

به نام خدا

عیوب تلسکوپها (عدسی‌ها و آینه‌ها)

محمد مهدی مطیعی

motiei@yahoo.com

انجمن نجوم آماتوری آسمان توس

مقدمه

هر تلسکوپ از ترکیب عدسی‌ها و یا آینه‌ها ساخته شده است. در یک سیستم نوری که از ترکیب عدسی‌ها و یا آینه‌ها تشکیل شده است، مانند تلسکوپها، میکروسکوپها و غیره، اگر تمام پرتوهای نوری که از یک نقطه جسم وارد سیستم می‌شوند در نقطه نظیر بر روی تصویر همگرا گردند، ترکیب را یک سیستم ایده آل نوری می‌گویند. تصویر حاصل از چنین ترکیبی کاملاً شفاف، واضح و عاری از هرگونه عیبی خواهد بود. اما در عمل به دلیل عیوبی که عدسی‌ها و آینه‌ها از نظر اپتیکی دارا می‌باشند، پرتوهای نوری وارده از یک نقطه از جسم در نقاط مختلف همگرا می‌شوند و تصاویر حاصل از آنها به تنهایی کیفیت لازم را برای مقاصد نجومی دارا نیستند. تمام عواملی که چنین پدیده‌ای را سبب می‌شوند، *ابیراهی*، *کج‌نمایی* و یا *عیب عدسی* یا *آینه نامیده می‌شوند* و برای برطرف کردن و یا کاهش این عیوب از ترکیب عدسی‌ها و یا روشهای دیگری استفاده می‌شود که به آنها اشاره خواهد شد.

ابتدا به بررسی عیوب عدسی‌ها می‌پردازیم. این عیوب عبارتند از:

۱- عیب رنگی (Spherical aberration)

۲- عیب کروی (Chromatic aberration)

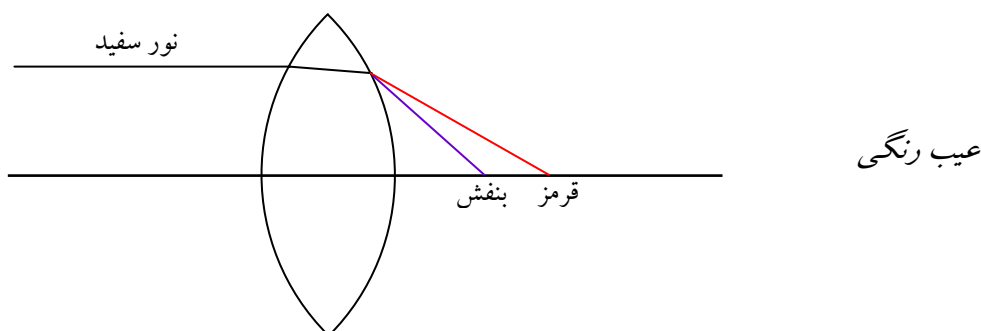
۳- عیب کانونی (Coma ; comatic aberration)

۴- عیب آستیگماتیسم (Astigmatism)

۵- انحنای میدان (Curvature of field)

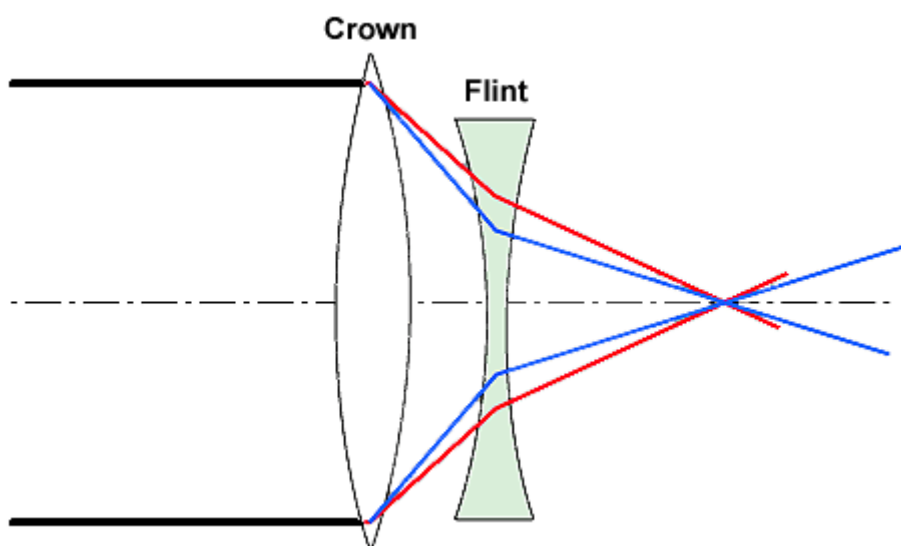
۶- اعوجاج (Distortion)

۱- عیب رنگی از آنجا ناشی می‌شود که ضریب شکست عدسی با افزایش طول موج کاهش می‌یابد لذا فاصله کانونی یک عدسی به طول موج نور به کار رفته بستگی دارد. از آنجا که نور سفید ترکیبی از طول موجهای مختلف است، هر طول موج پس از عبور از عدسی با زاویه متفاوتی نسبت به سایر طول موجها شکست پیدا می‌کند و این امر سبب می‌شود که رابطه نقطه به نقطه بین جسم و تصویر آن برقرار نباشد و در تصویر رنگهای اضافی مشاهده شود.



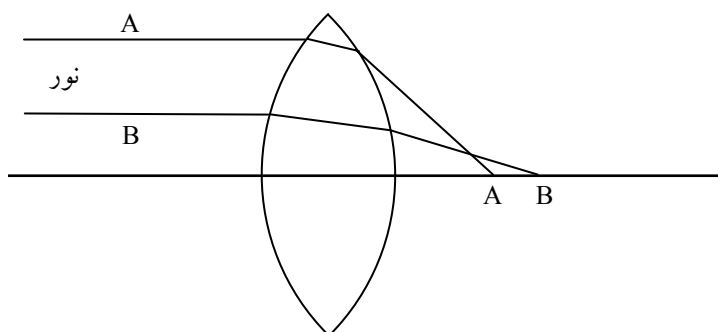
عیب رنگی

برای کاهش عیب رنگی می‌توان از ترکیب عدسی‌ها در چشمی استفاده کرد. معمولاً استفاده از دو عدسی به هم چسبیده به عنوان یکی از ساده‌ترین راهها مؤثر است. بدین ترتیب که یک عدسی واگرا را به عدسی همگرا می‌چسبانند. از آنجا که عدسی واگرا عکس عدسی همگرا عمل می‌کند، نور پس از عبور از ترکیب این مجموعه کمتر تجزیه شده، عیب رنگی کاهش می‌یابد. علاوه بر آن جنس شیشه‌ای که عدسی‌ها از آن ساخته می‌شوند نیز در تشدید و یا کاهش عیب رنگی می‌تواند تا حدی مؤثر باشد. اگر عدسی همگرا از جنس شیشه کراون ساخته شود نور سفید را به میزان اندکی به رنگهای تشکیل دهنده تجزیه می‌کند. از طرف دیگر در صورتیکه عدسی واگرا از شیشه فلینت ساخته شود برای تجزیه نور بهتر از شکست آن عمل می‌کند و لذا تجزیه‌ای را که توسط عدسی همگرا انجام شده خنثی می‌کند، اما شکستی را که به واسطه این عدسی ایجاد می‌گردد کاملاً از بین نمی‌برد، در نتیجه نور می‌شکند ولی تجزیه نمی‌شود و لذا عیب رنگی کاهش می‌یابد. این ترکیب عدسی به عدسی آکروماتیک یا غیر رنگی موسوم است.



۲- عیب کروی به واسطه نقیصه عدسی‌هایی است که سطوحشان کروی است. اکثر عدسی‌ها چنین سطوحی دارند و سطح‌های جلویی و عقبی آنها در واقع قسمتهایی از کره می‌باشند. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که این قبیل عدسیها نمی‌توانند نور را به درستی کانونی کنند. شعاعهای نوری که از نزدیکی لبه عدسی می‌گذرند بیشتر از شعاعهای گذرنده

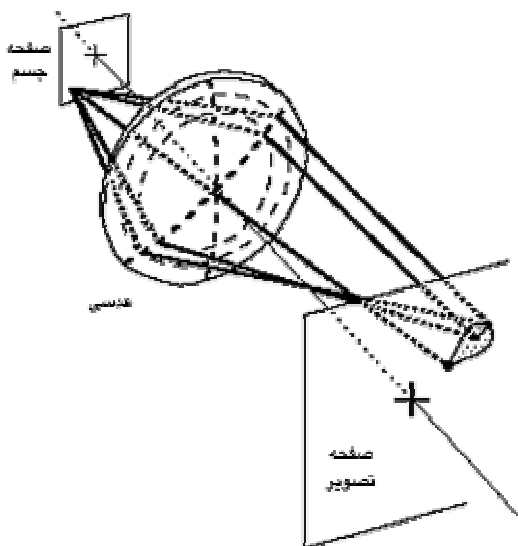
از نواحی میانی عدسی شکسته می‌شوند و در نتیجه رابطه نقطه به نقطه بین شیء و تصویر برقرار نمی‌گردد. لذا تصویر حاصل به صورت تار (با وضوح کم) مشاهده می‌گردد. به شکل زیر توجه نمایید.



عیب کروی

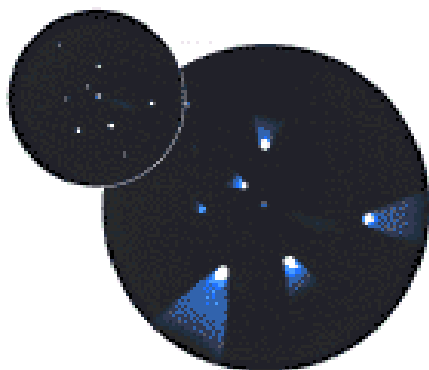
عیب کروی از عیب رنگی کاملاً مستقل است. در مواردی که هیچ تجزیه نوری هم وجود ندارد ممکن است عیب کروی وجود داشته باشد. یکی از راههای رفع عیب کروی این است که سطوح عدسی‌ها به جای آنکه کروی باشند سهمیوار ساخته شوند. انحنای عدسی‌های سهمیوار در لبه‌ها کمتر از مرکز است و پرتوهای موازی را در کانون مشخص واحدی جمع می‌کنند. از دیگر روشهای کاهش عیب کروی استفاده از عدسی‌های دوگانه و یا سه‌گانه است. این ترکیبها به جای آنکه از یک عدسی تشکیل شوند از دو یا سه عدسی با شکلهای مختلف تشکیل شده‌اند.

۳- عیب کانونی موقعی پدید می‌آید که تصویر یک جسم نقطه‌ای خارج از محور عدسی قرار گیرد. به عبارت دیگر این عیب تنها موقعی پدید می‌آید که پرتوهای نور به صورت مایل به سطح عدسی برخورد کنند. اگر با یک عدسی محدب تصویر خورشید را بر روی صفحه‌ای تشکیل دهید با چرخاندن عدسی مشاهده می‌شود که تصویر خورشید دچار کشیدگی می‌شود و شکلی دنباله‌دار مانند به خود می‌گیرد. دلیل آن را می‌توان چنین تصور کرد که عدسی از چندین حلقه یا طوق تشکیل شده باشد. هر منطقه حلقه‌وار سبب تشکیل تصویری حلقوی در صفحه کانونی می‌شود. از ترکیب هر تصویر جزئی، کل تصویر انحراف دار به دست می‌آید.



عیب کانونی

عیب کانونی سبب می‌شود که تصویر و مخصوصاً تصاویری که از اجرام نقطه‌ای (مانند ستارگان) پدید می‌آیند دارای کشیدگی دنباله‌دار ماندی به سمت بیرون گردند که هرچه به سمت نواحی حاشیه‌ای تصویر پیش رویم این حالت تشدید خواهد شد. این مطلب نشان می‌دهد که عیب کانونی در لبه‌های عدسی تشدید می‌شود و تصویر اجسامی که در پیرامون محدوده دید قرار می‌گیرند بیشتر تحت تأثیر این عیب واقع گردند.

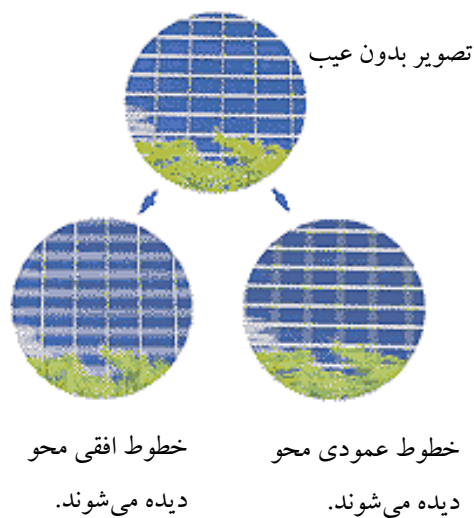


بنابراین یکی از روشهای کاهش این عیب پوشاندن اطراف عدسی می‌باشد. این عمل در دوربینهای عکاسی با استفاده از دیافراگم صورت می‌پذیرد.

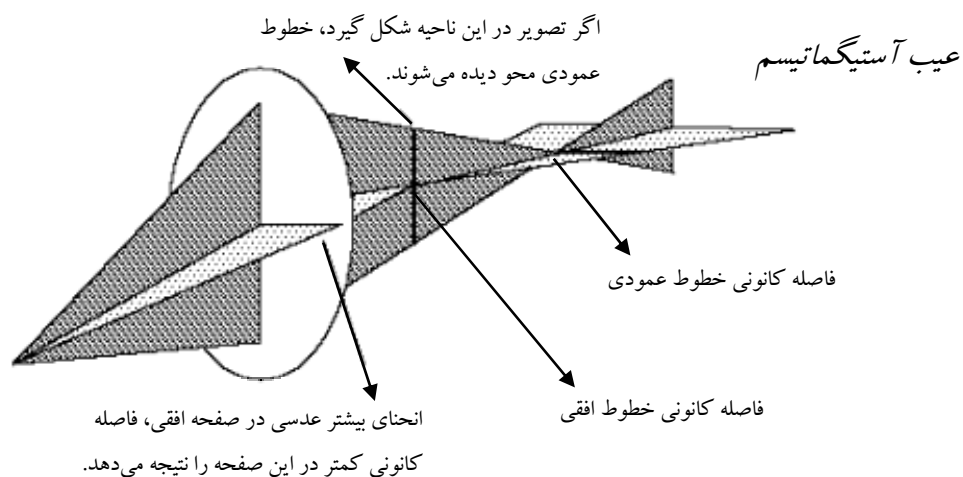
تصویر ستارگان و یا سایر اجرام نقطه‌ای به واسطه عیب کانونی به صورت دنباله‌دار مانند مشاهده می‌شوند.

اگر از دوربینهای عکاسی ارزان قیمت که لنزهای آنها از کیفیت ایده‌آل برخوردار نیستند استفاده می‌کنید، هنگام عکاسی نجومی هیچگاه از حداکثر گشودگی لنز و یا کوچکترین عدد دیافراگم استفاده نکنید. در غیر اینصورت تصویر اجرامی که در حاشیه تصویر واقع می‌شوند دارای کشیدگی نامطلوبی خواهد شد. یکی دیگر از روشهای تصحیح عیب کانونی استفاده از عدسی‌های تصحیح کننده است. این عدسی‌ها معمولاً دو یا سه عدسی هستند که شکل ویژه‌شان سبب کاهش عیب کانونی می‌گردد. استفاده از دو یا چهار عدسی تصحیح کننده به طور متقارن در اطراف محور اصلی عدسی این عیب را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

۴- عیب آستیگماتیسم تقریباً شبیه عیب کانونی است و به ویژه در مورد تصویر اجسام کوچک که در لبه‌های محدوده دید قرار گیرند، تشدید می‌شود. در این حالت اگر خطوط افقی موجود در تصویر کاملاً واضح دیده شوند، خطوط عمودی به صورت محو یا اصطلاحاً خارج از فوکوس مشاهده خواهند شد. در صورتی که با تغییر پیچ تنظیم وضوح (یا فوکوس) تلسکوپ، خطوط عمودی را واضح سازید، خطوط افقی وضوح خود را از دست خواهند داد.



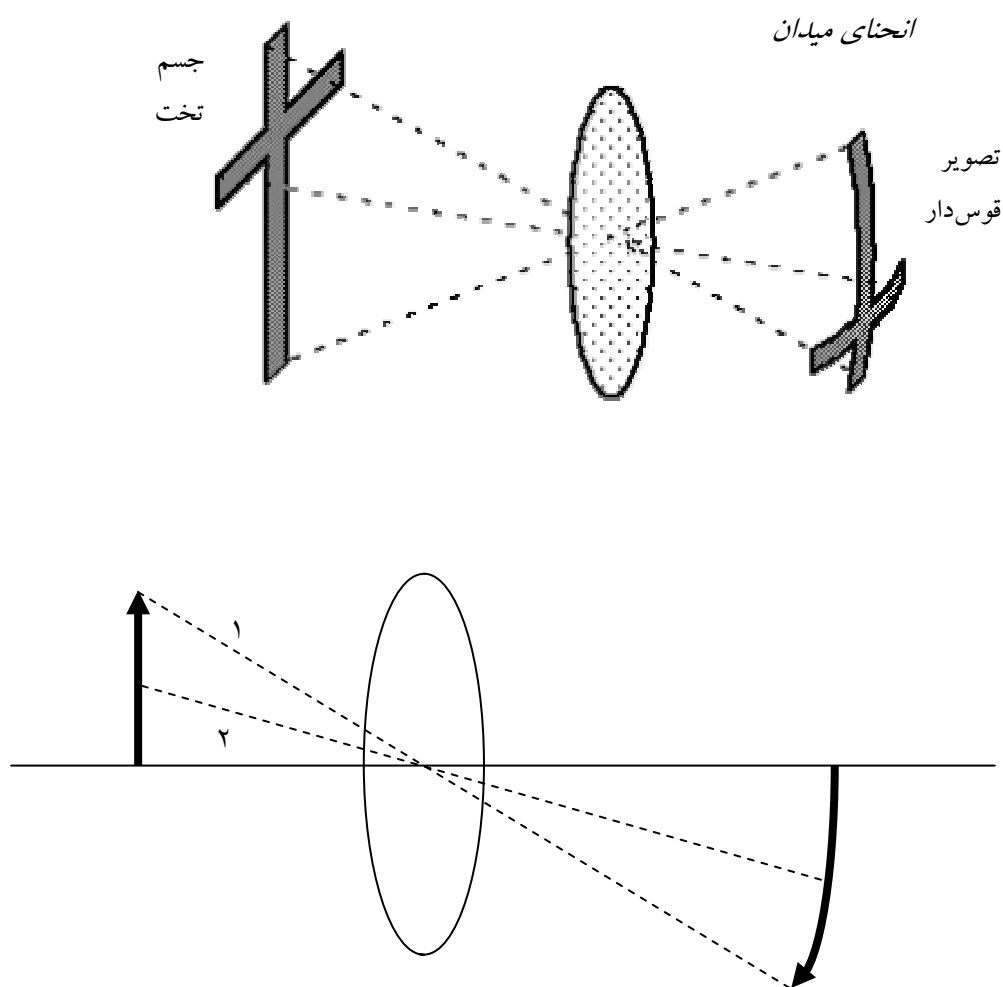
آستیگماتیسم به علت اختلاف انحنای عدسی در صفحات مختلف گذرنده از آن پدید می آید. پرتوهایی که با زاویه غیر قائمه به سطح عدسی برخورد می کنند در نقطه ای غیر از جایی که پرتوهای موازی با محور عدسی کانونی می شوند، همگرا می گردند. همین امر سبب می شود که عدسی یک کانون منحصر به فرد نداشته باشد و در نتیجه بخشی از تصویر به صورت کاملاً واضح تشکیل نگردد.



مانند عیب کانونی که در نواحی حاشیه ای تصویر تشدید می شود، آستیگماتیسم نیز در این ناحیه ها افزایش می یابد، اما حساسیت آستیگماتیسم در لبه های عدسی مانند عیب کانونی نیست. یکی از روشهای تصحیح عیب آستیگماتیسم، استفاده از عدسی دیگری است که خود نیز دارای عیب آستیگماتیسم است. بدین ترتیب که عدسی دوم به گونه ای بعد از عدسی اول قرار گیرد که اثر آستیگماتیسم آن درست برخلاف عدسی اول عمل کند. در این حالت عیب آستیگماتیسم در ترکیب این دو عدسی کاهش خواهد یافت.

هم‌محور نبودن کامل چشمی و شیئی تلسکوپ، یکی از عوامل مهم در تشدید عیب آستیگماتیسم در تلسکوپها است. در این حالت حتی عیب کانونی نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین هم‌محور بودن شیئی و چشمی به ویژه در هنگام سوار کردن تلسکوپ، می‌تواند در کاهش عیوب آستیگماتیسم و کانونی نقش بسزایی داشته باشد.

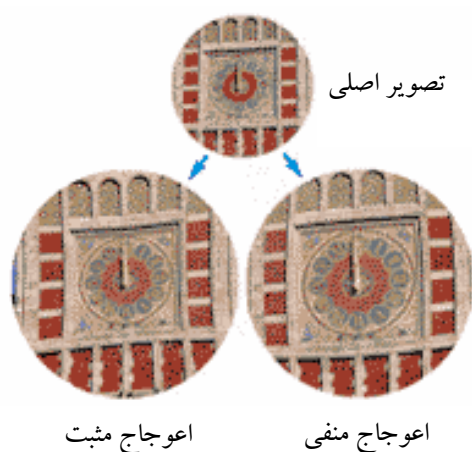
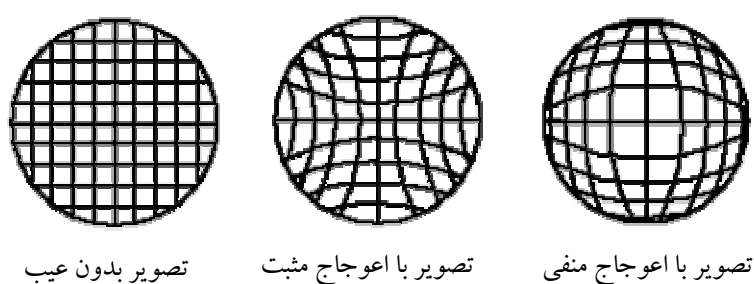
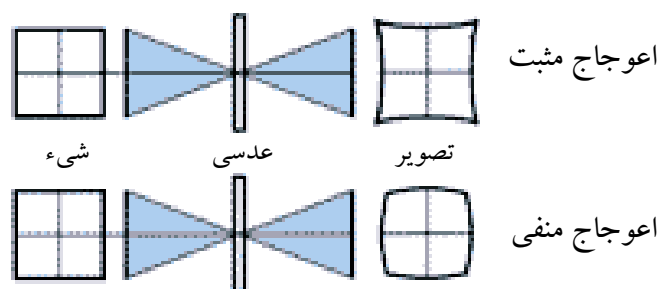
۵- انحنای میدان عیب دیگری است که سبب می‌شود تصویر اجسام تخت به صورت قوس‌دار تشکیل گردد. لذا تنظیم دوربین یا تلسکوپ برای مشاهده نواحی مرکزی جسم باعث می‌شود قسمتهای حاشیه‌ای تصویر محوتر یا به صورت غیر واضح به نظر برسند و برعکس. علت این امر آن است که پرتوهای مختلف از یک جسم هنگام عبور از عدسی مسیرهای مختلفی را از نظر اندازه در عدسی طی می‌کنند و در نتیجه پرتوهایی که مسیر بیشتری را در عدسی طی می‌کنند بیش از سایر پرتوها منحرف می‌گردند. به شکلهای زیر دقت کنید.



پرتو شماره ۱ مسیر طولانی‌تری را نسبت به پرتو شماره ۲ در عدسی طی می‌کند.

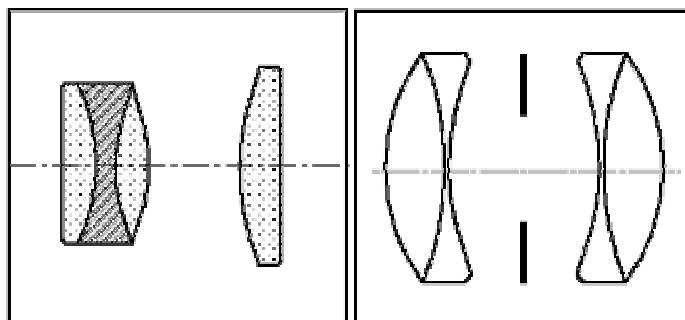
انحنای میدان بیشتر در سیستمهایی مشاهده می‌شود که در آنها سعی شده است آستیگماتیسم به طور کامل از بین برود. یکی از روشهای کاهش این عیب استفاده از دیافراگم در هنگام ترکیب عدسی‌هاست.

۶- اعوجاج هنگامی رخ می‌دهد که تصویر از لحاظ هندسی با جسم متفاوت باشد. در این حالت وضوح، شفافیت و حتی رنگ تصویر تغییری نمی‌کند بلکه تنها شکل تصویر دستخوش اعوجاج می‌گردد. دو نوع اعوجاج وجود دارد که عبارتند از اعوجاج مثبت و اعوجاج منفی که علت اصلی هر دو تغییر بزرگنمایی عدسی در بخش‌های مختلف می‌باشد. با افزایش اعوجاج، گرچه ممکن است تمام بخشهای تصویر کاملاً واضح مشاهده شوند، اندازه تصویر در قسمتهای میانی با اندازه تصویر در نواحی حاشیه‌ای تفاوت فاحشی خواهد داشت. به شکلهای زیر دقت نمایید.

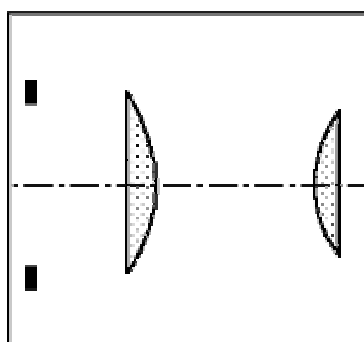


اعوجاج در عدسی‌های محدب‌الطرفین نازکی که از شیشه ساخته شده‌اند به سادگی مشاهده می‌شود. یکی از دلایلی هم که نمی‌توان با استفاده از چنین عدسی‌های ساده‌ای به بزرگنماییهای زیاد رسید همین امر است. با استفاده از ترکیب

عدسی‌ها می‌توان اعوجاج را به میزان قابل قبولی کاهش داد. شکل‌های زیر برخی از ترکیب‌های مناسب را نشان می‌دهند.



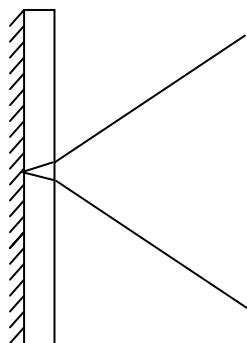
ترکیب عدسی‌ها در چشمی‌های آرتوسکوپی (Orthoscopic doublet)



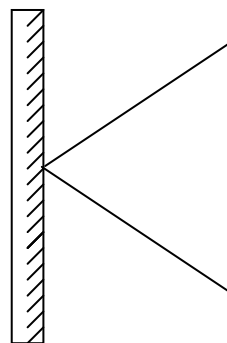
ترکیب عدسی‌ها در چشمی رمزدن (Ramsden eyepiece)

تا اینجا مروری اجمالی بر عیوب مهم عدسی‌ها داشتیم. اکنون به عیوب آینه‌ها می‌پردازیم. عموماً به غیر از عیب رنگی بقیه عیوب ذکر شده برای عدسی‌ها در آینه‌ها نیز وجود دارند.

از آنجا که آینه‌های مورد استفاده در وسایل نوری دقیق مانند تلسکوپها، میکروسکوپها و نیز دوربین‌های عکاسی گرانبه‌ای هستند، آینه‌های سطح اول هستند، نور پس از برخورد به آنها فقط منعکس می‌شود و پدیده شکست برای آن به وقوع نمی‌پیوندد. در نتیجه نور تجزیه نیز نمی‌شود و بنابراین آینه‌ها عاری از عیب رنگی هستند.



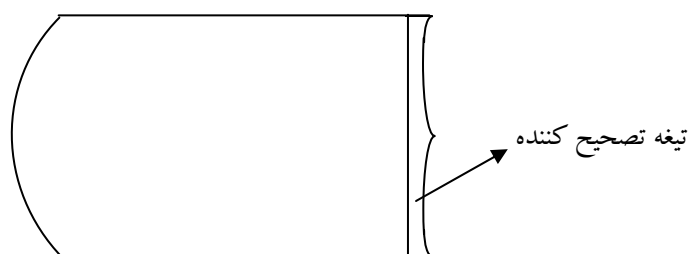
آینه سطح دوم (شکست نور وجود دارد)



آینه سطح اول (شکست نور وجود ندارد)

سایر عیوب عدسی‌ها در آینه‌ها نیز مشاهده می‌شوند. از آنجا که آینه‌های کروی (محدب و مقعر) خود بخشی از

سطح یک کره می‌باشند، به همان دلیلی که برای عدسی‌ها ذکر شد، اینگونه آینه‌ها نیز دارای عیب کروی هستند. به عنوان مثال در یک آینه مقعر، که معمولاً آینه اصلی یک تلسکوپ بازتابی می‌باشد، پرتوهایی که به لبه آینه برخورد می‌کنند در نقطه‌ای کانونی می‌شوند که نسبت به کانون پرتوهای برخورد کننده به نواحی مرکز آینه، به سطح آینه نزدیک‌تر است. یکی از راههای غلبه بر این عیب استفاده از آینه‌های غیر کروی است. از متداولترین این آینه‌ها نوع سهمی شکل یا آینه‌های سهموی (شلجمی) هستند. در این آینه‌ها عملاً عیب کروی وجود ندارد اما دامنه دید از نوع کروی با فاصله کانونی یکسان کمتر است. استفاده از تیغه یا صفحه تصحیح کننده از دیگر روشهایی است که می‌تواند عیب کروی را کاهش دهد. این تیغه نوعی عدسی بسیار نازک با طراحی ویژه‌ای است که در مقابل آینه اصلی تلسکوپ قرار می‌گیرد و یکی از وظایف آن تغییر مسیر پرتوهای ورودی به گونه‌ای است که پس از برخورد با آینه همگی در یک نقطه کانونی شوند. طراحی و ساخت این تیغه‌ها دشوار و قیمت آنها نیز نسبتاً گران است. شکل زیر نمونه‌ای از این تیغه‌ها را نشان می‌دهد.



عیب کانونی در آینه‌ها نیز مانند عدسی‌ها هنگامی که پرتوهای نور به صورت مایل به سطح آینه برخورد کنند، مشاهده می‌شود. هرچه زاویه بین پرتوهای ورودی و محور اصلی آینه بیشتر باشد، عیب کانونی بیشتر نمایان می‌گردد. برای کاهش این عیب در آینه‌ها دو روش وجود دارد:

۱- استفاده از تیغه تصحیح کننده. همانطور که در قبل اشاره شد یکی از وظایف این تیغه کاهش عیب کروی بود. علاوه بر آن می‌توان تیغه تصحیح کننده را به گونه‌ای طراحی کرد که عیب کانونی را نیز کاهش دهد.

۲- استفاده از سیستم ریچی-کرتین^۱. در این روش آینه اصلی تلسکوپ به جای آنکه سهموی باشد به صورت هذلولوی، یعنی با انحنای کمتر و آینه ثانویه نیز به صورت هذلولوی‌تری نسبت به آینه ثانویه در تلسکوپهای کاسگرین ساخته می‌شود. در این ترکیب آینه اصلی عیب کانونی را کاهش می‌دهد و آینه ثانویه سبب کم شدن عیب کروی می‌گردد. در نتیجه تلسکوپهای ریچی-کرتین دارای محدوده دید مفید بیشتری نسبت به سایر انواع تلسکوپهای بازتابی می‌باشند.

عیب آستیگماتیسم یکی دیگر از عیوبی است که در تلسکوپهای بازتابی نیز مشاهده می‌گردد. در این حالت فاصله کانونی برای پرتوهایی که در راستای بالا به پایین به آینه برخورد می‌کنند با فاصله کانونی پرتوهایی که در راستای چپ به راست به سمت آینه می‌آیند، تفاوت دارد. رفع این عیب نیز یکی دیگر از وظایف تیغه تصحیح کننده می‌باشد.

اعوجاج هم به همان ترتیبی که اشاره شد در آینه‌های انحنادار مشاهده می‌شود. در این حالت تصویر جسم کپی یکسانی از خود شیء نمی‌باشد. عدم استفاده از بزرگنماییهای زیاد در کاهش اعوجاج می‌تواند مؤثر باشد. انحنای میدان از دیگر عیوبی است که در روند کاهش عیوب دیگر پدیدار می‌گردد. تصویر بر روی یک صفحه تخت تشکیل نمی‌گردد و در عوض صفحه کانونی یک سطح منحنی می‌باشد. هنگام استفاده از فیلمهای تخت و یا شیشه‌های نازک عکاسی می‌توان فیلم و یا شیشه را به گونه‌ای خم کرد که منطبق بر سطح کانونی گردد. با این کار می‌توان انحنای میدان را کاهش داد. اما هنگام استفاده از دوربینهای الکترونیکی این عمل غیر ممکن است و باید از صفحه (تیغه) تصحیح کننده استفاده کرد.

یکی از پدیده‌هایی که هنگام کار با عدسی‌ها و تیغه‌های تصحیح کننده باید به آن توجه کرد، بازتابهای متوالی است که هنگام برخورد نور با سطح این اجسام به وقوع می‌پیوندد و سبب می‌شود در کنار تصویر اصلی تصویرهای کم‌نورتری نیز از شیء تشکیل شوند. این پدیده سبب کاهش کیفیت تصویر می‌شود. برای حذف بازتابهای متوالی از لایه‌های ویژه‌ای که به لایه‌های ضد بازتاب معروفند استفاده می‌کنند و سطح این وسایل اپتیکی را با این لایه‌ها می‌پوشانند. اگر ضخامت لایه‌ها برابر یک‌چهارم طول موج نور مرئی باشد، نور منعکس شده از سطح بالایی لایه با نوری که از سطح زیرین آن منعکس می‌گردد تداخل ویرانگر کرده، اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. بدین ترتیب می‌توان اثر بازتابهای متوالی را کاهش داد. معمولاً اگر به سطح وسایلی که با لایه‌های ضد بازتاب پوشانده شده‌اند نگاه کنید آنها را به رنگ بنفش، آبی و یا قرمز دیده می‌شوند. نکته مهمی که هنگام کار با این وسایل باید به آن توجه کرد این است که این لایه‌ها نباید از بین بروند لذا هنگام تمیز کردن آنها باید بسیار دقت کرد.

عیوب عدسی‌ها و آینه‌ها و همچنین روشهای رفع یا کاهش این عیوب مورد بررسی و تجزیه و تحلیل مختصر قرار گرفت. علاقه‌مندان جهت مطالعه بیشتر می‌توانند به مراجع معرفی شده رجوع کنند.

مراجع:

- 1- Exploring the Dynamic Universe, An Introduction to Astronomy, by Theodore P.Snow, 1988.
- 2- Astronomy Today; E. Chaisson, S. McMillan

۳- ستاره شناسی: اصول و عمل؛ نوشته ا.ای.ر.وی و دی. کلارک؛ ترجمه سید احمد سیدی نوقابی.

۴- نجوم به زبان ساده؛ مایر دگانی؛ ترجمه محمدرضا خواجه‌پور.

۵- فرهنگ اخترشناسی؛ تالیف مهرداد سرمدی.

۶- نجوم و اخترفیزیک مقدماتی؛ زیلیک و اسمیت؛ ترجمه دکتر جمشید قنبری و دکتر تقی عدالتی