

یک شاگرد، باعث شد تا پیشنهاد دیدن تصویر ماه در آینه تخت کوچک مطرح شود. اگر شخصی بر روی ماه، تلسکوپی به اندازه کافی بزرگ داشت تا شما و اطرافتان را به خوبی ببیند، آیا می‌توانست با نگاه کردن از روی شانه شما تصویر کل ماه را در آینه‌ای که در دستانتان قرار دارد ببیند؟ پاسخ به این پرسش «دیدگاه» مفیدی از مبحث بازتاب‌های نور در آینه در اختیار می‌گذارد.

**کلیدواژه‌ها:** آینه تخت، بازتابش نور، تصویر مجازی

### مقدمه

تشکیل تصویر به کمک آینه تخت سرآغازی متداول برای آشنایی با قانون‌های اپتیک است. از قانون بازتاب نور چنین برمی‌آید که زاویه‌های تابش و بازتابش (اندازه‌گیری شده نسبت به خط عمود بر آینه) باید برابر باشند:

$$\theta_i = \theta_r$$

این رابطه برای نشان دادن اینکه صرفاً نیاز است یک آینه نصف قد فرد باشد تا بتوان در آن کل بدن فرد را دید، کفایت می‌کند. مسئله‌ای که در بسیاری از کتاب‌های درسی مقدماتی به آن اشاره شده است. [۱، ۵] اگر فرض کنیم چشمان فرد در بالای سرش قرار دارد (یعنی فاصله چشمان فرد از سطح زمین برابر با قد فرد در نظر گرفته شود)، به تصویر کشیدن این رخداد آسان‌تر خواهد بود. (شکل ۱)

در این میان، در حالی که فاصله خاصی بین فرد و آینه مشخص نشده است، چند سال پیش، شاگردی پرسشی جالب مطرح کرد: فرض کنید آینه تخت کوچکی دارید و از این آینه که با دست در فاصله دور از خود نگه داشته‌اید برای دیدن ماه که به راحتی در میدان دید آینه قرار دارد، استفاده می‌کنید (شکل ۲). اگر فردی که بر روی سطح ماه قرار دارد تلسکوپی به اندازه کافی بزرگ داشته باشد تا بتواند شما و آینه در دستانتان را ببیند، آیا می‌تواند ماه را هم، درست مثل شما، در آینه ببیند؟

چون این پرسش در همان اوایل فعالیت حرفه‌ای تدریس از من پرسیده شد، نقطه عطفی برای من بود. اوایل از روی عادت از اینکه شاگردی از من چیزی بیرون بیرون که نتوانم جواب دهم می‌ترسیدم، حالا بعد از اینکه این اتفاق برایم افتاد همیشه هیجان‌زده‌ام که چیزی جدید در زمینه فیزیک پایه یاد می‌گیرم.

وقتی از شاگردان فیزیک پایه چیزی می‌پرسم، دریافته‌ام که



## کمک کنیم ماه از خودش سلفی بگیرد

ویلیام بیرد، استادیار دانشگاه ایالتی آرمسترانگ، ساوانا، آمریکا  
ترجمه سیدمهدی میرفتحی، دکتری فیزیک

### چکیده

یک نتیجه بنیادی از اپتیک مقدماتی این است که اگر می‌خواهید تمام بدن خود را در آینه‌ای تخت ببینید، ارتفاع این آینه تخت باید دست‌کم نصف قد شما باشد. شاگردان اغلب درباره اینکه آیا با فاصله گرفتن و دور شدن از آینه این شرط همچنان برقرار است یا خیر، سردرگم‌اند. پرسش جالب

چنین مواردی می‌توانند پرسش‌های برانگیزاننده ذهن باشند. حتی پس از چندین بحث و تبادل نظر، صرفاً به جای گفتن پاسخ به شاگردانم، به آن‌ها می‌گویم که مسئله را به صورت تجربی حل کنند. بدون شک آن‌ها نمی‌توانستند روی سطح ماه تلسکوپی بسازند، اما می‌توانستند از آینه‌های کوچک دور شوند و با افزایش فاصله خود را از آن با دوربین دو چشمی برای حفظ محدوده دیدشان استفاده کنند. شاگردانم با انجام این کار دریافتند که چه نزدیک باشند و چه دور، آینه کسر یکسانی از بدنشان را نشان خواهد داد (شکل ۳).

ساده‌ترین توجیهی که برای این موضوع پیدا کردم، تشویق شاگردانم به درک مفهوم ابعاد زاویه‌ای اشیا بود. به طور مثال هنگامی که آینه تخت کوچک در انتهای دستانتان کشیده شخصی قرار داشته باشد، می‌توان قطر ۱۰ سانتی‌متر و فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از چشم ناظر را برای آن در نظر گرفت. براساس معادله، آینه در زاویه کوچک می‌تواند ابعاد زاویه‌ای ۱/۱۰ رادیان یا تقریباً ۵/۷ درجه را دربرگیرد. قطر ماه ۳۴۷۶ کیلومتر و فاصله متوسط آن از زمین ۳۸۴۴۰۰ کیلومتر است که با ابعاد زاویه‌ای ۵/۵ درجه‌اش، تصویر آن به راحتی در داخل این آینه قرار خواهد گرفت. هنگامی که شخص روی ماه به آینه تخت کوچک

در سطح زمین نگاه می‌کند، اندازه زاویه‌اش تقریباً  $10^{-10} \times 2/6$  رادیان خواهد بود. تصویر ماه (در آینه‌ای مناسب) دارای اندازه‌ای برابر با قطر ماه تقسیم بر دو برابر فاصله ماه از زمین یا تقریباً  $10^{-3} \times 4/5$  رادیان خواهد داشت. برای فرد روی ماه، تصویر ماه حدوداً  $17/3$  میلیون برابر اندازه زاویه‌ای آینه است. با یک حساب ساده می‌توان مشخص کرد که ابعاد آینه مورد نیاز باید  $17/3$  میلیون برابر  $10$  سانتی‌متر یا  $173$  کیلومتر باشد. تعجب ندارد که این میزان نصف اندازه ماه است.

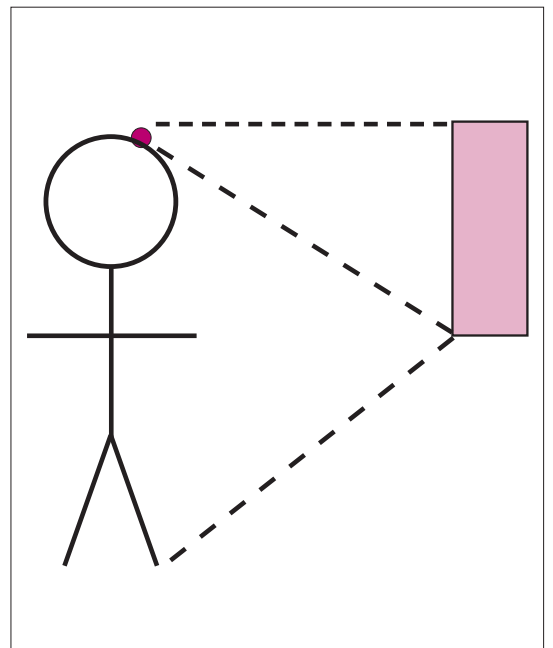
با در نظر گرفتن آینه به عنوان روزنه‌ای به تصویر مجازی درونش، این موضوع کمی روشن‌تر خواهد شد. اگر چشم شما فقط ۱ سانتی‌متر از روزنه، فاصله داشته باشد (حتی روزنه بدون عدسی) شما می‌توانید بخش اعظم یا تمام بدن شخصی را که در آن سوی در قرار گرفته است ببینید. اگر تا یک متری از در فاصله بگیرید و این بار هم تلاش کنید به آن سوی روزنه نگاه کنید، تنها بخش کوچکی از بدن فرد را خواهید دید. ابعاد زاویه‌ای ماه نسبت به ابعاد آینه از دید ما به مراتب کوچک‌تر است، اما از دید ناظری که بر سطح ماه قرار دارد، تصویر مجازی ماه هنوز به مراتب از آینه‌ای که در دست ما است بزرگ‌تر است.



▲ شکل ۲. ماه چنانکه در آینه هشت‌گوش به قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر دیده می‌شود.



▲ شکل ۳. فرد چه به آینه نزدیک باشد (تصویر سمت چپ) و چه از آینه دور باشد (تصویر سمت راست) کسر یکسانی از چهره عکاس قابل رؤیت است (در هر دو حالت نشان داده شده در این شکل، این نسبت برابر با ۴/۴ است). این آزمایش را می‌توان با دوربین‌های دوچشمی ارزان نیز انجام داد. توجه داشته باشید لبه آینه به دلیل اینکه نسبت به تصویر عکاس دو برابر به دوربین نزدیک‌تر است، واضح نیست.



▲ شکل ۱. آینه‌ای تخت که مسیر نور بازتابیده از پای ناظر (خط چین) و از سر وی (نقطه چین) را نشان می‌دهد اگر آینه نصف قد ناظر باشد، تصویر سر فرد، از بازتاب نور از بالای آینه تشکیل می‌شود در حالی که تصویر پای فرد، ناشی از بازتاب نور از پایین آینه است.

← منابع

1. R. A. Serway and J. W. Jewett, Principles of Physics: A Calculus-Based Text 4th edn (Belmont, CA: Brooks/Cole-Thomson Learning) 891 (2006).
2. P. A. Tipler and G. Mosca, Physics for Scientists and Engineers Extended Version 6th edn (New York, NY: W H Freeman and Company) 1135 (2008).
3. J. D. Cutnell and K. W. Johnson, Physics 8th edn (Hoboken, NJ: John Wiley and Sons) 777 (2009).
4. R. D. Knight, Physics for Scientists and Engineers: A Strategic Approach with Modern Physics 3rd edn (Boston, MA: Addison-Wesley) 660 (2012).
5. E. Etkina, M. Gentile and A. Van Heuvelen, College Physics 1st edn (2013).
6. William H Baird, Physics Education 49, 486-488 (Sep. 2014).