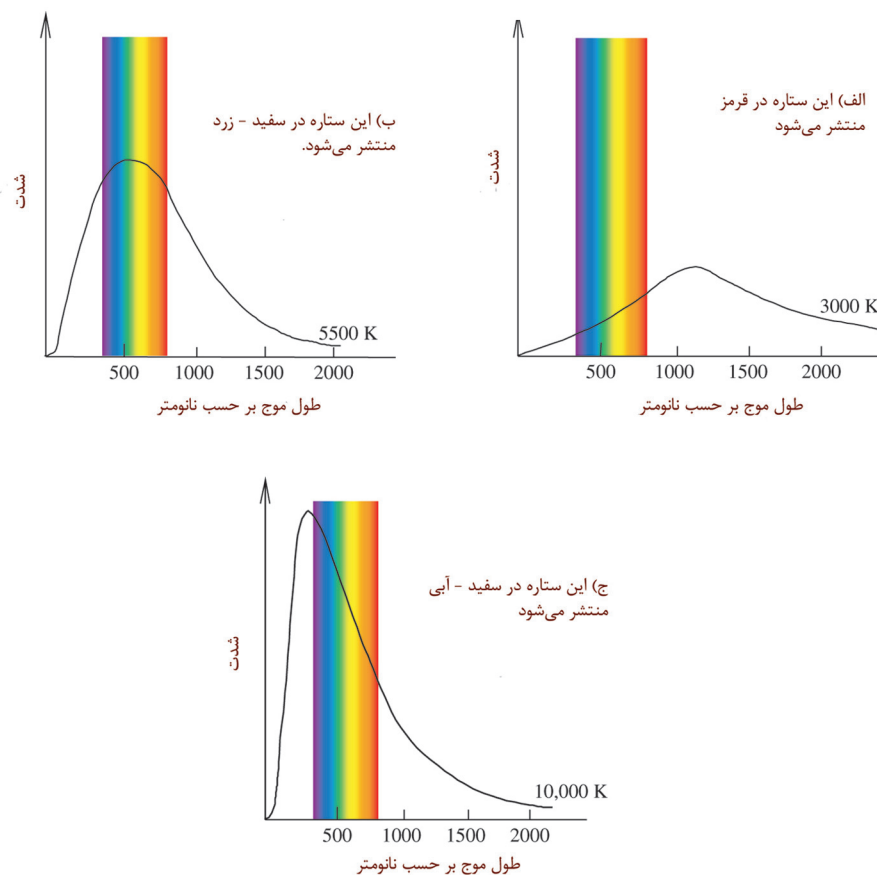
این مسئله در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است. نمودارها، نحوه‌ی توزیع نور سه ستاره‌ی مختلف را بسته به دمایی که دارند، نشان می‌دهد. ستون رنگی نمایانگر بخش مرئی طیف است. نمودار اول، نور اندازه‌گیری شده از ستاره‌ای رنگی با دمای  $3000\text{ K}$  را نشان می‌دهد. توجه کنید که خط منحنی در حدود  $1100\text{ nm}$  به نقطه‌ی بیشینه می‌رسد و این باعث می‌شود که ستاره سرخ دیده شود. نمودار دوم، ستاره‌ای با دمای  $5500\text{ K}$  را نشان می‌دهد (شبیه به دمای خورشید)، که در میانه‌ی طیف مرئی به نقطه‌ی بیشینه می‌رسد و در نتیجه زرد رنگ دیده می‌شود. نمودار آخر، ستاره‌ای بسیار گرم با دمای  $25000\text{ K}$  را نشان می‌دهد؛ نقطه بیشینه آن در حدود  $400\text{ nm}$  است و در نتیجه آبی‌رنگ به نظر می‌رسد. بنابراین، از نقطه نظر اخترشناختی رنگ یک ستاره بستگی به محل قرار گرفتن نقطه بیشینه منحنی دارد؛ طول موج کوتاه (سمت چپ نمودار) نمایانگر یک ستاره‌ی داغ سفید و متمایل به آبی است، در حالی که طول موج بلندتر (سمت راست نمودار) نشان دهنده‌ی یک ستاره سرد نارنجی و متمایل به سرخ است.

خورشید در بخش سبز رنگ طیف به نقطه بیشینه می‌رسد؛ از آن‌جا که مخلوطی از نور از تمامی بخش‌های طیف مرئی وجود دارد - یعنی نورهای آبی، قرمز و زرد - ما خورشید را به رنگ سفید متمایل به زرد می‌بینیم.

نکته‌ی جالب توجه این است که تعدادی از ستارگان به قدری گرم هستند، شاید میلیون‌ها درجه، که در طول موج‌های بسیار کوتاه انرژی گسیل می‌کنند. در واقع این ستارگان از خود اشعه‌ی ایکس می‌تابانند. این‌ها ستارگان نوترونی هستند!

1) The Wien law





شکل ۱-۲. رابطه‌ی بین رنگ و دما

توجه داشته باشید، زمانی که از دمای یک ستاره صحبت می‌کنیم، منظور دمای سطح آن است. دمای درونی را نمی‌توان مستقیماً مورد اندازه‌گیری قرار دارد و اغلب آن را به صورت نظری تعیین می‌کنند. بنابراین وقتی می‌خوانید که دمای ستاره‌ای  $۲۵۰۰۰\text{ K}$  است، منظور دمای سطح آن است (۱۹).

#### نکته ۶. قانون وین

قانون وین را می‌توان این‌گونه بیان کرد:

$$\lambda_{\max} = \frac{2900000}{T(\text{Kelvin})} \text{ nm}$$



## مثال ۵

دمای دو ستاره‌ی آلفا کلب اصغر و آمیکرون سبع‌النهر به ترتیب  $۹۲۰^{\circ}\text{K}$  و  $۱۹۰۰^{\circ}\text{K}$

است. طول موج بیشینه آن‌ها چقدر است؟

$$\lambda_{\max} = \frac{2900000}{9200} \text{nm} = 315 \text{nm} \quad (\text{یعنی فرابنفش}^{(۲۰)})$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2900000}{1900} \text{nm} = 1526 \text{nm} \quad (\text{یعنی در فروسرخ}^{(۲۱)})$$

شعرا‌ی یمانی نور زیادی را در فرابنفش گسیل می‌کند، اگرچه به رنگ سفید تابناکی می‌درخشد. دمای ستاره به ما کمک می‌کند تا از ویژگی‌های دیگر آن مطلع شویم. توصیف علمی رنگ یک ستاره بر اساس طبقه‌بندی ستارگانی قرار دارد که به نوبه‌ی خود به ترکیب شیمیایی و دمای ستاره وابسته است. «شاخص رنگ»<sup>۱</sup> اصطلاحی است که اغلب توسط اخترشناسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص از طریق مشاهده‌ی ستاره با دو صافی  $B$  و  $V$ ، که به ترتیب با طول موج‌های  $440 \text{nm}$  و  $550 \text{nm}$  مطابقت دارند، و اندازه‌گیری روشنایی آن به دست می‌آید. با تفریق دو رقم به دست آمده از صافی‌های  $B$  و  $V$  شاخص رنگ حاصل می‌شود که به آن ضریب رنگ هم گفته می‌شود. ستارگان آبی رنگ معمولاً شاخص رنگ منفی دارند (مثلاً  $-3$ )؛ این رقم برای ستارگان نارنجی - قرمز بیشتر از صفر است و تا حدود مثبت ۳ می‌رسد، و برای ستارگان بسیار قرمز ( $M6$  و بزرگ‌تر) بیشتر نیز می‌شود (به بخش ۱-۸ مراجعه کنید). حال که در مورد رنگ ستارگان بحث کرده‌ایم نگاهی به چند نمونه می‌اندازیم. مجموعه‌ای از ستارگان درخشان را انتخاب کرده‌ایم. البته هزاران ستاره رنگی و رویت‌پذیر وجود دارند. در بخش ستارگان درخشان نمونه‌هایی از ستارگانی معرفی شده‌اند که رنگ‌های متمایزی از خود به نمایش می‌گذارند. به علاوه ستارگان دوگانه‌ی بسیاری هستند (که در این جا به آن‌ها اشاره نشده است) که رنگ‌ها و سایه‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. فهرستی که در این جا مورد استفاده قرار گرفته مانند فهرست پیشین است، به جز این که در آن دما و رنگ ستاره نیز افزوده شده است.

## ۱-۴-۱ ستارگان رنگی

ژانویه - دسامبر - نوامبر	$+06^{\circ}21'$	$5^h 26,2^m$	(گاما جبار) مرزم
جبار	آبی	$2145^{\circ}\text{K}$	$-2,72M$ $1,64m$

ستاره‌ی مرزم که ستاره‌ی آمازون نیز نامیده می‌شود به رنگ آبی براق به نظر می‌رسد. بعضی از رصدگران، ابرناکی جزئی را در آن گزارش داده‌اند اما ممکن است این حالت، بخشی از ابرناکی عمومی باشد که بخش اعظم صورت فلکی جبار را در بر گرفته است.

1) Color Index:CI