

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد فیزیک-نجوم

بازسازی تصاویر نجومی با استفاده از روش پیشینه‌ی آنروپی

استاد راهنما:

آقای دکتر عباس عابدی

استاد مشاور:

آقای دکتر ناصر مهرشاد

نگارش:

فاطمه محمدپور

بهمن ۱۳۹۲

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم به

پدر و مادرم که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی

را آموختم.

و همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمون‌مان شد و به هم‌نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزی-مان ساخت.

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وام‌دار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز... .

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه-ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند. برحسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ " :

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر عباس عابدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر ناصر مهرشاد که زحمت مشاوره‌ی این رساله را متقبل شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از سرکار خانم مهناز محمدی به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت ایشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند بسیار سپاسگزارم.

چکیده

در این تحقیق یک روش اصلاح شده برای حذف نوفه‌های موجود در تصاویر نجومی بر اساس تئوری بیشینه آنتروپی ارائه شده است. در این روش به‌جای استفاده از فیلتر پایین‌گذر ایده‌آل مورد استفاده در روش بیشینه آنتروپی، از صافی پایین‌گذر گاوسی برای بازسازی تصویر استفاده شده است. مقایسه دیداری تصاویر بازسازی شده نشان می‌دهند که صافی پایین‌گذر گاوسی ضمن اینکه از نظر حذف نوفه عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد، از بروز پدیده رینگینگ نیز جلوگیری می‌کند. در ادامه، اثر اصلاحی این روش حذف نوفه بر روی تصاویر نجومی گرفته شده از سیستم دوتایی SS Ari در رصدخانه دکتر مجتهدی دانشگاه بیرجند اجرا گردیده و منحنی‌های نوری حاصل با منحنی‌های نوری این سیستم که اصلاح روی آن‌ها انجام نشده، مقایسه شده است.

کلید واژه‌ها: بازسازی تصاویر نجومی، بیشینه‌ی آنتروپی، ستارگان دوتایی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل ۱- تصویربرداری از اجرام سماوی و استخراج اطلاعات از داده‌های	
۱	تصویربرداری.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- تلسکوپها.....
۳	۱-۲-۱- صفحات عکاسی.....
۴	۲-۲-۱- فوتومالیتی پلایر.....
۵	۳-۲-۱- دستگاه بار جفت شده.....
۷	۳-۱- نورسنجی نجومی.....
۸	۴-۱- طیف‌سنجی نجومی.....
۹	۵-۱- کاربرد صافی‌ها در تصویربرداری.....
۹	۶-۱- تصویربرداری در طول موج‌های مختلف.....
۱۰	۱-۶-۱- تصویربرداری رادیویی.....
۱۱	۲-۶-۱- تصویربرداری راداری.....
۱۲	۳-۶-۱- تصویربرداری فرسرخ.....
۱۲	۴-۶-۱- تصویربرداری فرابنفش.....
۱۲	۵-۶-۱- تصویربرداری پرتو ایکس.....
۱۳	۶-۶-۱- تصویربرداری پرتو گاما.....
۱۳	۷-۱- نوفه در آشکارسازها.....
۱۵	۱-۷-۱- جریان تاریک.....
۱۵	۲-۷-۱- نوفه خوانش.....
۱۵	۳-۷-۱- نوفه نور زمینه.....
۱۶	۴-۷-۱- نوفه پردازش.....
فصل ۲- روش‌های اصلاح تصویر.....	
۱۸	۱-۲- مقدمه.....
۱۸	۲-۲- روش بیشینه‌ی آنتروپی.....
۱۹	۱-۲-۲- مسئله بازسازی تصویر.....
۲۲	۲-۲-۲- بازسازی تصویر به روش بیشینه‌ی آنتروپی.....
۲۳	۳-۲-۲- مفهوم آنتروپی.....

۲۵.....	۴-۲-۲	روش بایسین.....
۲۶.....	۵-۲-۲	انتخاب تابع آنروپی.....
۲۹.....	۳-۲	ویژگی‌های کلی تصاویر بیشینه‌ی آنروپی.....
۳۰.....	۱-۳-۲	تداخل‌سنجی نوفه-آزاد.....
۳۶.....	۲-۳-۲	تداخل‌سنجی با داده نوفه‌دار.....
۴۰.....	۳-۳-۲	مورد تک‌روزنه.....
۴۱.....	۴-۲	مقایسه اشکال مختلف آنروپی.....
۴۳.....	۵-۲	الگوریتم‌های بیشینه‌ی آنروپی.....
۴۳.....	۱-۵-۲	روش نقطه-ثابت.....
۴۴.....	۲-۵-۲	روش‌های گرادینانی.....
۴۶.....	۶-۲	یک تعمیم مهم.....
۴۸.....	فصل ۳ - شبیه‌سازی	
۴۹.....	۱-۳	مقدمه.....
۴۹.....	۲-۳	SS Ari در یک نگاه.....
۵۰.....	۳-۳	ارائه روش پیشنهادی برای حذف نوفه.....
۵۶.....	۴-۳	پردازش تصاویر.....
۵۶.....	۱-۴-۳	بهنجار کردن تصاویر.....
۵۶.....	۱-۱-۴-۳	تصویر تاریک.....
۵۷.....	۲-۱-۴-۳	تصویر بایاس.....
۵۸.....	۳-۱-۴-۳	تصویر تخت.....
۵۸.....	۲-۴-۳	ترکیب تصاویر.....
۵۹.....	۵-۳	آشنایی با نرم افزار IRIS.....
۵۹.....	۱-۵-۳	تنظیمات اولیه.....
۶۰.....	۲-۵-۳	اجرا.....
۶۱.....	۳-۵-۳	نام گذاری تصاویر.....
۶۱.....	۴-۵-۳	بهنجار کردن تصاویر.....
۶۲.....	۵-۵-۳	تراز کردن تصاویر.....
۶۴.....	۶-۳	پیاپی‌سازی روش و حذف نوفه از تصاویر.....
۶۶.....	۷-۳	نورسنجی.....
۶۹.....	۸-۳	رسم منحنی نوری سیستم دوتایی SS Ari.....
۷۱.....	فصل ۴ - نتیجه‌گیری	
۷۵.....	مراجع	

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۵.....	جدول ۱-۲: ویژگی‌های سه تابع آنتروپی.....
۵۰.....	جدول ۱-۳: مشخصات ستاره‌ی متغیر و مقایسه.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵.....	شکل ۱-۱: لامپ‌های فوتومالتی‌پلایر.....
۶.....	شکل ۲-۱: نمونه‌ای از آشکارساز CCD.....
۷.....	شکل ۳-۱: منحنی جسم سیاه در دو دما.....
۱۰.....	شکل ۴-۱: طیف امواج الکترومغناطیس.....
۱۱.....	شکل ۵-۱: تلسکوپ رادیویی.....
۲۸.....	شکل ۱-۲: بازسازی با استفاده از روش تشکیل حاصل ضرب توزیع‌های احتمال.....
۲۹.....	شکل ۲-۲: نمودار توابع $\ln I$ و $-I \ln I$ و $I^{1/2}$
۳۱.....	شکل ۳-۲: رابطه بین $I(x)$ و $J(x)$ برای تابع $f(I) = \ln I$
۳۴.....	شکل ۴-۲: نمایش ویژگی‌های حذف موج، تیزشدگی قله‌ها در خط مبنا و اثر فشردگی خط مبنا در بازسازی ME.....
۳۹.....	شکل ۵-۲: طرح هندسی بازسازی تصویر از داده نوفه‌دار.....
۵۱.....	شکل ۱-۳: نمایشی از تابع تبدیل نقطه $P(u, v)$ (بالا) و تصویر مکانی مربوط به آن $P(x, y)$ (پایین).....
۵۲.....	شکل ۲-۳: نمایشی از تابع تبدیل نقطه پیشنهادی $P(u, v)$ (بالا) و تصویر مکانی مربوط به آن $P(x, y)$ (پایین).....
۵۵.....	شکل ۳-۳: طرح نموداری روش پیشنهادی برای حذف نوفه از تصاویر نجومی بر اساس روش بیشینه‌ی آنتروپی.....
۶۰.....	شکل ۴-۳: پنجره تنظیمات.....
۶۰.....	شکل ۵-۳: پنجره فرمان.....
۶۱.....	شکل ۶-۳: ساختن تصویر تاریک.....
۶۲.....	شکل ۷-۳: نمایش دستور کلی برای بهنجار کردن تصاویر در پنجره فرمان.....
۶۳.....	شکل ۸-۳: انتخاب یک ستاره به منظور تراز کردن تصاویر.....
۶۴.....	شکل ۹-۳: پنجره تراز کردن تصاویر.....
۶۵.....	شکل ۱۰-۳: نمایشی از تابع حذف نوفه از تصویر نجومی توسط روش پیشنهادی (بالا) و روش مرسوم بیشینه آنتروپی (پایین).....
۶۶.....	شکل ۱۱-۳: پنجره نورسنجی روزنه‌ای.....
۶۷.....	شکل ۱۲-۳: نمایش داده‌های به دست آمده از نورسنجی در پنجره خروجی.....

- شکل ۳-۱۳: پنجره نورسنجی خودکار ۶۸
- شکل ۳-۱۴: پنجره خروجی داده‌های نورسنجی ۶۹
- شکل ۴-۱: نمایشی از منحنی نوری به دست آمده از تصاویر نجومی توسط داده‌های نوفه‌دار (بالا) و داده‌های حاصل از تصاویر بازسازی شده (پایین) ۷۲
- شکل ۴-۲: تطبیق منحنی محاسباتی بر داده‌های مشاهده‌ای نوفه‌دار (بالا) و داده‌های مشاهده‌ای بازسازی شده (پایین) ۷۱

فصل ۱- تصویربرداری از اجرام سماوی و استخراج اطلاعات از داده‌های تصویربرداری

۱-۱- مقدمه

حدود ۳۷۰ سال قبل، گالیله^۱ و نیوتن^۲ به اصولی بنیادی پی بردند که تلسکوپ‌های امروزی بر شالوده‌ی آن‌ها استوار است. اما فعالیت اخترشناسان امروزی به نور مرئی محدود نیست، آنان می‌توانند عالم را از طریق پرتوهای رادیویی، فرسرخ، فرابنفش، ایکس و گاما مشاهده کنند. راصدان قدیم تنها با استفاده از نور مرئی که اشیاء به فضا گسیل می‌کنند می‌توانستند به مطالعه‌ی عالم بپردازند اما نور مرئی فقط یکی از چند شکل تابش الکترومغناطیسی است که سیارات، ستاره‌ها، کهکشان‌ها و سحابی‌ها گسیل می‌کنند [۱]. مطالعه‌ی چگونگی استخراج اطلاعات از همه شکل‌های انرژی، از اهمیت زیادی برخوردار است.

۱-۲- تلسکوپ‌ها

اولین کاربرد تلسکوپ در نجوم در سال ۱۶۰۹ م. توسط گالیله انجام شد. گاهی تصور می‌شود که هدف اصلی تلسکوپ، بزرگ کردن تصویری است که بدون استفاده از تلسکوپ نیز قابل دیدن است، اما تلسکوپ نور کل وارد بر سطح عدسی یا آینه خود را جمع‌آوری می‌کند و آن نور را در قالب تصویری روشن‌تر از آنچه که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود، متمرکز می‌کند پس، هدف اصلی تلسکوپ، جمع‌آوری نور از سطحی بزرگ و متمرکز کردن انرژی آن در مساحتی کوچک، و تولید تصویری است روشن‌تر از جسمی که با چشم غیر مسلح فقط دیده می‌شود.

از اوایل قرن هفدهم میلادی، تلسکوپ جزء مهمی از وسایل و ابزارهای محسوب می‌شود که برای انجام اندازه‌گیری‌های اساسی در نجوم مورد نیاز است. در دو‌یست سال آغاز استفاده از تلسکوپ، چشم انسان تنها وسیله ثبت تصاویر به دست آمده از تلسکوپ بود. امروزه ترکیب تلسکوپ و چشم در زمینه اندازه‌گیری‌های نجومی نقش کوچکی را بازی می‌کند و اکثر مشاهدات با آشکارسازهایی کاملاً قوی صورت می‌گیرد. علاوه بر این، نور ستاره (یا سایر منابع نور) باید از جو متلاطم زمین عبور کند که برای تلسکوپ‌های مستقر در زمین مزاحمت به

^۱ Galileo

^۲ Newton

شمار می‌آید. در چنین شرایط جوی، یک تلسکوپ ده متری نیز نمی‌تواند ستارگان مزدوج را آن‌طور که لازم است تفکیک کند، اما تلسکوپ فضایی با چنین مشکلاتی مواجه نیست و بنابراین از توان تفکیک بسیار بیشتری برخوردار است [۱].

در ادامه این بخش به بررسی آشکارسازهایی می‌پردازیم که برای افزایش روشنایی تصویر و ثبت مشاهدات در تلسکوپ به کار می‌روند.

۱-۲-۱ صفحات عکاسی

روش ثبت تصاویر با استفاده از صفحات عکاسی^۱ از سال ۱۸۵۰ م. وارد علم نجوم شد. صفحه عکاسی ماده‌ای حساس به نور شامل امولسیون^۲ از بلورهای هالوژن نقره^۳ در یک مایع ژلاتینی^۴ است که به شکل لایه نازک و یکنواختی بر روی یک صفحه شیشه‌ای یا یک ورق سلولزی^۵ کشیده می‌شود. نحوه پراکندگی روشنایی نور در سطح امولسیون هیچ‌گاه فوراً آشکار نمی‌شود و در ابتدا هر تصویری که بر روی آن ثبت شده ناپیدا است و باید مراحل مختلفی را بر روی امولسیون انجام داد تا برای تجزیه و تحلیل آماده شود.

امولسیون‌های عکاسی در تمام طول طیف نوری به جز ناحیه مادون قرمز (بعد از ۱۲۰۰ آنگستروم) کارایی دارند. میزان دقت فن نورسنجی به عوامل بسیاری بستگی دارد و به ندرت مقدار آن از ۵ درصد بیشتر می‌شود. اکثر اندازه‌گیری‌های عکاسی دارای دقت نورسنجی بین ۵ تا ۱۰ درصد است.

بهترین مزیت استفاده از صفحات عکاسی در نجوم، قابلیت همزمان بسیاری از نقاط عکس است. علاوه بر این، صفحه عکاسی این قابلیت را نیز دارد که انرژی را که بر روی آن می‌افتد با هم تلفیق کند و تصویر اجسامی را نمایان سازد که در غیر این صورت همچنان قابل دیدن نبود. سهولت نسبی مراحل عکاسی جالب توجه است، حتی اگر ناظری دارای مهارت کافی نباشد معمولاً می‌تواند از روش عکاسی در ثبت تصاویر استفاده کند.

^۱ Photography

^۲ Emulsion

^۳ Silver Halide

^۴ Gelatinous Fluid

^۵ Cellulose Sheet

از معایب نورسنجی به روش عکاسی این است که برای هر تصویر، منحنی درجه‌بندی لازم است که این عمل محتاج صرف وقت در آزمایشگاه است. همچنین منجم مجبور است تا پس از مرحله ظهور فیلم و تجزیه تصویر انتظار بکشد تا ببیند که آیا اطلاعات مفیدی ثبت کرده است. نقص عمده عکاسی کم بودن بازده کوانتومی آن است. واکنش متقابل فوتون‌ها^۱ با بلورهای هالید نقره موجود در امولسیون هنگام ظهور صفحه عکاسی سبب پدید آمدن دانه‌های سیاه-رنگی می‌شود که توزیع این دانه‌ها در سطح صفحه، تصویر را تشکیل می‌دهد. بازده کوانتومی^۲ که نسبت تعداد متوسط دانه‌های سیاه شده به تعداد فوتون‌های تابیده شده است، به طور معمول حدود ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ درصد می‌باشد [۲].

۱-۲-۲- فوتومالتی‌پلایر

تصویربرداری بر مبنای پدیده فیزیکی فوتوالکتریک^۳ از سال ۱۹۷۰ م. وارد علم اخترشناسی شد. فوتومالتی‌پلایر^۴ وسیله‌ای است که بر اساس اثر فوتوالکتریک کار می‌کند. فوتون‌ها ضمن برخورد با صفحه حساس فوتومالتی‌پلایر که از جنس فلزی با تابع کار پائین است، فوتوالکترن‌هایی را گسیل می‌دارند. این فوتوالکترن‌ها ضمن برخورد با داینودها^۵ که بین آن‌ها ولتاژهای متوالیاً فزاینده برقرار است، به تولید الکترون‌های بیشتر و بیشتر منجر می‌گردند. به گونه‌ای که در انتها، تعداد الکترون‌های خروجی به حدود یک میلیون تا یکصد میلیون به ازای یک فوتون ورودی می‌رسد. به عبارت دیگر، به ازای هر فوتون ورودی، یک پالس جریان ناشی از حدود یک میلیون الکترون در یک گستره زمانی کوتاه (در حدود چند نانوثانیه) ایجاد می‌شود. با وجود این که در این فرآیند، تقویت‌شدگی فوق‌العاده‌ای صورت گرفته است، پالس خروجی هنوز برای ثبت توسط دستگاه ثبات بسیار کوچک است. برای تقویت این پالس، از یک پیش‌تقویت‌کننده خطی استفاده می‌شود. پالس تقویت شده، نهایتاً توسط یک تقویت‌کننده به ولتاژی بین صفر تا یک ولت تبدیل و توسط یک شمارش‌گر شمردن، یا توسط یک مبدل آنالوگ

^۱ Photon

^۲ Quantum Efficiency

^۳ Photoelectric

^۴ Photomultiplier

^۵ Dynode

به دیجیتال به داده‌های رقمی تبدیل می‌شود. این داده‌ها توسط رایانه همراه با سایر اطلاعات (مثل زمان، نوع صافی، ضریب تقویت و ...) ثبت می‌گردد [۲].

نمونه‌ای از لامپ‌های فوتومالتی‌پلایر در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. برای راه اندازی فوتومالتی‌پلایر، به یک ولتاژ بالای مستقیم تثبیت شده نیاز است. این ولتاژ که معمولاً بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ولت انتخاب می‌شود، از طریق مقاومت‌هایی در اختیار داینودها قرار می‌گیرد. در انتخاب منبع ولتاژ مستقیم باید دقت نمود، زیرا هرگونه نوسانات ولتاژ یا نوفه بر روی کیفیت داده‌های ثبت شده اثر خواهد گذاشت.



شکل ۱-۱: لامپ‌های فوتومالتی‌پلایر (برگرفته از مرجع [۳]).

۱-۲-۳ - دستگاه بار جفت شده

ساختار اولیه دستگاه بار جفت شده (CCD)^۱ در سال ۱۹۶۹ م. توسط بویل^۲ و اسمیت^۳ در آزمایشگاه‌های بل^۴ پیشنهاد شد.

^۱ Charge Couple Devie

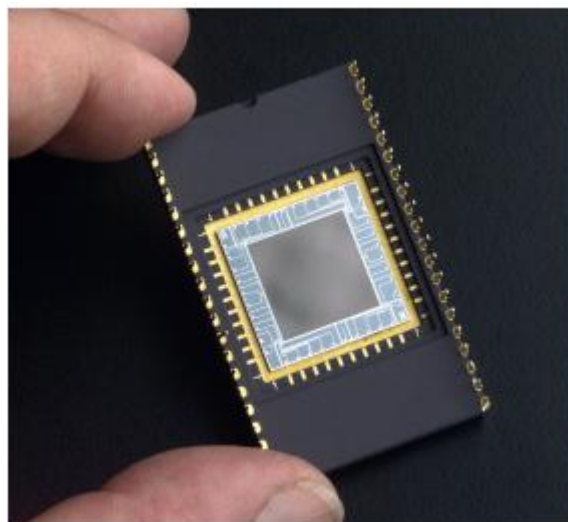
^۲ Boyle

^۳ Smith

^۴ Bell

هر CCD از آرایه‌ای از مربعات بسیار کوچک (با ابعاد در حدود پانزده میکرون) تشکیل یافته است که به آن‌ها پیکسل^۱ می‌گویند. بر اثر برخورد یک فوتون به هر پیکسل، بار الکتریکی کوچکی بر روی آن جمع می‌شود. پس از مدتی که CCD در معرض نور قرار گرفت، بارهای روی پیکسل‌ها در یک راستا جمع‌آوری و اندازه‌گیری می‌شوند. اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری بارها و موقعیت پیکسل‌ها توسط رایانه فرآوری شده و تصویر مربوطه به صورت نرم‌افزاری بازسازی می‌گردد. بنابراین CCD در عمل چیزی شبیه به فیلم حساس عکس‌برداری است، با این تفاوت که از فیلم تنها یک‌بار می‌توان استفاده کرد در حالی که CCD پس از هر تصویربرداری دوباره به حالت اولیه خود برگردانده می‌شود و مجدداً آماده بهره‌برداری می‌شود. بدیهی است که تفکیک زاویه CCD در تصویربرداری نجومی محدود به اندازه پیکسل‌های CCD می‌شود. از این رو، کمپانی‌های سازنده CCD دائماً در حال ساخت CCD با پیکسل‌های کوچک‌تر و تعداد بیشتر هستند [۲].

نمونه‌ای از آشکارساز CCD که در تصویربرداری فرابنفش به کار می‌رود در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



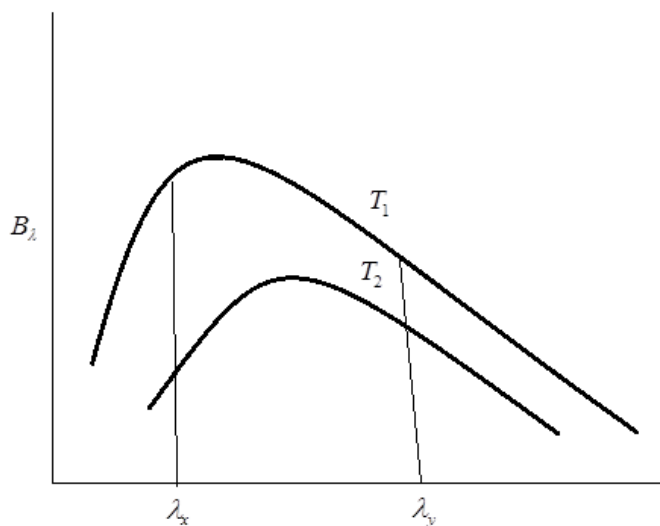
شکل ۱-۲: نمونه‌ای از آشکارساز CCD (برگرفته از مرجع [۴]).

^۱ Pixel

۳-۱- نورسنجی نجومی

نورسنجی^۱ فرایندی است که در آن درخشش ستارگان را اندازه‌گیری می‌کنند. نورسنجی از ستارگان، اهمیت بنیادی در نجوم دارد و به منجمین این امکان را می‌دهد که انرژی خروجی از ستارگان در طول موج‌های مختلف را اندازه‌گیری کنند و اطلاعاتی را در مورد مدل ساختاری ستاره به دست آورند. رنگ ستارگان که با اندازه‌گیری شدت نور ستارگان در دو طول موج متفاوت تعیین می‌شود، موجب مشخص شدن دمای ستاره می‌شود. نورسنجی گاهی برای تعیین فاصله و اندازه‌ی ستاره نیز به کار می‌رود.

طبق قانون وین^۲، دمای هر جسم را می‌توان با اندازه‌گیری طول موجی که در آن، انرژی به مقدار بیشینه‌اش می‌رسد، تعیین کرد. وقتی این فن را در مورد ستارگان به کار می‌گیریم درمی‌یابیم که ستارگان به قدری داغ هستند که باید قله منحنی انرژی آن‌ها در ناحیه فرابنفش طیف الکترومغناطیس باشد که نمی‌توان از پایین جو زمین آن را بررسی کرد. اما اگر نسبت انرژی‌ها در دو طول موج مختلف را اندازه بگیریم، می‌توانیم منحنی جسم سیاه در دو دمای مختلف را رسم کنیم. شکل ۳-۱ را ببینید.



شکل ۳-۱: منحنی جسم سیاه در دو دما (برگرفته از مرجع [۵]).

^۱ Photometry

^۲ Wiens's Law

بنابراین نسبت انرژی‌های دریافتی در دو طول موج مختلف رابطه زیر را با هم دارند:

$$\left(\frac{B_{\lambda_x}}{B_{\lambda_y}} \right)_{T_1} \neq \left(\frac{B_{\lambda_x}}{B_{\lambda_y}} \right)_{T_2} \quad (1-1)$$

بنابراین با کاربرد نورسنجی دو یا چند رنگ می‌توان دمای ستاره را تعیین کرد [۵].

۴-۱ - طیف‌سنجی نجومی

طیف‌سنجی^۱ یکی از مهم‌ترین عرصه‌های علم نجوم است. با طیف‌سنجی می‌توان به ترکیب و فاصله اجسام دور پی برد. عملکرد یک طیف‌نگار به پدیده ابیراهی رنگی^۲ بستگی دارد. ابیراهی رنگی ناشی از این واقعیت است که وقتی نور از محیط‌های شفافمانند شیشه عبور می‌کند، شکسته می‌شود و به رنگ‌های مختلفی تجزیه شده و طیف کاملی از رنگ‌ها را تشکیل می‌دهد.

در یک طیف‌نگار نجومی، نور ستاره یا جرم سماوی که توسط تلسکوپ تشکیل شده است بر روی یک شکاف می‌افتد. در پشت شکاف، یک عدسی ستونی‌کننده وجود دارد که نور ستاره را به ستونی از نور تبدیل می‌کند. این ستون نور بر روی منشور یا توری می‌افتد. منشور یا توری نور را به مولفه‌های طیفی آن با طول موج‌های مختلف تجزیه می‌کند. در انتها، یک عدسی شبیه عدسی دوربین عکاسی، تصاویری از شکاف طیف‌نگار در طول موج‌های مختلف را بر روی فیلم عکاسی یا CCD تشکیل می‌دهد.

در هر طیف‌نگار، توان تفکیک طیفی یکی از پارامترهای مهم کیفیت دستگاه است. هر چه بتوان خطوط طیفی را با دقت و ظرافت بیشتری از یکدیگر تفکیک کرد، امکان اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر و استخراج اطلاعات مهم‌تر فراهم می‌گردد. البته برای رسیدن به تفکیک بیشتر، علاوه بر طراحی طیف‌نگار، استفاده از تلسکوپ قوی‌تر و CCD حساس‌تر و با تفکیک بیشتر ضروری است. خوشبختانه در مورد خورشید، به علت شدت بسیار بالای نور آن، امکان دستیابی به جزییات بسیار ظریف طیف خورشید وجود دارد.

^۱ Spectrometry

^۲ Chromatic Aberration