تجربه های آموزشی

چالش های اپتیکی مروارید های آبی برای همه

مارینا میلنر بولوتین
مترجم: سیدمهدی میرفتحی
کارشناس ارشد فیزیک، دبیرستان شهید میرباقری رامسر

مرواریدهـای آبی مهره‌های پلی‌اکریـلات با قدرت جذب فراوان هستند که در صورت غوطه‌ور شدن در آب، می‌توانند تا ۲۰۰ برابر منبسـط شوند و اغلب از آن‌ها برای مصارف تزئینی در گلدان‌ها اسـتفاده می‌شود. این مرواریدها در تدریس علوم به‌ویژه اپتیک بسیار مفید هستند. چون مرواریدهای آبی اساساً از آب سـاخته شده‌اند، ضریب شکست آن‌ها با ضریب شکست آب برابر است، لذا هنگام غوطه‌ور شدن در آب نامرئی می‌گردند. (شـکل ۱) شکل کروی و شـفافیت مرواریدهای آبی آن‌ها را به عدسی‌های آبی کروی مناسبی تبدیل کرده است. (شکل ۲)

در ادامه به چهار فعالیت با مرواریدهای آبی که می‌توانید به دانش‌آموزانتان پیشنهاد دهید اشاره شده است:

فعالیت ۱. وسـیله‌ای برای مشـخص کردن فاصله کانونی مروارید آبی ابداع کنید.

فعالیت ۲. تصویر ایجاد شـده توسط یک عدسی به فاصلهٔ جسم از عدسی بسـتگی دارد. آزمایشی برای تشریح چگونگی تشکیل تصویرهای حاصل در هر آزمایش را بیان کنید.

فعالیت ۳. بزرگ‌نمایی این عدسـی‌های آبی را، هنگامی که به‌عنوان ذره‌بین مورد استفاده قرار می‌گیرند، محاسبه نمایید.

فعالیت ۴. پیش‌بینی کنید که فاصلهٔ کانونی این عدسی‌ها، هنگامی که به‌جای هوا در روغن کانولا غوطه‌ور شـوند، چگونه تغییر می‌کند. آزمایشی را برای سنجش صحت پیش‌بینی خود ابداع کنید.

فعالیـت ۵. یـک آزمایـش برای تشـریح چگونگـی تأثیر خمیدگی این عدسی‌ها بر فاصلهٔ کانونی آن‌ها ابداع کنید.

محاسبه و اظهارنظرها

چون عدسی‌های مروارید آبی می‌توانند به‌عنوان عدسی‌های دو کوژ لحاظ شوند، کاربر می‌تواند با تعیین تجربی فاصلهٔ کانونی مروارید، صحت فرمول مشهور عدسی‌سازان را بررسی کند. این فرمول همان‌طور که اغلب در دوره‌های مقدماتی فیزیک به‌کار مـی‌رود برای هر عدسـی (و نه فقط عدسـی‌های نازک) قابل استفاده است.

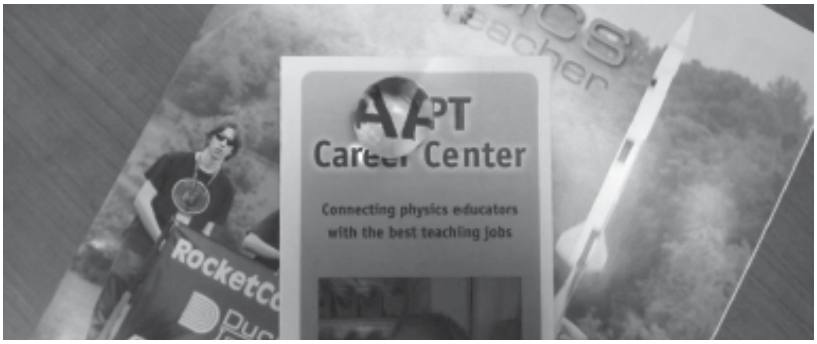
$$\frac{۱}{f}=\left(\frac{n_{\text{عدسی}}}{n_{\text{محیط}}}-۱\right)\left(\frac{۱}{R_۱}-\frac{۱}{R_۲}+\frac{(n_{\text{عدسی}}-۱)d}{n_{\text{عدسی}}R_۱R_۲}\right)$$

در این فرمول f فاصلهٔ کانونی، $R_۱$ و $R_۲$ شعاع خمیدگی سطح عدسـی‌ها ($R_۱$ شعاع خمیدگی سطح نزدیک به منبع نور است و اگر سطح کوژ باشـد، مثبت خواهد شد، $R_۲$ نیز شعاع خمیدگی سطح دور از چشمهٔ نور است و در صورت کوژ بودن سطح، مثبت خواهد بود) و d ضخامت عدسـی اسـت. برای یک عدسی کروی $R_۱=-R_۲=R$ و ضخامت عدسی نیز $۲R$ خواهد بود. علاوه بر این از آنجا که عدسی از آب تشکیل شده است؛ ($n_{\text{عدسی}}=n_{\text{آب}}=۱/۳۳$) و چون عدسی در هوا ($n_{\text{هوا}}\approx ۱/۰=n_{\text{محیط}}$) خواهند بود. معادله بالا را می‌توان به‌صورت زیر ساده‌سازی کرد:

$$\frac{۱}{f}=(n_{\text{آب}}-۱)\left(\frac{۲}{R}-\frac{(n_{\text{آب}}-۱)۲R}{n_{\text{عدسی}}R^۲}\right)$$

شکل ۱
مرواریدهای آبی نامرئی غوطه‌ور در آب بشر شیشه‌ای وسیلهٔ مناسبی برای بحث دربارهٔ شکست نور است.

شکل ۲
یک مروارید (عدسی آبی کروی)
تصویر حقیقی معکوس از پرچم کانادا به‌وجود آمده است. جسم و تصویر در دو طرف عدسی قرار دارند؛ بنابراین فقط یکی از آن‌ها کانونی به‌نظر می‌رسد.



شکل ۳
از مروارید آبی می‌توان به‌عنوان ذره‌بین استفاده کرد. بزرگ‌نمایی آن را می‌توان از مقایسهٔ اندازه‌های جسم و تصویر محاسبه کرد.

$$\frac{۱}{f}=\frac{۲(n_{آب}-۱)}{Rn_{آب}}$$

بنابراین، فاصلهٔ کانونی عدسی مروارید آبی می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$f=\frac{Rn_{آب}}{۲(n_{آب}-۱)}\approx ۲/۰۲R$$

برای عدسی‌های مروارید آبی که دارای شعاع تقریباً ۱۰ میلی‌متر باشند، فاصلهٔ کانونی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$f=\frac{R}{۲}\frac{۱.۳۳}{۰.۳۳}=۲/۰۲(۱۰mm)\approx ۲۰mm$$

علامت مثبت فاصلهٔ‌کانونی نشان می‌دهد که این عدسی همگراست. این محاسبات می‌تواند برای پیش‌بینی بزرگ‌نمایی یک عدسی کروی (در نقش یک ذره‌بین)، به‌کار رود. (شکل ۳) در این مثال بزرگ‌نمایی عدسی‌ها می‌تواند با مقایسه طول واژه‌های درج شده بر روی کاغذ و تصویری که مشاهده می‌شود به‌دست آید:

$$M=\frac{h_{تصویر}}{h_{شیء}}\approx ۱/۷$$

توجه داشته باشید که اگر عدسی به‌جای هوا در آب فرو برده شود، تبدیل به یک عدسی واگرا خواهد شد. با فرض اینکه ضریب شکست روغن، $n_{روغن}=۱۰۴۷$ و $R_1=-R_2=R$ باشد، فرمول عدسی‌سازان (رابطه ۱) می‌تواند مجدداً به‌صورت زیر نوشته شود:

$$\frac{۱}{f}=\left(\frac{n_{آب}}{n_{روغن}}-۱\right)\left(\frac{۱}{R_۱}-\frac{۱}{R_۲}+\frac{(n_{روغن}-n_{آب})d}{n_{عدسی}R_۱R_۲}\right)$$

$$\frac{۱}{f}=\left(\frac{n_{آب}}{n_{روغن}}-۱\right)\left(\frac{۲}{R}\right)\left(۱+\frac{n_{روغن}-n_{آب}}{n_{روغن}}\right)$$

$$f\approx -٤/٨R$$

علامت منفی فاصلهٔ کانونی نشان می‌دهد که عدسی تبدیل به یک عدسی واگرا شده است.

برای مشاهدهٔ اثر محیط اطراف بر فاصلهٔ کانونی، یک مروارید آبی را در لیوان کوچکی قرار دهید و آن‌را از روغن پر کنید تا مروارید آبی در آن غوطه‌ور شود. سپس سعی کنید آزمایش‌هایی مشابه آنچه در شکل‌های ۱ و ۲ بیان شده بودند انجام دهید.

چالش‌های توصیف شده در این مقاله، تنها تعدادی از چالش‌هایی است که شما، با بودجه ناچیز، با مرواریدهای آبی می‌توانید انجام دهید.

مرجع

G.R.Gore. "Physics fun with Jelly marbles", Phys. Tech 47. 10) (Dec 2004

منبع

Marina Milner -Bolotin. "Water Pearls Optics Challengen for Everbody", phys. Teach 50, 144 (March 2012)