قطر نقطه کور چشم و شعاع کره زمین با خط‌کش

حمیدرضا نوری
دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه فیزیک
دبیرستان شهید بهشتی بیرجند

چکیده

در این مقاله ابتدا با وجود نقطه کور در چشم آشنا می‌شوید و با استفاده از اپتیک هندسی روشی برای تخمین و محاسبه قطر نقطه کور با خط‌کش توضیح داده می‌شود. در ادامه روشی برای اندازه‌گیری شعاع کره زمین درکنار دریا و هنگام غروب خورشید توسط یک خط‌کش و ساعت توضیح داده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اندازه‌گیری، نقطه کور، شعاع زمین

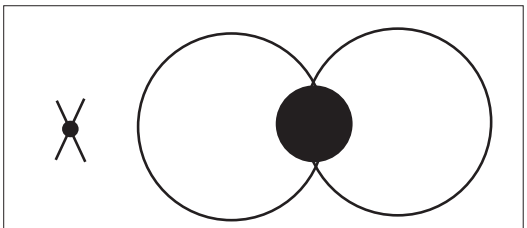
مقدمه

در فیزیک برای اندازه‌گیری کمیت‌های خیلی بزرگ یا خیلی کوچک معمولاً رابطه‌ای بین کمیتی که می‌خواهیم اندازه بگیریم و چند کمیت دیگر که با وسایل اندازه‌گیری در اختیار، قابل اندازه‌گیری هستند، پیدا می‌کنیم و در واقع کمیت مورد نظر را که نتوانیم مستقیماً با خط‌کش اندازه بگیریم، به‌طور غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌کنیم.

آشنایی با نقطه کور(لکه‌کور) در چشم

اگر به شما بگویند که در میدان دید شما چیزی درست جلو چشم شما قرار دارد ولی آن را نمی‌بینید باور نخواهید کرد. اما با انجام آزمایش زیر به صحت این مدعا پی می‌برید.

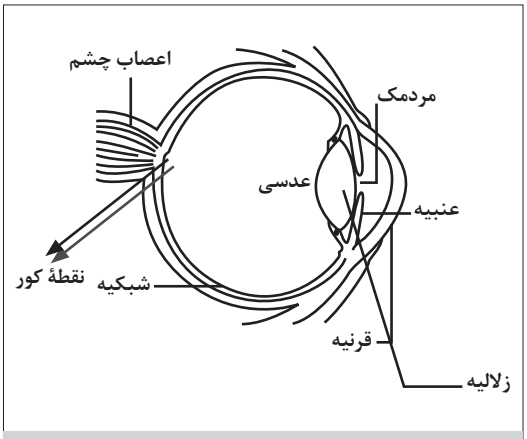
شکل(۱) را در فاصله ۲۰ سانتی‌متری مقابل چشم راستتان نگاه دارید، چشم چپ را ببندید و به‌طور مستقیم به ضربدری که در سمت چپ قرار دارد نگاه کنید. شکل را آهسته به چشمتان نزدیک کنید، حتماً لحظه‌ای می‌رسد که لکه سیاه بزرگ در محل تقاطع دو دایره ناپدید می‌شود و اثری از آن باقی نمی‌ماند. با اینکه لکه در حدود میدان دید قرار دارد دیده نمی‌شود.



شکل ۱: تصویر برای کشف نقطه کور

این آزمایش که آن را نخستین بار در ۱۶۶۸ فیزیک‌دان معروف، ماریوت انجام داد، بسیار مورد پسند درباریان لویی چهاردهم قرار گرفت. ماریوت آزمایش را به طریق زیر انجام می‌داد. دو نفر از اشراف را در فاصله دو متر روبه‌روی یکدیگر می‌نشاند و از آن‌ها خواهش می‌کرد که با یک چشم به نقطه معینی در کنار نگاه کنند. آن وقت به‌نظر هر یک از آن دو می‌آمد که شخصی که روبه‌رویش نشسته سر ندارد.

این لکه کور یا نقطه کور جایی اســت که عصب‌های بینایی از کره چشم خارج می‌شوند و به طرف مغز می‌روند و چون در آن محل سلول‌های حساس به نور (سلول‌های میله‌ای و مخروطی) وجود ندارد وقتی که تصویر جســمی بــر روی این نقطه بیفتد دیده نخواهد شد.



▲ شکل ۲: نقطه کور قسمتی از شبکیه چشم است که عصب بینایی (و همچنین مویرگ‌های خونی) از آن خارج می‌شود و به سمت مغز می‌روند. نقطه فاقد سلول گیرنده نور است و به همین دلیل بینایی ندارد. بنابراین، در صورتی که تصویر یا بخشی از آن بر روی این نقطه از شبکیه تشکیل شود، هیچ‌گونه پیام عصبی به قشر مغز فرستاده نمی‌شود و آن بخش در تصویری که فرد می‌بیند نخواهد بود.

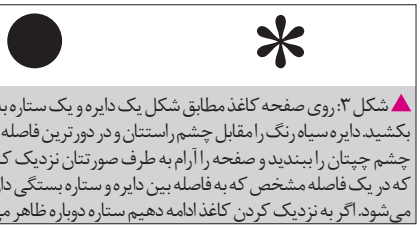
مــا در نتیجه عادت متوجه این لکه ســیاه در میدان دید خود نمی‌شــویم. نیروی تصور بی‌اختیار این جای خالی را از جزئیات زمینه اطراف پر می‌کند. مثلاً در شــکل (۱) ما لکه را نمی‌بینیم امــا در تصور خود خطوط اطراف را ادامه می‌دهیم و یقین داریم کــه محل تقاطع آن‌ها را به‌طور واضح می‌بینیم. علاوه بر این دو لکه کور در منطقه‌های مختلف میدان دید هر چشم وجود دارند، به‌طوری‌کــه اگر با هر دو چشــم نگاه کنیــم، در میدان عمومی چشم‌ها جای خالی وجود ندارد.

گمــان نکنید که لکه کور میدان دید ما کوچک اســت. وقتی از فاصله ده‌متری (با یک چشــم) به عمارتی نگاه کنیم. به علت وجود نقطه کور بخش نسبتاً وسیعی از نمای ساختمان، به عرض بیش از یک متر را نمی‌بینیم. در این قسمت یک پنجره کامل جا می‌گیرد. اما در آســمان منطقه‌ای که سطح آن برابر ۱۲۰ قرص ماه کامل است، نامرئی می‌ماند.

گمان نکنید که لکه کور میدان دید ما کوچک است. وقتی از فاصله ده‌متری (با یک چشم) به عمارتی نگاه کنیم. به علت وجود نقطه کور بخش نسبتاوسیعی از نمای ساختمان، به عرض بیش از یک متر را نمی‌بینیم

محاسبه قطر نقطه کور

بــرای محاســبه قطــر نقطه کــور آزمایش دیگــری را ترتیب می‌دهیم. ابتدا مطابق شکل(۳) بر روی صفحه کاغذ یک دایره تو پر و یک ستاره در فاصله ۱۲ سانتی‌متر از یکدیگر رسم می‌کنیم. ســپس مانند آزمایش قبل جلو چشــم چپ خود را می‌گیریم. به‌طوری که چشــم راســت مقابل دایره تو پر قرار داشته باشد. ســپس کاغذ را در دورترین فاصله از چشــم قرار می‌دهیم و آن را آرام‌آرام بــه صورت نزدیک می‌کنیــم. در یک فاصله معین از چشم ســتاره ناپدید خواهد شد. این فاصله را با خط‌کش اندازه می‌گیریــم و آن را (S_1) می‌نامیم. نزدیک کردن کاغذ به چشــم را ادامه می‌دهیم. مشــاهده خواهیم کرد که ستاره دوباره ظاهر می‌شود. در این وضعیت فاصله کاغذ تا چشم را با خط‌کش اندازه می‌گیریم و آن را (S_2) می‌نامیم. در واقع در فاصله‌ای که ســتاره ناپدید است تصویر آن بر روی نقطه کور افتاده است.



▲ شکل ۳: روی صفحه کاغذ مطابق شکل یک دایره و یک ستاره به فاصله ۱۲cm بکشید. دایره سیاه رنگ را مقابل چشم راستتان و در دورترین فاصله از آن قرار دهید، چشم چپتان را ببندید و صفحه را آرام به طرف صورتتان نزدیک کنید. دقت کنید که در یک فاصله مشخص که به فاصله بین دایره و ستاره بستگی دارد ستاره ناپدید می‌شود. اگر به نزدیک کردن کاغذ ادامه دهیم ستاره دوباره ظاهر می‌شود.

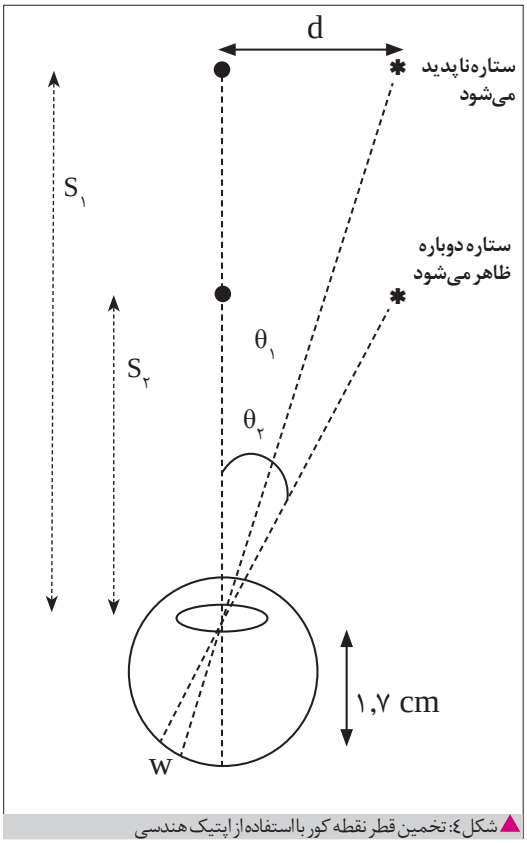
با استفاده از اپتیک هندسی شکل ساده‌ای می‌توان رسم کرد و علت این پدیده را فهمید. با توجه به شکل (٤) داریم:

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{d}{s_1}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\frac{d}{s_2}$$

با توجه به اینکه $\theta_1 - \theta_2$ کوچک است، پهنای نقطه کور را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد.

$$W \approx r(\theta_1 - \theta_2)$$



▲ شکل ٤: تخمین قطر نقطه کور با استفاده از اپتیک هندسی

که r فاصله شبکیه چشم تا مرکز اپتیکی عدسی چشم است. که ما در اینجا مقدار آن را ۱/۷ cm در نظر می‌گیریم.

برای d=۱۲cm ، s_1 و s_2 حدوداً ۴۵ سانتی‌متر و ۳۴ سانتی‌متر به‌دست می‌آید. بنابراین

$$W \approx (1/7)[\tan^{-1}(\frac{12}{34}) - \tan^{-1}(\frac{12}{45})] = 0/14\text{cm}$$

دانش‌آموز ناپدیدشونده:

بعد از اینکه دانش‌آموزان در گروه‌های سه نفره با انجام آزمایش بالا با نقطه کور چشم و نحوه مشاهده و اندازه‌گیری قطر آن آشنا شدند. می‌توان فعالیتی هیجان‌انگیز به‌صورت زیر طراحی کرد که در آن یک دانش‌آموز ناپدید شود.

ابتدا تمام دانش‌آموزان را در امتداد دیوار انتهای کلاس به صف کنید. یک علامت é بزرگ در سمت چپ تخته سیاه بکشید و از یک دانش‌آموز که داوطلب ناپدید شدن است کمک بگیرید. او را در سمت راست علامت é قرار دهید. از دانش‌آموزان انتهای کلاس بخواهید چشم چپ خود را بپوشانند و با چشم راست خود به علامت é نگاه کنند و از دانش‌آموز داوطلب بخواهید آهسته و پیوسته به طرف راست حرکت کند. در فاصله معینی که بستگی به طول کلاس دارد دانش‌آموز داوطلب در بین فریادهای بینندگان آخر کلاس ناپدید خواهد شد و اگر دانش‌آموز داوطلب به حرکت خود به‌سمت راست ادامه دهد دوباره ظاهر خواهد شد.

محاسبه شعاع کره زمین

البته برای محاسبه شعاع کره زمین به‌جز خط‌کش به یک ساعت هم نیاز دارید. و همچنین باید در هنگام غروب خورشید کنار ساحل دریا باشید. فرض کنید در ساحل دریای آرام نشسته‌اید و غروب خورشید را می‌نگرید، درست هنگامی که خورشید از نظر شما ناپدید شد زمان‌سنج را به کار اندازید و بایستید. وقتی در وضعیت ایستاده قرار بگیرید دوباره خورشید را خواهید دید، منتظر بمانید که دوباره خورشید ناپدید شود. زمان سپری شده بین این دو مشاهده را یادداشت کنید و همچنین اختلاف ارتفاع چشم خود را در دو وضعیت نشسته و ایستاده اندازه بگیرید. شکل (۵) خط دید شما را از قسمت بالای خورشید نشان می‌دهد، که در مرحلهٔ اول ناپدید شدن خورشید در نقطه A بر سطح زمین مماس است. این شکل نشان می‌دهد که خط دید شما از بالای خورشید در هنگام ناپدید شدن مجدد، بر سطح زمین در نقطه B مماس است. d بین نقطه B و مکانی که ایستاده‌اید را نشان می‌دهد (مقیاس در شکل رعایت نشده و ارتفاع h و میزان چرخش زمین برای راحتی مشاهده به‌طور اغراق‌آمیزی بزرگ نشان داده شده است.) با توجه به شکل از رابطه فیثاغورس داریم:

$$d^2 + R^2 = (R+h)^2 =$$
$$R^2 + 2Rh + h^2 \Rightarrow d^2 = 2Rh + h^2$$

چون h از شعاع کره زمین خیلی کوچک‌تر است، بنابراین h^2 را در برابر $2Rh$ نادیده می‌گیریم. لذا داریم:

$$d^2 = 2Rh$$

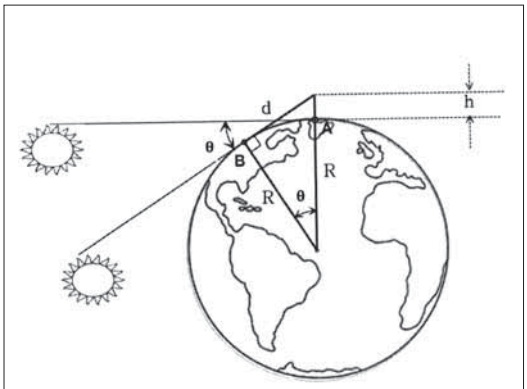
در شکل زاویه بین دو نقطه تماس A و B عبارت است از θ_1 که زاویه‌ای است که خورشید در مدت زمان اندازه‌گیری t دورِ زمین طی می‌کند. در طول مدت زمان یک روز کامل که تقریباً ۲۴ ساعت است، خورشید زاویه ۳۶۰ درجه دور زمین می‌پیماید، پس می‌توان نوشت:

$$\frac{\theta}{360} = \frac{t}{24h}$$

اگر زمان مشاهده ۱۱/۱ ثانیه باشد آنگاه

$$\theta = \frac{360^\circ(11/1s)}{(24h)(60\frac{min}{h})(60\frac{s}{min})} = 0/04625^\circ$$

با توجه به شکل $d = R\tan\theta$ طبق رابطه داریم.



شکل ۵: اندازه‌گیری قطر زمین در دو غروب متوالی

اگر $h = 1/7\ m$ باشد داریم.

$$R = \frac{(2)(1/7m)}{\tan^2(0/04625^\circ)} = 5/22\times10^6\ m$$

پاسخ تقریباً به اندازه ۲۰ درصد با شعاع متوسط زمین $6/37 \times 10^6\ m$ اختلاف دارد. البته اگر این اندازه‌گیری در استوا انجام شود نتیجه دقیق‌تری به‌دست می‌آید.

منابع

۱. پرلمان؛ ی، فیزیک برای سرگرمی، انتشارات میر (مسکو)، جلد ۲، (۱۹۸۶) صفحه ۱۹۲.

2. Jeff sanny, "Measuring the diameter of your blind spot" ,physics teacher, vol 49, sept 1999

3. A. Depino, The disappearing student" Phys. Teach. 36,491 (Nov 1998)

4. Dennis Rawlins, "Doubling your sunset or how anyone can measure the earth's size with the wriswatch and meterstick", Am.J.Phys.47(2), Feb 1979