چرا ماهی قرمز در تنگ نادیده

ژو یو هوآ و شی فنگلیانگ،
دانشکده تربیت معلم تانگشان، چین
ترجمه: سید مهدی میرفتحی
کارشناس ارشد فیزیک
دبیر دبیرستان غیرانتفاعی شهید میرباقری رامسر

کاربردی

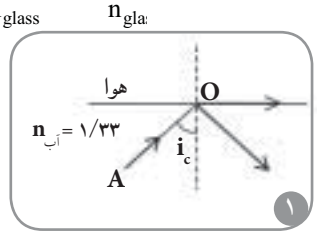
در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه سال اول متوسطه، در فصل شکست نور، موضوع بازتاب کلی و زاویهٔ حد مطرح شده است. بررسی علت فیزیکی ناپدیدشدن ماهی طلایی در حال حرکت در تنگ آب موضوع مقالهٔ زیر است که به پدیدهٔ بازتاب کلی مربوط است.

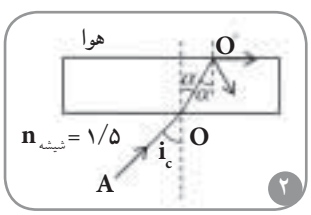
کلید واژه‌ها: جسم نامرئی، شکست نور، زاویهٔ حد.

شـاید دیده باشـید که ماهی طلایی کوچکی که در تنگ کروی شنا می‌کند ناگهان ناپدید شود. چرا چنین می‌شود؟ این اثر ناشی از بازتاب کلی است. در این مقاله مکان‌های ماهی و ناظر را می‌یابیم که در آن‌ها ماهی قرمز دیده نمی‌شود.

اثر تنگ شیشه‌ای

ابتدا نشـان می‌دهیم که اثر دیواره تنگ شیشه‌ای (نازک) ناچیز اسـت و لذا دسـتگاه را می‌توان به‌طـور تقریبی کره‌ای از آب (بـه همراه ماهی قرمـز) در هوا، در نظر گرفت. مطابق شـکل ۱ پرتو فرودی AO با زاویه تابش برابر با زاویه حد i_c به سـطح مشترک آب ـ هوا برخورد می‌کند. طبق قانون اسنل: $\sin i_c = \frac{۱}{n_{water}}$. شکل ۲ پرتوفرودی AO را با همان زاویه تابش نشان می‌دهد که از آب بر دیوارهٔ شیشه‌ای تنگ آب فرود می‌آید. ما در این بررسـی شیشـه را به انـدازه کافی نازک در نظـر گرفته‌ایم، به‌طوری که بخش کوچکی از آن را می‌توان به صورت تیغهٔ شیشه‌ای متوازی‌السطوح در نظر گرفت. ضریب شکست شیشـه نیز $n_{glass}=۱/۵$ در نظر گرفته می‌شود. بازتاب کلی در سـطح مشـترک آب ـ شیشـه رخ نخواهد داد. زاویه شکست پرتو در داخل شیشه α (پرتو O'O) برابر با زاویه تابش در سطح شیشه ـ هوا است. با کمک قانون اسنل خواهیم داشت: $n_{water}\sin i_c = n_{glass}\sin\alpha$ که با حل آن زاویه α به دست خواهد آمد: $\sin\alpha = \frac{n_{water}\sin i_c}{n_{glass}} = \frac{۱}{n_{gla}}$ که بدان معنی است که





α زاویه حد پرتو نوری است که از شیشه وارد هوا می‌شود. لذا شرط بازتاب کلی به حضور یا عدم حضور شیشه بستگی ندارد و لذا از اثر دیواره شیشه‌ای تنگ را می‌توان نادیده گرفت.

ماهی مرئی/نامرئی

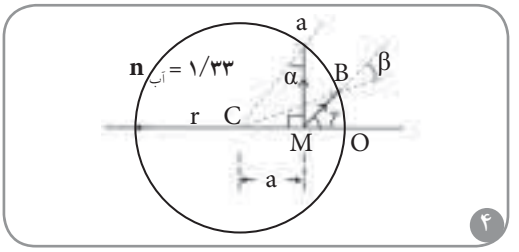
در بعضی مکان‌ها (به‌طور مثال نزدیک مرکز C تنگ آب در شکل ۳)، ماهی را می‌توان از هر جایی در خارج تنگ دید.

پرتوهای نور ناشـی از ماهی در برخورد با سطح داخلی تنگ در هر مکان دارای زاویه تابشی کمتر از زاویهٔ حد خواهد بود. با این همه، وقتی ماهی از مرکز دور شـود، به‌طور مثال مطابق شکل ۳ به سمت نقطه N برود، وضعیت تغییر می‌کند. اکنون بعضـی از پرتوهای نور از نقطهٔ N با زاویه‌ای قابل مقایسـه با زاویـه حد و چه بسـا بزرگ‌تر از آن به دیـواره تنگ برخورد می‌کند. لذا با وجودی که ماهی برای ناظر P قابل مشاهده است ولی برای ناظر 'P قابل مشاهده نخواهد بود، زیرا برای رسیدن به آن نقطه زاویهٔ فرود بزرگ‌تر از زاویهٔ حد لازم است.

تشخیص این‌که بازتاب کلی می‌تواند رخ دهد.

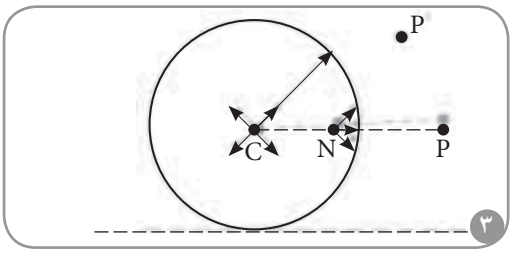
مطابق شـکل ۴، ماهی در نقطهٔ M در فاصله α، از مرکز تنگ قرار دارد. در این شـکل دو پرتو MA و MB نشان داده شده است. پرتو MB جهتی دلخواه دارد، در حالی‌که پرتو MA عمود برمحور CO اسـت. می‌توان ثابت کرد که زاویه فرود α برای پرتو MA بزرگ‌تر از زاویه فرود β برای پرتو MB است. در واقع α بزرگ‌ترین زاویه فرود بین همه پرتوهای فرودی از نقطه M است:

$$\frac{\alpha}{\sin\beta}=\frac{r}{\sin\gamma}\Rightarrow\sin\beta=\frac{\alpha\sin\gamma}{r}$$

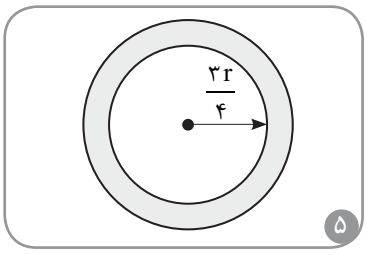


۴

بیشـینهٔ مقدار $\sin\beta$، ۱ اسـت که به ازای $\gamma=90$ به دست می‌آید، لذا بیشـینه مقدار $\sin\beta$، a/r خواهد بود. اما $a/r=\sin\alpha$ اسـت، پس α بیشـینه مقدار زاویه فرود پرتوهایی است که از نقطه M گسیل می‌شوند. این بدان معنی است که اگر α (زاویه فرود پرتـو MA) از زاویه حد تجاوز نکند، هیچ پرتوفرودی از نقطهٔ M بازتاب کلی نخواهد داشت. بنابراین شرط بازتاب کلـی، بزرگ‌تر بـودن α از i_c اسـت: $\sin\alpha\geq\frac{1}{n_{water}}$ و از آنجا کـه $\sin\alpha=a/r$ لذا باید $\alpha\geq\frac{1}{n_{water}}$ باشـد. با قراردادن $n_{water}=1/33=4/3$ خواهیم داشت: $\alpha\geq\frac{3}{4}r$. لذا بازتاب کلی در صورتی رخ می‌دهد که ماهی در فاصله‌ای دورتر از سه چهارم شعاع تنگ از مرکز آن قـرار گیرد. اگر ماهی در هر نقطه‌ای از منطقهٔ بدون سایه شکل۵ قرار گیرد، هیچ پرتو ناشی از آن بازتاب کلی را نخواهد داشت و می‌توان از هر مکانـی خارج از تنگ ماهی را دید. اگر ماهی در



۳

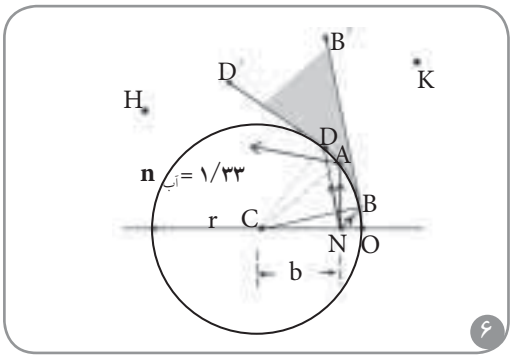


۵

منطقه سایه زده باشـد، امکان بازتاب کلی وجود دارد و ناظر بسـته به موقعیت، یا ماهی را می‌بیند و یا ماهی از چشمان او پنهـان خواهد ماند. این وضعیـت را در بخش بعد به تفصیل بررسی می‌کنیم.

ماهی طلایی نامرئی

در شکل ۶ ماهی قرمز در نقطهٔ N و در فاصلهٔ $b(b>3r/4)$، از مرکز تنگ آب قرار گرفته اسـت. پرتوهای NB و ND در شـکل ۶ را در نظر بگیرید. هر دو با زاویه شکست ۹۰ درجه از سـطح تنگ آب خارج می‌شوند. لذا زاویهٔ فرود هر دو پرتو معادل زاویه حد است و بنابراین هر ناظری در نقطهٔ 'B و 'D که در راستای مماس با سطح کروی تنگ به آن می‌نگرد، پرتوهای تابشی از موقعیت N را خواهد دید. ناظران نقطه‌های H و K، خارج از منطقهٔ سایه‌دار نیز ماهی را خواهند دید چرا که برای دستیابی به آن نقاط پرتوهای ناشی از نقطه N با زاویه‌های فرود کمتر از زاویه حد به سطح تنگ برخورد خواهند کرد.



۶

اما ناظری که در ناحیه سـایه‌دار باشـد، چه خواهد دید؟ پرتوهایی که از نقطهٔ N ناشـی می‌شوند باید در بین پرتوهای NB و ND قرار داشـته باشند تا امکان دستیابی آن‌ها به ناحیه سـایه‌دار وجود داشته باشد. از سوی دیگر در بخش قبل ثابت کردیـم که زاویهٔ فرود پرتوهـای NB و ND همان زاویه حد اسـت و پرتوهای بین آن‌ها زاویه‌های فرود **بزرگ‌تر** دارند. در بخش قبل نشـان دادیم که زاویهٔ فـرود NA از همه بزرگ‌تر اسـت. در نتیجه هر پرتو نور از N که به ناحیه سایه‌دار برسد، باید از زاویه حد بزرگ‌تر باشد و لذا به دلیل بازتاب کلی داخلی امکان خـروج از تنگ آب برای چنین پرتویی وجود نخواهد داشت. به دلیل تقارن نسبت به تقارن برای تنگ کروی می‌توان تصویر را دور محور CO چرخاند تا کل ناحیه‌ای را به دست آورد که در آن ناظر ماهی واقع در نقطهٔ P را نخواهید دید.

منابع

1. John L. Roeder, "Why light won't refract through adjacent faces of a cube," Phys, Teach. 45, 182, 2007
2. Zhy Yuhua and Shi Fengliang, The Physics Teacher, Vol 47, Oct 9. 2009, pp 424-426.

پژوهش کاهش جرم

آموزشی

محمد کبودوند ، دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش فیزیک دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
phynetdot@yahoo.com

مهدی سعادت ، عضو هیئت علمی دانشـگاه تربیت دبیر شهید رجایی، استادیار دانشکدهٔ علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده: در این مقالـه با نادیـده گرفتن جاذبهٔ گرانشـی بین سـیاره‌های منظومهٔ شمسی، تأثیر کاهش تدریجی جرم خورشـید را بر فاصلهٔ سیاره‌ها از خورشید و دورهٔ تناوب حرکت آن‌ها بررسی می‌کنیم. به‌عنوان مثال تغییر دورهٔ تنـاوب و فاصلهٔ کرهٔ زمین از خورشید را برای مدت ۳/۸ میلیارد سال که عمر قدیمی‌ترین فسـیل یافت‌شـده است، محاسبه کرده‌ایم. محاسـبات نشان می‌دهد تغییر شعاع چرخش و دورهٔ تناوب زمین در این مدت ناچیز بوده و تأثیری بر محیط‌زیست جانداران نداشته است.

کلید واژه‌ها: خورشید، سیارات منظومه‌ی شمسی، دورهٔ تناوب، شعاع چرخش، کاهش جرم خورشید.

مقدمه

انرژی تولید شـده از خورشید حاصل همجوشی اتم‌های هیـدروژن و تبدیل آن‌ها به اتم هلیم اسـت. اتم‌های هیدروژن پس از همجوشـی به هلیم تبدیل می‌شوند، چون جرم هلیم از اتم‌هـای هیدروژن کمتر اسـت بنا بـه رابطهٔ $E=mc^2$ جرم کاهش‌یافته به انرژی تبدیل شـده اسـت. جرم فعلی خورشید $m_s = ۱/۹۹\times ۱۰^{۳۰}\ kg$ است و در هر ثانیه به‌طور متوسط ۴/۳۳ میلیون تن از جرم خورشـید کم شـده و به انرژی تبدیل می‌شـود. همچنین نیروی وارد بر هریک از سیاره‌های منظومهٔ شمسـی را نیروی جاذبهٔ گرانشی خورشـید در نظر می‌گیریم. چون گشتاور ناشی از این نیرو حول مرکز نیرو صفر است، تکانهٔ