بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم‌پایه

پایان‌نامه
جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد

رشته فیزیک

گرایش فیزیک نجومی

عنوان

نورسنجی و تحلیل ساختاری نواحی مرکزی کهکشان $M33$

استاد راهنما

دکتر محمد تقی میرترابی

استاد مشاور

دکتر جاکوب ون لون

دانشجو

فاطمه نیکذات

بهمن ۱۳۹۰

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به

دانشگاه الزهرا(س) است.

تقدیم به پدر و مادر بزرگوارم

قدردانی و تشکر

تمام سپاسم از آن کسی است که به من نیازی نداشت، اما فراموشم نکرد و تنهایم نگذاشت. سپاس خدای سبحان را...

گاه می اندیشم، چندان هم مهم نیست اگر هیچ از دنیا نداشته باشم، همین مرا بس که انسان‌هایی در زندگیم باشند که زلال‌تر از باران هستند...

از راهنمایی‌های ارزشمند آقایان دکتر محمدتقی میرترابی و دکتر جاکوب ون لون بسیار تشکر می‌کنم. از زحمات دلسوزانه خانم دکتر عاطفه جوادی که همواره مرا با مهربانی یاری کردند، بسیار سپاسگزارم. از پیشنهادات سازنده آقای دکتر حبیب خسروشاهی بسیار سپاسگزارم. از آقای پیتر استتسون که همواره پاسخ گوی سؤالاتم بودند و مجموعه نرم‌افزارهای نورسنجی را در اختیارم گذاشتند، بسیار سپاسگزارم. از همه‌ی اساتید دانشگاه الزهرا، خانواده بزرگوارم و دوستان مهربانم بسیار تشکر می‌کنم.

چکیده

در این رساله، تصاویری که به کمک دوربین نجومی $UFTI$ متصل به تلسکوپ $UKIRT$ واقع در رصد خانه موناکی در هاوایی از کهکشان $M33$ گرفته شده، نورسنجی شده است. تصاویر در سه شب متوالی در ۱۲،۱۱ و ۱۳ آگوست ۲۰۰۵ در فیلتر K گرفته شده است.

برای همه‌ی تصاویر مدل نقطه پخش مناسب هر تصویر به صورت جداگانه ساخته شد. نورسنجی برروی تمام تصاویر این دوربین انجام گرفت. جابجایی تصاویر به دقت محاسبه شد و لیست نهایی ستاره‌ها با شماره شناسایی یکتا بدست آمد. قدرهای ابزاری حاصل کالیبره شد و کاتالوگ نهایی کهکشان $M33$ (دوربین $UFTI$) ساخته شد. نتیجه نورسنجی کاتالوگی از مختصات و قدر ده‌ها هزار ستاره است.

فهرست مطالب

چکیده . . . . . پنج

۱ نورسنجی نجومی **۱**
۱.۱ تاریخچه‌ی نورسنجی ۱
۲.۱ ساختار CCD ۲
۳.۱ پردازش اولیه تصویر ۵
۱.۳.۱ تصویر بایاس ۶
۲.۳.۱ تصویر تاریک ۷
۳.۳.۱ تصویر تخت ۸
۴.۱ نورسنجی روزنه‌ای ۹
۵.۱ تابع نقطه‌ی پخش ۱۰
۶.۱ تصحیح روزنه نورسنجی ۱۲
۷.۱ کالیبراسیون قدر ۱۴

۲ داده های رصدی **۱۷**
۱.۲ کهکشان $M33$ ۱۷
۲.۲ تلسکوپ $UKIRT$ ۱۹
۳.۲ رصد ۱۹
۴.۲ موارد خاص در تصاویر ۲۴

۳ تحلیل داده **۲۵**
۱.۳ شناسایی ستاره‌ها و ساخت مدل نقطه پخش ۲۵
۲.۳ تعیین قدر ابزاری ستاره‌ها ۳۱
۳.۳ محاسبه جابجایی تصاویر ۳۳
۴.۳ اختصاص شماره شناسایی واحد ۳۵
۵.۳ اصلاح روزنه‌ی نورسنجی ۳۸
۶.۳ کالیبراسیون ۴۳
۷.۳ شناسایی ستاره های مشترک $UFTI$ ، $UIST$ ۴۶
نتیجه و جمع‌بندی ۴۸

پیوستها **۵۴**
پیوست ۱ . . . . . ۵۴
مراجع و منابع ۵۵

فهرست جداول

۱.۲ مشخصات تصاویر دوربین $UFTI$ ۲۱

۱.۳ دستورات کلی بسته نرم‌افزاری $DAOPHOT$ ۲۶

۲.۳ مشخصات فایل نهایی ستاره‌های کهکشان M33 (برنامه NEWTRIAL) . . . ۴۴

۳.۳ کاتالوگ نهایی ستاره های کهکشان M33 (کاتالوگ UFTI) ۵۰

فهرست شکلها

۱.۱ CCD ۳
۲.۱ نمودار رفتار کلی آشکارسازها: Exposureمیزان شدت نور در زمان، کل انرژی که سیستم در معرض تشعشع نور دریافت می کند. Countمعیاری از تأثیرپذیری سیستم است. ۶
۳.۱ روزنه‌ای نورسنجی ۱۰
۴.۱ تأثیر تابع نقطه‌پخش ۱۱
۵.۱ رابطه قدر با زاویه سمت الرأسی ۱۵

۱.۲ کهکشان $M33$ ۱۸
۲.۲ کهکشان $M31$ ۱۸
۳.۲ تلسکوپ $UKIRT$ ۲۰
۴.۲ محدوده طول موج ابزارهای تلسکوپ $UKIRT$ ۲۰
۵.۲ تصویر جامع کهکشان $M33$ ۲۳
۶.۲ یکی از تصاویر اولیه قبل از برش ۲۴

۱.۳ نمودار ضریب آستانه بر حسب تعداد قله‌های ثبت شده مربوط به ۵ تصویر . ۲۸
۲.۳ ستاره‌های شناسایی شده با ضریب آستانه 3.5 . . . . . ۲۹
۳.۳ یکی از تصاویر پیش از اجرای برنامه $ALLSTAR$ ۳۲
۴.۳ تصویر کاهش یافته حاصل از برنامه $ALLSTAR$ ۳۲
۵.۳ تصویر مرجع حاصل از برنامه $MONTAGE2$ ۳۴
۶.۳ نمودار χ بر حسب قدر ۳۷
۷.۳ نمودار $sharp$ بر حسب قدر ۳۷
۸.۳ ستاره‌های انتخابی در یکی از تصاویر کاهش‌یافته ۴۰
۹.۳ نمودار اختلاف قدر بر حسب میانگین شعاع ۴۲
۱۰.۳ توزیع فراوانی قدر ستاره‌ها در کاتالوگ نهایی ۴۵
۱۱.۳ اختلاف بعد و میل ستاره های مشترک کاتالوگ ها ۴۷
۱۲.۳ مجموعه نرم‌افزارهای نورسنجی ۴۹
۱۳.۳ مقایسه توزیع فراوانی قدر $UFTI$ و $UIST$ ۵۱
۱۴.۳ نمودار قدر–قدر کاتالوگ $UFTI$ و $UIST$ ۵۲
۱۵.۳ نمودار قدر–رنگ کاتالوگ به همراه آیزوکرون‌های (Marigo et al. 2008) برای فلزیت خورشید و مدول فاصله 24.9 . . . . . ۵۳

فصل ۱

نورسنجی نجومی

۱.۱ تاریخچه‌ی نورسنجی

ابرخس منجم یونانی در قرن دوم قبل از میلاد مسیح، لیستی از ۸۵۰ ستاره به همراه موقعیت و روشنایی آن‌ها ارائه داد که بدون ابزار و تجهیزات خاص، با چشم در آسمان قابل رویت بودند. او پرنورترین ستاره‌ها را " قدر اول " و کم نورترین ستاره‌ها را " قدر ششم " نامید. به همین ترتیب بقیه‌ی ستاره‌ها را بر اساس روشنایی‌شان بین این دو قدر دسته‌بندی کرد. در فهرست ابرخس ۲۰ ستاره از قدر اول وجود داشت. پنجاه ستاره بعدی از لحاظ روشنی از قدر دوم بودند؛ به همین ترتیب ستاره‌های کم نورتر از قدرهای سوم، چهارم، تا ششم.

با اختراع تلسکوپ در قرن ۱۷ منجمان فهمیدند که می توانند روشنایی ستاره‌ها را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کنند. اثر فوتوالکتریک در سال ۱۸۸۷ کشف شد. در سال ۱۹۲۱ انیشتین جایزه‌ی نوبل را به خاطر توضیح این قضیه از آن خود کرد. در سال ۱۹۶۰، CCD[۱] در آزمایشگاه بل (Bell) اختراع شد. ابتدا این وسیله به عنوان نوع جدیدی از مدارهای حافظه‌های کامپیوتری تکوین یافت و به مرور زمان پتانسیل های بیش‌تری از خود به نمایش گذاشت که از جمله‌ی آن می توان به پردازش سیگنال‌ها و قابلیت تصویربرداری آن اشاره کرد.

---

[۱] Charge Couple Device

هنگامی که کوانتوم‌های نور [۲] بر سطح حسگر CCD برخورد می کنند، الکترون‌ها آزاد گشته و سپس در عناصر آشکارساز روی سطح ذخیره می شوند. این خانه‌ها به صورت جداگانه شمارش شده و توسط کامپیوتر پردازش و خوانده می شوند و در نهایت تشکیل تصویری دیجیتالی می دهد. خاصیت حساس بودن نوری این وسیله خیلی سریع دنیای تصویربرداری را متحول کرد و باعث پدید آمدن فصل جدیدی در زمینه‌ی نجوم شد.

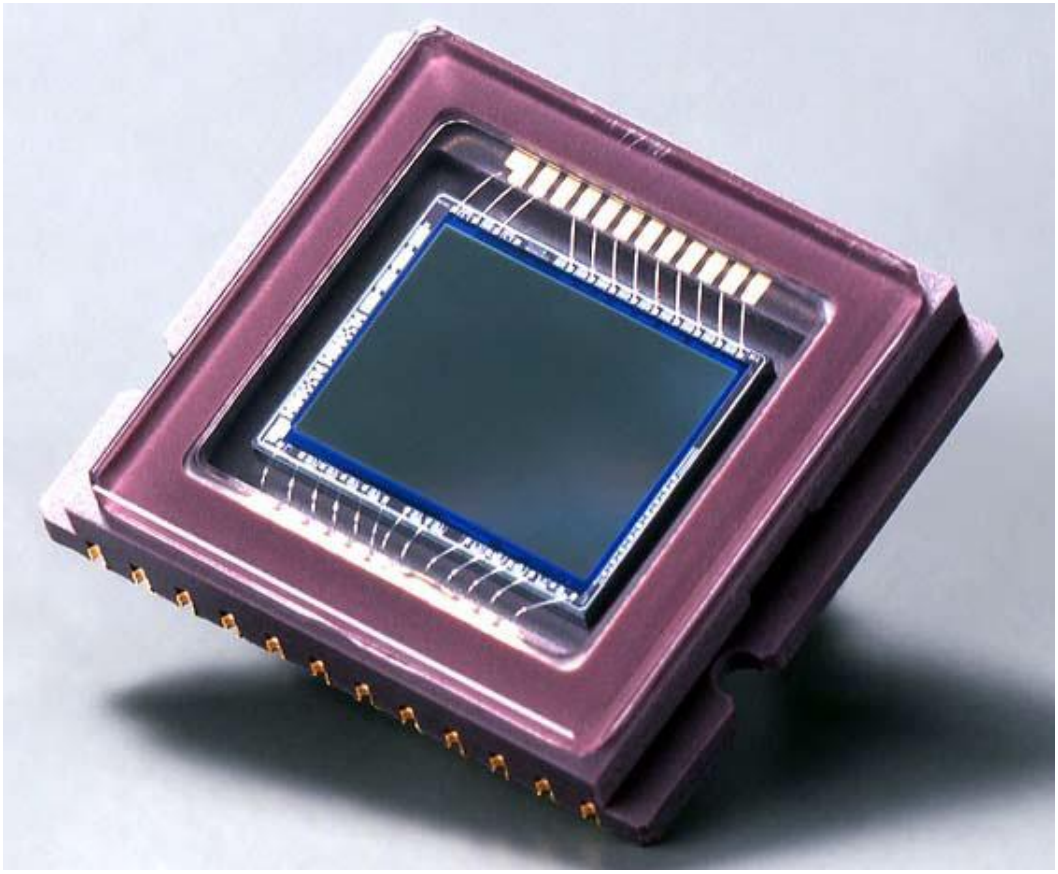
۲.۱ ساختار CCD

تراشه‌ی CCD مجموعه ای از خانه‌ها یا پیکسل‌ها است که به صورت ردیفی و ستونی در کنار یکدیگر قرار گرفته اند (شکل ۱.۱) و تصویر CCD نیز آرایه ای از پیکسل‌ها است که به صورت ردیفی و ستونی در کنار یکدیگر مرتب شده اند. هر خانه یا پیکسل در تصویر با عددی توصیف می شود که متناسب است با مقدار نور فرودی بر روی خانه‌ی متناظر با آن روی تراشه‌ی CCD. پیکسل‌های CCD مثل یک چاه پتانسیل عمل می کنند که وقتی فوتون به آن‌ها برخورد می کند، باعث می شود که الکترون‌هایی در این چاه گرفتار شوند. در کنار CCD یک سری ابزار الکترونیکی است که تعداد این الکترون‌ها را می شمارد.

در نهایت داده ای که CCD به عنوان تصویر به ما تحویل می دهد، یک ماتریس (آرایه‌ی دوبعدی) است که اعداد آن متناسب با شدت نور هستند. بنابراین تصویر CCD را می توان به صورت آرایه ای دوبعدی از اعداد در نظر گرفت. محل هر خانه به صورت مقداری از x,y نسبت به مبدأ مشخص می شود. گاهی به جای x,y از ردیف و ستون یاد می شود. مبدأ را معمولاً از گوشه‌ی پایین سمت چپ تصویر در نظر می گیرند. درخشندگی هر خانه به وسیله‌ی یک عدد بیان می شود.

---

[۲] Photon



شکل ۱.۱: CCD

اندازه‌ی فایل کامپیوتری تصویر بستگی به نوع عددی دارد که برای ذخیره سازی تصویر مورد استفاده قرار می گیرد. تصویر خام خوانده شده از CCD اغلب به صورت اعداد صحیح ۲ بایتی (۱۶ بیتی) ذخیره می شوند. یعنی هر خانه مقدرای صحیح بین ۰ تا ۶۵۵۳۵ را برای تعیین مقدار شدت می پذیرد. اگر فرض کنیم یک CCD با آرایه ۱۰۲۴×۱۰۲۴ داشته باشیم، آنگاه نیازمند به ۲×۱۰۲۴×۱۰۲۴ یعنی در حدود ۲ مگابایت حافظه برای ذخیره سازی هستیم.

البته در عمل این مقدار کم یا زیاد خواهد شد. در یک شب رصدی که ممکن است صدها تصویر تهیه شود، مقدار حافظه‌ی کامپیوتری قابل توجهی لازم است. فایل‌های کامپیوتری تصاویر معمولاً شامل اطلاعات اضافی همانند زمان، تاریخ تهیه عکس و ... هستند که این اطلاعات برای موارد مثل نورسنجی بسیار ضروری است.

از آنجا که نرم افزارهای پردازش تصویر متفاوتی، در دسترس منجمین قرار دارد و به دلیل استفاده از کامپیوترهای مختلف، روش‌های متفاوتی برای ذخیره‌سازی تصاویر وجود دارد. برای آنکه تصاویر به آسانی بین کامپیوترها منتقل شوند، منجمین پروتوکل انعطاف پذیری را تحت عنوان FITS گسترش داده اند. در واقع FITS یک نوع فرمت قابل مبادله برای انتقال اطلاعات نجومی است. هر نرم افزار پردازش تصویر وظیفه‌ی خواندن و تبدیل این فرمت به فرمت‌های دیگر را دارد. فایل‌های FITS [۳] به دو قسمت تقسیم می شوند:

۱- سرنویس [۴] قسمتی متنی که به راحتی می توان آن را خواند. ساختار سرنویس معمولاً از یک سری کلیدواژه ساخته شده است که دارای مقداری مشخص هستند .در واقع اطلاعات مربوط به تصویر در آن ذخیره می شود.

۲- داده که این قسمت معمولاً یک آرایه دوبعدی است. ماتریس داده معمولاً n×m است که n و m برابر با تعداد سطرها و ستون‌های CCD است.

---

[۳] Flexible Image Transport System

[۴] Header

۳.۱ پردازش اولیه تصویر

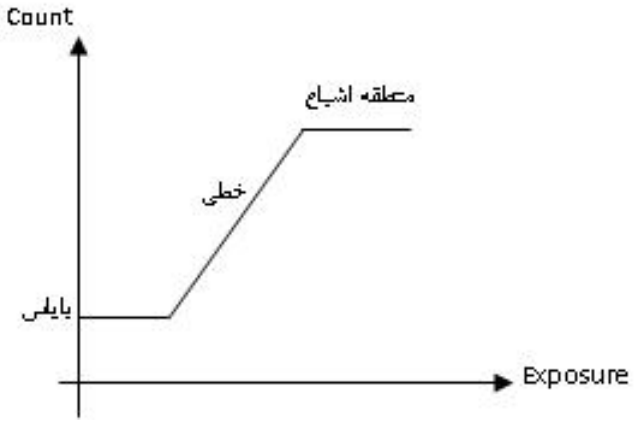
پردازش اولیه تصویر عبارت است از حذف خطاهای تصویربرداری، که معمولاً منشأ آنها رفتارهای الکترونیکی پیکسل‌های CCD است. اولین قدم در پردازش تصویر، کالیبره کردن تصاویر است. قبل از آن که هر پردازش دیگری را بخواهیم بر روی تصویر انجام دهیم، تصویر باید کالیبره شود. این کار در حقیقت برای تصحیح نواقص واقعی تصاویر گرفته شده، بسیار ضروری است. کالیبراسیون تکنیکی است که با استفاده از تصاویری همانند تصویر تاریک یا تصویر تخت، این نواقص را از تصاویر خارج می‌سازد. دقت در تهیه‌ی تصاویر مربوطه ضروری است، چرا که در نتیجه‌ی نهایی تأثیر خواهند گذاشت.

رفتار کلی آشکارسازهایی که به نور حساسند، چه آشکارسازهای شیمیایی (فیلم عکاسی) و یا آشکارسازهای الکترونیکی تقریباً یکسان است. به طور منطقی ما باید از آشکارسازی استفاده کنیم که پاسخ آن‌ها خطی باشد. پاسخ یعنی رفتار آشکارساز نسبت به شدت نورهای مختلف چگونه است. خطی بودن یعنی تأثیری که آشکارساز می پذیرد یا جوابی که به ما می دهد، با شدت نور رابطه خطی داشته باشد. در شکل ۲.۱ رفتار یک آشکارساز به طور کلی نمایش داده شده است.

۱- منطقه بایاس: برای نوردهی‌های خیلی کم که انرژی دریافتی ما بسیار کم است، به علت شدت نور ضعیف و یا زمان نوردهی کم، یک پاسخ ثابت خواهیم داشت.

۲- منطقه خطی: از مرحله آستانه به بعد، برای یک مقداری از نوردهی، سیستم به صورت خطی رفتار می کند.

۳- منطقه اشباع: هرچه نوردهی افزایش پیدا کند، سیستم هیچ عکس‌العملی نشان نمی‌دهد.



شکل ۲.۱: نمودار رفتار کلی آشکارسازها: Exposure میزان شدت نور در زمان، کل انرژی که سیستم در معرض تشعشع نور دریافت می کند. Count معیاری از تأثیرپذیری سیستم است.

اگر در زمان نوردهی صفر مقدار پیکسل‌ها را بررسی کنیم، می بینیم که مقدار پیکسل‌ها صفر نیست. این مقدار اولیه، ناشی از این است که وقتی می‌خواهیم CCD را روشن کنیم به یک ولتاژ اولیه احتیاج داریم. این ولتاژ اولیه باعث می شود که در چاه پتانسیل CCD ، مقداری الکترون گیر بیافتد. بعد از آن هرچه نوردهی را زیاد کنیم، مقدار پیکسل‌ها هم به طور خطی زیاد می شوند و سرانجام بعد از یک حدی به بعد مقدار پیکسل به میزان نهایی اش می رسد. برای CCD های ۸ بیتی این مقدار ۲۵۶ و برای CCD های ۱۶ بیتی ۶۵۵۳۵ است.

پس در هنگام تصویربرداری با CCD باید نوردهی را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که در ناحیه خطی خود باشد. به این معنی که اگر منبع نور خیلی پرنور است، باید زمان نوردهی را کاهش دهیم تا حاصلضرب شدت نور در زمان نوردهی در ناحیه‌ی خطی باشد و اگر منبع نور خیلی کم نور است، باید زمان نوردهی را افزایش دهیم. یکی از مهمترین خصوصیات CCD این است که ناحیه خطی آن، بزرگ است.

۱.۳.۱ تصویر بایاس

تصویر بایاس [۵] ، تصویری است که با زمان نوردهی صفر و شدت نور صفر (دریچه‌ی دوربین بسته) گرفته می‌شود. در واقع تعدادی الکترون به‌علت ولتاژ اولیه (روشن کردن CCD)

[۵] Bias Frame

در چاه پتانسیل CCD گیر می‌افتند. برای حذف این مقدار اولیه تصویر بایاس از تصویر اصلی کم می‌شود. اگر نرم‌افزار CCD یا سیستم دوربین امکان تصویربرداری با زمان نوردهی صفر را نداشته باشد. کم‌ترین زمان ممکن باید برای تصویر بایاس در نظر گرفته شود. این زمان ممکن است 0.001 یا0.01 ثانیه باشد. برای تهیه‌ی این تصویر باید دمای تراشه در زمان تهیه‌ی تصویر با تصویر اصلی برابر باشد. معمولاً چندین تصویر بایاس تهیه می‌شود و در نهایت یک تصویر بایاس کلی با روش میانگین‌گیری ساخته می‌شود.

۲.۳.۱ تصویر تاریک

برخی از الکترون‌هایی که در چاه پتانسیل می‌افتند، ناشی از افت و خیزهای حرارتی الکترون‌ها هستند و منشأ نوری ندارند. نویز جریان تاریک در تصاویر CCD وابستگی مستقیمی به دما دارد. یک تصویر تاریک [۶] (دریچه‌ی دوربین بسته) با مدت زمان نوردهی معادل با تصویر اصلی گرفته می‌شود. در زمان تهیه‌ی تصویر تاریک همچنین باید دمای تراشه با زمانی که تصویر اصلی گرفته شده، یکی باشد. بنابراین تصویر تهیه شده همان مقدار نویز را نسبت به تصویر اصلی دارد. با کم کردن این تصویر تاریک، مقدار نویز تصویر اصلی حذف می‌شود.

ساده‌ترین راه تهیه‌ی یک تصویر تاریک درست بعد از تهیه‌ی هر تصویر خام اصلی است. حالت ایده‌آل زمانی است که دمای CCD ثابت باشد. در این حالت تهیه‌ی یک تصویر تاریک کافی است. اگر مدت زمان نوردهی با مدت زمان تهیه‌ی تصویر تاریک برابر نبود، تصویر تاریک را در یک مقدار عددی، قبل از کم کردن، ضرب میکنند. این ضریب در واقع نسبت زمان نوردهی تصویر اصلی و تصویر تاریک است.

در عمل تکنیک‌های متفاوتی برای تهیه‌ی تصویر تاریک وجود دارد. روش معمول، گرفتن چندین تصویر تاریک است که همگی دارای دما و مدت زمان نوردهی یکسان هستند. سپس آن‌ها را با روش میانگین‌گیری با هم ترکیب می‌کنند تا بهترین مدل برای این نویز تصویر به دست آید. در نهایت یک تصویر تاریک کلی ساخته می‌شود. این کار باعث از بین رفتن تغییرات کم دما در بین تصاویر می‌شود و هرگونه نویز احتمالی ناشی از پرتوهای کیهانی را به شدت کم یا حذف می‌کند.

---

[۶] Dark Frame

تصویر تاریک حتی زمان‌هایی که ابر در آسمان است یا ماه به شدت می‌درخشد یا باد می‌وزد و حتی در هنگام روز نیز قابل تهیه کردن است و باعث استفاده بهینه از زمان، برای تصویربرداری از آسمان می‌شود. نکته‌ی آخر این که تصویر تاریک از لحاظ اندازه و وضوح، بایستی هم اندازه با تصویر اصلی باشد.

۳.۳.۱ تصویر تخت

تصویر تخت [۷] برای خارج ساختن غیر یکنواختی‌هایی در تصویر است که ناشی از متغیر بودن حساسیت پیکسل‌های CCD نسبت به هم است. برای تشخیص نایکسانی در حساسیت پیکسل‌ها، باید تمام پیکسل‌ها را با نوری یکسان نوردهی کنیم. اگر پیکسل‌ها پاسخ‌های متفاوت نشان دادند بدین معنی است که حساسیت آن‌ها متفاوت است.

راه‌های متفاوتی برای تهیه‌ی تصویر تخت وجود دارد. استفاده از نور بین‌الطلوعین آسمان یعنی بعد از غروب آفتاب روش مناسبی است. این شیوه حداقل برای تراشه‌های کوچک بر روی تلسکوپ‌های بزرگ بسیار خوب کار می‌کند. هدف اصلی استفاده از سطحی است که به صورت یکدست روشن شده باشد. تهیه‌ی یک تصویر تخت از نور بین‌الطلوعین بسیار سخت است. به ویژه اگر از فیلترهای مختلف در هنگام تصویربرداری استفاده کنیم. نباید در زمان غروب زیاد منتظر بمانیم، زیرا آسمان به سرعت تاریک می‌شود. می‌توانیم چندین تصویر تخت را در هر فیلتر تهیه کنیم و بین هر بار نوردهی، تلسکوپ را کمی جابجا کنیم.

روش دیگر برای تهیه تصویر تخت استفاده از صفحه‌ای بر روی گنبد است که به صورت یکدست و مصنوعی آن را روشن کرده باشیم. میزان روشنایی تصاویر تخت باید در یک حد ایده‌آل باشد. مقداری که توصیه می‌شود حدود یک سوم تا یک دوم مقدار اشباع هر پیکسل است. برای هر فیلتر، باید تصویر تخت کلی جداگانه‌ای تهیه کرد. با کم کردن تصویر تاریک از تصویر اصلی و تقسیم نتیجه‌ی آن بر تصویر تخت، تصویر کالیبره می‌شود. تصاویر هر فیلتر به طور جداگانه پردازش می‌شوند و در نهایت با یکدیگر ترکیب می‌گردند.

---

[۷] Flat Frame

۴.۱ نورسنجی روزنه‌ای

حال نوبت به شمارش و اندازه‌گیری تعداد فوتون‌های دریافتی از یک جرم آسمانی همانند ستاره در یک تصویر است. در ابتدا چند مشکل وجود دارد.

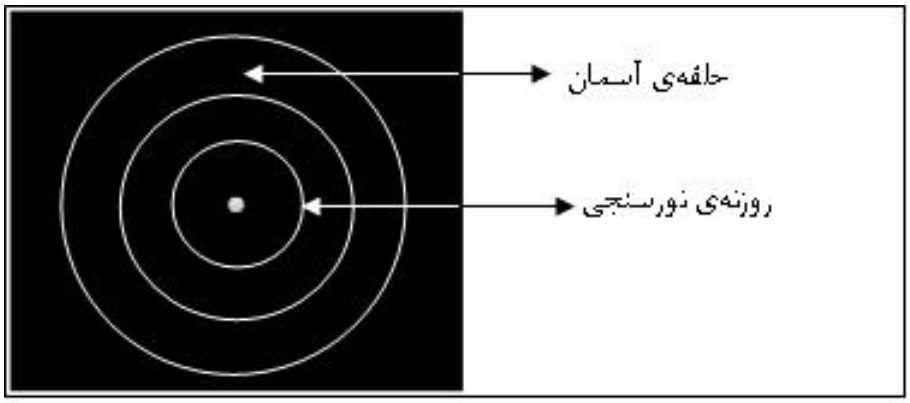
(۱) دید جو موجب پخش شدن تصویر ستاره بر روی تعداد بیش‌تری از پیکسل‌ها می‌شود.

(۲) پیکسل‌هایی که فوتون‌های رسیده از ستاره را در بر گرفته‌اند، شامل فوتون‌های رسیده از نور پس‌زمینه‌ی آسمان نیز هستند.

(۳) برای برخی از اجرام همانند خوشه‌های ستاره‌ای، تصاویر ستاره‌ها گاهی بر روی هم قرار می‌گیرند. بنابراین روشی باید پیدا شود تا نور اجرام را از یکدیگر جدا سازد.

ابتدای کار، در اطراف ستاره موردنظر دایره‌ای به نام روزنه نورسنجی در نظر می‌گیریم. همان‌طور که شکل ۳.۱ نشان می‌دهد، دایره‌ی اول (کوچک‌ترین آن‌ها) که ستاره را در بر می‌گیرد همان روزنه‌ی نورسنجی است. برای محاسبه قدر ستاره، شدت نور ستاره را باید محاسبه کرد. بنابراین تمام پیکسل‌هایی که در ناحیه روزنه‌ی نورسنجی قرار می‌گیرند را با هم جمع می‌کنیم.

در ادامه، مقدار متوسط نور پس زمینه آسمان را از این مقدار کم می‌کنیم. دوایر دوم و سوم برای مشخص کردن پهنای حلقه‌ی دربرگیرنده‌ی آسمان است. کار این حلقه محاسبه‌ی مقدار نور زمینه‌ی تصویر است. هر چه اندازه‌ی پهنای حلقه‌ی آسمان بزرگتر باشد، بهتر است. البته باید این حلقه اجرام دیگری را در بر نگیرد و همچنین دریافتی از نور ستاره مرکزی نداشته باشد. در انتخاب مناسب شعاع‌های داخلی و خارجی این حلقه در زمانی که از یک میدان ستاره‌ای پرتعداد نورسنجی می‌شود، باید دقت کافی را به کار برد.



شکل ۳.۱: روزنه‌ای نورسنجی

بدین ترتیب، با استفاده از معادله ۱.۱، قدر اولیه ستاره‌ها محاسبه می‌شود:

$$m = -2.5\log(\sum_{i=1}^{N} I_i^{star} - N\bar{I}_{sky}) + c \qquad (۱.۱)$$

در این معادله، $\sum_{i=1}^{N} I_i^{star}$ مجموع مقدار پیکسل‌های روزنه‌ی نورسنجی، $\bar{I}_{sky}$ مقدار متوسط نور پس زمینه آسمان و N تعداد پیکسل‌های روزنه‌ی نورسنجی، C مقدار ثابتی است.

۵.۱ تابع نقطه‌ی پخش

تابع نقطه پخش (PSF) [۸] ، شکل تصویر CCD از یک منبع نقطه‌ای نور است. ستاره‌ها در فاصله‌ی بسیار دوری از ما هستند، به طوری‌که قطر ظاهری ستاره‌ها از نظر ما در حدود کسری از ثانیه قوس است. اما وقتی با CCD از ستاره‌ها عکس می‌گیریم تصویر ستاره‌ها نقطه نیست، بلکه دایره است. دو دلیل می‌توان مطرح کرد:

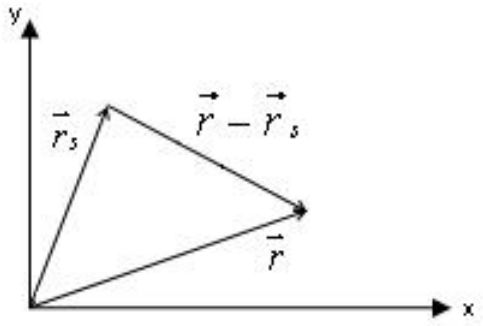
۱-اعوجاج جو: تصویری که از ستاره می‌بینیم از زیر جو است و اگر جو ناپایدار باشد، (لایه‌های با دماهای مختلف) جبهه‌های موج نور ورودی را متلاطم می‌کنند. درنتیجه تصویر ستاره بر روی تعداد بیش‌تری از پیکسل‌ها پخش می‌شود.

[۸] Point Spread Function

۲- عیوب تلسکوپ: اپتیک تلسکوپ ایده‌آل نیست و در صفحه‌ی کانونی آن شعاع‌های نور موازی در یک نقطه متمرکز نمی‌شود.

با فرض این که سیستم اپتیکی خوبی در اختیار باشد و تنظیمات کانونی مناسب باشند، اثر یک ستاره که در بی‌نهایت است، باید به صورت دایره باشد. جبهه‌ی موج تخت آن از یک جو معمولی عبور می‌کند، دایره‌ای که در صفحه‌ی کانونی درست می‌شود ۲ یا ۳ ثانیه قوس است. در بهترین جوها قطر دایره به حدود0.4 ثانیه قوس می‌رسد. اهمیت تابع نقطه‌ی پخش به این دلیل است که وقتی می‌خواهیم شدت نور را اندازه‌گیری کنیم، باید به این نکته توجه داشت که دایره‌ی ستاره روی چند پیکسل قرار دارد.

بنابراین به دلیل اثر نقطه پخش، نوری که از یک ستاره به سمت ما می‌آید، روی یک پیکسل نمی‌افتد و روی تعدادی از پیکسل‌ها پخش می‌شود.می‌خواهیم بدانیم چه کسری از نور ستاره S به ستاره‌ی دیگر می‌رسد (شکل ۴.۱). اگر شدت ستاره موردنظر $I(r_s)$ باشد، شدت نوری که در نقطه‌ی r دریافت می‌شود، به صورت معادله ۱.۲ تعریف می‌شود.



شکل ۴.۱: تأثیر تابع نقطه‌پخش

$$I(r) = \int I(r_s)F(r - r_s)\, d^2r_s \qquad (۱.۲)$$