

فصل اول

نورشناخت

۱.۱ اصل فرما

این فصل را با نقل قولی از فایمن^۱ آغاز می‌کنیم:

«نیوتن فکر می‌کرد که نور از ذره تشکیل شده است، لیکن بعداً کشف شد که رفتاری شبیه موج دارد، اما مدت‌ها بعد و در آغاز قرن بیستم پی بردنده که با این حال نورگاهی مانند ذره رفتار می‌کند ... بنابراین در واقع مانند هیچ‌کدام عمل نمی‌کند»

بدون بحث بیشتر در باب معماه بزرگ ماهیت نور در این کتاب ما فرض می‌کنیم، می‌توان به یک دسته بی‌نهایت باریک نور که به آن «پرتو نور» می‌گوییم، دست یافته و با این فرض وارد حوزه‌ای از نورشناختی می‌شویم که «نورشناختی هندسی» نام دارد، و بیان می‌کنیم که مبحث نورشناختی هندسی را می‌توان با بهره‌گیری از اصل فرما که مسیر پرتوها را تعیین می‌کند، مورد بررسی قرار داد. حال با

۱۹۶۵، Feynman (۱)

ذکر بک مثال، اصل فرما را شرح می‌نماییم:

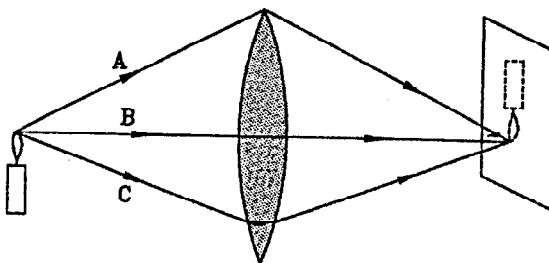
مثال ۱-۱ سه پرتو از یک شعله شمع هم‌زمان شروع به حرکت می‌کنند، با توجه به شکل زیر، کدام پرتو زودتر به تصویر روی پرده می‌رسد؟

ما هر سه هم‌زمان می‌رسند.

ج) C

ب) B

الف) A



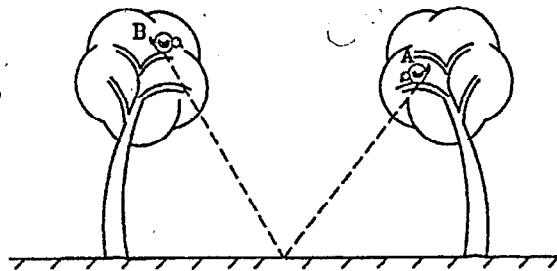
حل. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پرتو B کوتاه‌ترین مسیر را طی می‌کند، اما مسافت قابل توجهی را در داخل عدسی که سرعت نور در آن نسبت به هوای کمتر است طی می‌نماید. پرتو C مسیر طولانی‌تری را طی می‌کند، اما نسبت به B مسافت کمتری را در داخل عدسی طی می‌کند و در نهایت پرتو A بلندترین مسیر را طی می‌کند اما کمترین مسافت را در داخل عدسی طی می‌کند، با توجه به این توضیحات برآنده این مسابقه هر کدام از پرتوهای A، B و C می‌توانند باشند، اما اجازه بدید نظری هم به اصل فرما بیاندازیم.

اصل فرما: پرتو نور هنگام حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر، مسیر یا مسیرهایی را دنبال می‌کند که در کمترین زمان پیموده شوند.

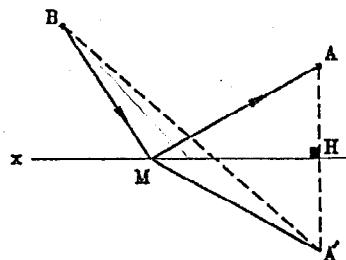
با توجه به اصل فرما، به دلیل این که نور هر سه مسیر A، B و C را انتخاب کرده است، می‌توان گفت تمامی آنها کمترین زمان را خواهد داشت، پس هر سه هم‌زمان می‌رسند و گزینه (د) صحیح می‌باشد، به عبارت دیگر در مسابقه بین پرتوهای نور، هر پرتوی که در مسابقه شرکت کند، برآنده خواهد بود و مسابقه بازنده‌ای نخواهد داشت.

اصل به ظاهر ساده فوق به عنوان سرجشمه و منشاء تمام قوانینی است که در نور هندسی از آنها پیش می‌کنیم. سیر نور بر خط مستقیم، قوانین بازتابش و قوانین شکست، جملگی از این اصل ناشی می‌شوند و ما در فصل‌های آتی به ترتیب به موضوعات فوق خواهیم پرداخت.

مثال ۲-۱ برآنده‌ای که روی شاخه درختی در نقطه A نشسته است، می‌خواهد دانه‌ای را از روی زمین برداشته، روی شاخه درخت مقابل در نقطه B بنشیند، چه مسیری را به او پیشنهاد می‌کنید؟ (فرض می‌شود در حد فاصل دو درخت روی زمین در تمام نقاط دانه وجود دارد)

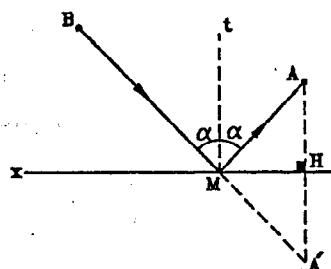


حل. به دلیل این که سرعت حرکت پرنده ثابت فرض می‌گردد، لذا کافیست کوتاهترین مسیر را مشخص کنیم تا پرنده در کمترین زمان بتواند به نقطه B برسد و دانه به دست آورده، را بخورد. فرض کنید پرنده دانه را از نقطه M بردارد، در نتیجه مسیری که پرنده طی می‌نماید برابر $AM + MB$ می‌باشد و خواهیم داشت:



$$\begin{aligned}\triangle AHM &= \triangle A'HM \Rightarrow AM = A'M \\ &\Rightarrow AM + MB = A'M + MB\end{aligned}$$

مسیر $A'M + MB$ وقتی کوتاهترین طول را خواهد داشت که نقاط B, M, A' بر یک راستا باشند، لذا برای یافتن محل دقیق نقطه M کافیست نقطه B را به تقارن یافته نقطه A' وصل نماییم، در این صورت محل تلاقی این خط زمین نقطه‌ای است که پرنده باید دانه را از آن جا بردارد و خواهیم داشت:



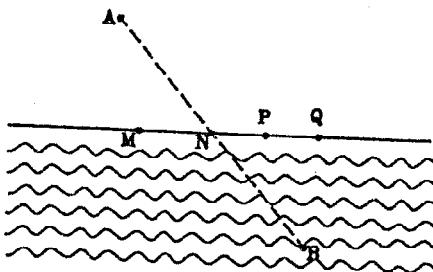
$$\left. \begin{array}{l} \Delta AHM = \Delta A'HM \Rightarrow \angle AMH = \angle A'MH \\ \text{زوایای متقابل به راس} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \angle BMX &= \angle A'MH \\ \angle AMH &= \angle BMx \Rightarrow 90^\circ - \angle AMH = 90^\circ - \angle BMx \\ \Rightarrow \angle AMt &= \angle BMt = \alpha \end{aligned}$$

یعنی پرنده باید مثل یک پرتو نور به زمین برسد و منعکس گردد تا در کمترین زمان به B برسد. در واقع در این مثال، پرنده نقش پرتو نور و سطح زمین نقش آینه را داشته‌اند. قابل ذکر است با این‌تی مشابه فوق، می‌توان قوانین انکاس را از اصل فرما استنتاج نمود.

مثال ۳-۱ فرشاد کوچولو که شنا باد نیست، در دریا در نقطه B در حال غرق شدن است. دوست او فرهاد که شناگر باهری است، در ساحل در نقطه A ایستاده است که این منظره را مشاهده می‌کند، به فرهاد توصیه می‌کنید برای کمک به فرشاد کدام مسیر را انتخاب نماید؟

(الف) AQB (ب) APB (ج) ANB



حل. با این که مسیر ANB کوتاه‌ترین مسیر است اما اکنون شما به روشنی و به درستی حدس می‌زنید به علت این که سرعت دویدن فرهاد در ساحل از سرعت شنا کردن او در دریا بیشتر است، این مسیر کوتاه‌ترین زمان را نخواهد داشت، لذا فرهاد باید مسیر دیگری را انتخاب نماید که مسافت بیشتری را در خشکی و مسافت کمتری را در آب طی کند، یعنی مسیر APB دارای کمترین زمان خواهد بود. این مسئله مشابه پدیده شکست نور در مرز بین دو محیط است که ما در فصل ششم بدان خواهیم پرداخت. حال تصور کنید به صورت فرضی هیچ شخصی در نزدیکی ساحل برای کمک به فرشاد نباشد، تنها یک لاکپشت تعیین دیده در نقطه A باشد که بخواهد به کمک فرشاد در نقطه B بنشتابد، در این حال چون سرعت حرکت لاکپشت در خشکی بسیار کمتر از سرعت شنا کردن آن در آب است، بهتر است لاکپشت مسیر AMB را انتخاب نماید.

۲.۱ سرعت انتشار نور

همان طور که می دانید سرعت برابر جابجایی تقسیم بر زمان می باشد، با توجه به این نکته که سرعت نور خیلی زیاد می باشد، برای اندازه گیری سرعت نور، لازم است یا حرکت نور را در یک جابجایی خیلی بزرگ (مثلثاً در ابعاد نجومی) بررسی کنیم یا این که بتوانیم زمان های بسیار کوتاه را اندازه بگیریم. در تاریخ فیزیک هم، همین مسیر طی شده است، در سال ۱۶۷۵ میلادی اولین اندازه گیری سرعت نور به کمک نجوم توسط رومر ستاره شناس دانمارکی صورت گرفت، که مقدار 15000 km/sec را به دست آورده است، که برای آن زمان و امکانات موجود موقیت قابل توجهی است. در سال ۱۸۴۹ میلادی یعنی حدود ۲۰۰ سال بعد، اولین اندازه گیری موفق سرعت نور در زمین و در آزمایشگاه، توسط فیزو دانشمند فرانسوی صورت گرفته است. در زمان حاضر با توجه به پیشرفت های شگفت علم فیزیک و تکنولوژی، سرعت نور با دقت های بسیار بالا اندازه گیری شده است.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300000 \text{ km/s}$$

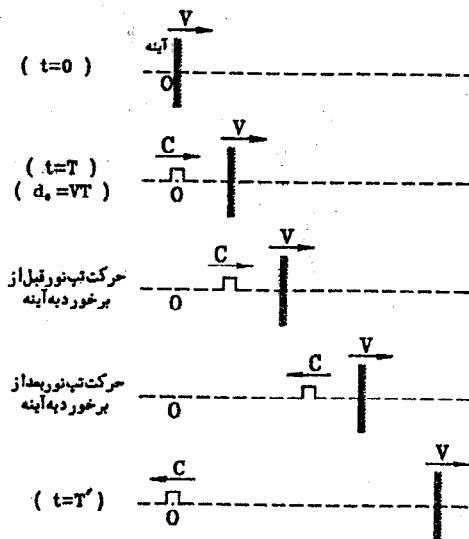
قابل ذکر است سرعت نور در سایر محیط های شفاف با ضریب شکست محیط نسبت معکوس دارد، یعنی هر چه محیط غلیظتر باشد، سرعت نور در آن کمتر خواهد بود. در ارتباط با این موضوع در فصل ششم بحث خواهیم کرد.

سال نوری: مسافتی که برتو نور در مدت یک سال می بیناید یک سال نوری نام دارد، یک سال نوری در حدود 10^{15} m متر است.

مثال ۴-۱ در زمان $t = 1$ آینه تخت از نقطه O می گذرد و با سرعت ثابت v به طرف راست حرکت می کند. یک ساعت در نقطه O است، وقتی این ساعت $t = T$ را نشان می دهد، یک تپ نور از نقطه O گسیل می شود، این تپ به آینه می خورد و از آن باز می تابد و به نقطه O بر می گردد، وقتی تپ به نقطه O می رسد، ساعت $t' = T'$ را نشان می دهد سرعت نور c است، رابطه T' با T چیست؟ (مرحله اول چهاردهمین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۹)

$$T' = T \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad \text{(الف)} \quad T' = T \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \quad \text{(د)}$$

حل. گزینه (الف) صحیح است. زمان $(T' - T)$ برابر زمان رفت و برگشت تپ نوری می باشد، در نتیجه زمان شروع حرکت تپ از نقطه O و رسیدن آن به آینه برابر $\frac{T' - T}{2}$ می باشد، هم چنین فاصله آینه از نقطه O در لحظه گسیل شدن تپ نور برابر $d = vT$ است، حال با توجه به این که در این مدت زمان، تپ با سرعت نسبی $(c - v)$ به آینه نزدیک می شود می توان نوشت:

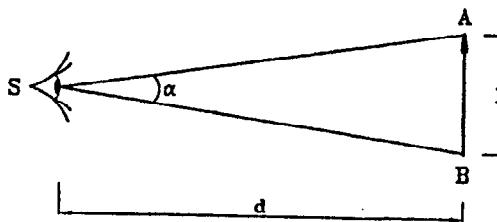


$$\begin{aligned}
 \gamma \frac{T' - T}{\gamma} &= \frac{d_0}{c - v} \Rightarrow \frac{T' - T}{\gamma} = \frac{vT}{c - v} \\
 \Rightarrow (T' - T)(c - v) &= \gamma vT \\
 \Rightarrow T'(c - v) &= \gamma vT + T(c - v) \\
 \Rightarrow T'(c - v) &= T(c + v) \\
 \Rightarrow T' &= T \frac{c + v}{c - v}
 \end{aligned}$$

نکته: در حل این مثال، از این نکته استفاده کردیم که «سرعت نور در هوا همواره برابر c می‌باشد» چنانچه در مثال فوق فرض کنید، به جای نور یک گلوله با سرعت c به یک مانع سخت که همواره با سرعت v به سمت حرکت می‌کند، برخورد نماید، سرعت در برگشت دیگر c نخواهد بود.

۴.۱ بزرگی زاویه‌ای (قطر ظاهری)

بزرگی زاویه‌ای یا قطر ظاهری یک جسم، زاویه‌ای است که جسم را تحت آن زاویه مشاهده می‌کنیم. با توجه به شکل تعریف فوق روشن می‌شود، در شکل زیر زاویه α قطر ظاهری جسم AB نسبت به ناظر S خواهد بود.



بدلیل این که در این بحث معمولاً از زوایای کوچک صحبت می‌شود، لذا در به دست آوردن رابطه برای قطر ظاهری از تقریب زوایای کوچک استفاده می‌نماییم، تقریب زوایای کوچک بیان می‌کند که هرگاه مقدار یک زاویه‌ای کوچک باشد، (حد) کوچک بودن را معمولاً ۶ درجه در نظر می‌گیرند، یعنی به زوایای کوچکتر از ۶ درجه زوایای کوچک می‌گویند) در این صورت می‌توان زاویه را بر حسب رادیان با مقدار سینوس زاویه و با مقدار تانژانت زاویه برابر در نظر گرفت، یعنی :

$$\alpha < 6^\circ \Rightarrow \sin \alpha \simeq \tan \alpha \simeq \alpha^{\text{rad}}$$

با توجه به توضیع فوق خواهیم داشت:

$$\frac{\text{اندازه جسم}}{\text{فاصله جسم از ناظر}} : \alpha^{\text{rad}} \simeq \tan \alpha \simeq \frac{h}{d} = \frac{\text{برگی زاویه‌ای}}{\text{برگی زاویه‌ای}}$$

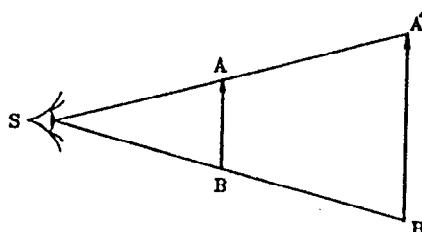
نکته: رادیان همانند درجه یکی از واحدهای اندازه‌گیری زاویه می‌باشد. می‌دانیم هرگاه D اندازه‌ی یک زاویه بر حسب درجه و R اندازه‌ی همان زاویه بر حسب رادیان باشد، رابطه‌ی زیر بین آنها برقرار می‌باشد:

$$\frac{D}{180} = \frac{R}{\pi}$$

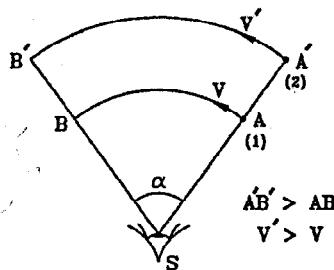
در رابطه فوق π برابر عدد پی یعنی $3,14$ می‌باشد، به عنوان مثال 180° درجه برابر π رادیان، 90° درجه برابر $\frac{\pi}{2}$ رادیان و 30° درجه برابر $\frac{\pi}{6}$ رادیان می‌باشد.

قابل ذکر است که در زندگی روزمره، چه در مورد ابعاد اجسام و چه در مورد سرعت آنها بزرگی زاویه‌ای را احساس می‌کنیم، به اشکال زیر توجه نمایید:

در شکل زیر ناظر S هر دو جسم AB و $A'B'$ را یک اندازه می‌بینید.



همچنین در شکل زیر متحرک (۱) از نقطه A به نقطه B می‌رود و متحرک (۲) دقیقاً در همان مدت زمان از نقطه A' به نقطه B' می‌رود، در اینجا باز ناظر S سرعت هر دو متحرک را پیکسان احساس می‌کند در حالیکه سرعت متحرک (۲) بیش از سرعت متحرک (۱) بوده است. حال شما درک می‌کنید که چرا وقتی ناظر زمینی به یک هواپیمای در حال پرواز در آسمان نگاه می‌کند احساس می‌نماید که هواپیما با سرعت خیلی کمی در حال حرکت است.



مثال ۱۱-۱ قطر خورشید تقریباً 1390000 km می‌باشد، فاصله میانگین خورشید از زمین حدود 150000000 km و تغییرات این فاصله جزئی است، بزرگی زاویه‌ای خورشید نسبت به ناظر زمینی حدود چند دقیقه می‌باشد؟

حل. همان‌طور که می‌دانید، دقیقه و ثانیه نیز از واحدهای اندازه‌گیری زاویه می‌باشد، به‌طوری که هر درجه برابر 60° دقیقه و هر دقیقه نیز برابر 60° ثانیه می‌باشد.

$$\alpha = \frac{\text{قطر خورشید}}{\text{فاصله خورشید از زمین}} = \frac{1390000}{150000000} = 9,3 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\alpha = 9,3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{180}{\pi} \right)^\circ = \text{درجه } 0,53^\circ = \text{دقیقه } 32$$

مثال ۱۲-۱ قطر ماه برابر 3480 km می‌باشد، فاصله ماه از زمین بین 399000 km تا 357000 km متغیر است، بزرگی زاویه حداکثر و حداقل ماه نسبت به ناظر زمینی حدود چند دقیقه می‌باشد؟

حل.

$$\alpha_{\max} = \frac{3480}{357000} = \text{دقیقه } 56^\circ = 9,75 \times 10^{-3} \text{ rad} = 0,56^\circ$$

$$\alpha_{\min} = \frac{3480}{399000} = \text{دقیقه } 30^\circ = 8,72 \times 10^{-3} \text{ rad} = 0,5^\circ$$

مثال ۱۳-۱ با توجه به مثالهای ۱۱-۱ و ۱۲-۱ تعیین کنید چه موقع خورشید گرفتگی (کسوف) به صورت کامل و چه موقع به صورت حلقوی رخ می‌دهد؟

حل. می‌دانیم در هنگام خورشید گرفتگی ماه میان زمین و خورشید قرار گرفته و مانع رسیدن نور خورشید به زمین می‌گردد، حال هرگاه بزرگی زاویه‌ای ماه از خورشید نسبت به ناظر زمینی بزرگتر باشد، خورشید گرفتگی کلی و هرگاه کوچکتر باشد، خورشید گرفتگی حلقوی رخ می‌دهد.

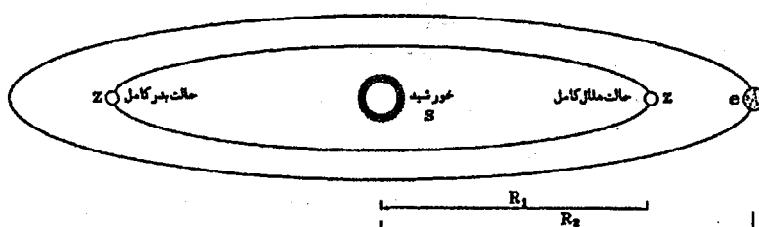
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{بزرگی زاویه‌ای خورشید} \\ = 9,3 \times 10^{-3} \text{ rad} \\ \\ \text{بزرگی زاویه‌ای ماه} \\ = \frac{348^\circ}{r} \text{ rad} \end{array} \right. : \text{ فاصله ماه از زمین)$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{348^\circ}{r} \geq 9,3 \times 10^{-3} \Rightarrow r \leq 376000 \text{ km} : \text{ شرط ایجاد کسوف کلی} \\ \frac{348^\circ}{r} < 9,3 \times 10^{-3} \Rightarrow r > 376000 \text{ km} : \text{ شرط ایجاد کسوف حلقوی} \end{array} \right.$$

مثال ۱۴-۱ اگر با تلسکوپ به کره زمین نگاه کنیم، معلوم می‌شود که زمین هم مثل ماه حالت‌های هلال و بدر دارد. بزرگی زاویه‌ای (قطر ظاهری) زمین در حالت هلال کامل (باریکترین هلال) تقریباً ۶ برابر بزرگی زاویه‌ای آن در حالت بدر کامل است. نسبت شعاع مدار زمین در حرکت به دور خورشید به شعاع مدار زمین در حرکت به دور خورشید چقدر است؟ (مرحله اول دهیمن المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۵)

$$\text{الف)} \frac{1}{\sqrt{6}} \quad \text{ب)} \frac{5}{6} \quad \text{ج)} \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{د)} \frac{5}{7}$$

حل. گزینه (د) صحیح است.



S: خورشید، Z: کره‌ی زمین، e: کره‌ی زمین، d: قطر کره‌ی زمین

$$\epsilon = \frac{\text{بزرگی زاویه‌ای زهره در حالت هلال کامل}}{\text{بزرگی زاویه‌ای زهره در حالت بدر کامل}}$$

$$\begin{aligned} & \Rightarrow \frac{\frac{d}{R_2 - R_1}}{\frac{d}{R_2 + R_1}} = \epsilon \Rightarrow \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1} = \epsilon \\ & \Rightarrow R_2 + R_1 = \epsilon(R_2 - R_1) \Rightarrow R_1 + \epsilon R_1 = \epsilon R_2 - R_2 \\ & \Rightarrow \gamma R_1 = \delta R_2 \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{\delta}{\gamma} \end{aligned}$$

حد تفکیک چشم:

چشم انسان هنگامی می‌تواند دو نقطه را جدا از هم تشخیص دهد که بزرگی زاویه‌ای فاصله آن دو نقطه نسبت به چشم از $0,0003^{\circ}$ رادیان بزرگتر باشد، این زاویه را حد تفکیک چشم می‌نامند.

مثال ۱۵-۱ حداقل طول جسمی که یک ناظر می‌تواند در فاصله‌ی 50° سانتیمتری از خود ببیند چقدر است؟

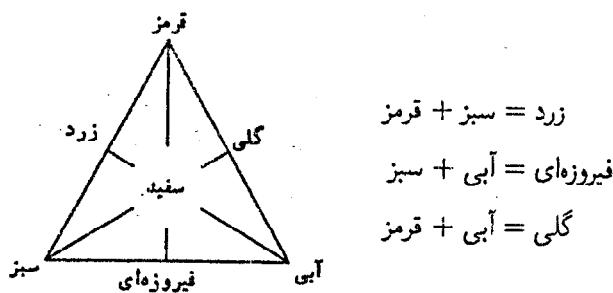
حل:

$$\begin{aligned} \alpha_{\min} &= \frac{h_{\min}}{d} \Rightarrow 0,0003 = \frac{h_{\min}}{50} \\ &\Rightarrow h_{\min} = 0,15 \text{ cm} = 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

۵.۱ رنگ نور

هرگاه یک باریکه‌ی نور خورشید را در یک اتاق تاریک به یک وجه منشور شیشه‌ای بتابانیم در طرف دیگر پرتوهای رنگی بوجود می‌آید که اگر پرده سفید رنگی در برابر آنها قرار دهیم، یک مجموعه نوارهای رنگی بر آن دیده می‌شود، این مجموعه نوارهای رنگی را که در اثر تجزیه نور خورشید توسط منشور ایجاد می‌شود، «طیف نور خورشید» می‌نامند، این طیف شامل رنگهای سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش است. هرگاه نور سرخ یا هر یک از رنگهای دیگر نور را که در طیف نور خورشید موجود است، باز دیگر از منشور عبور دهیم مشاهده می‌شود که تجزیه نمی‌شوند، چنین نوری را «نور خالص» یا «نور تکرنگ» می‌نامند، نوری که در منشور تجزیه شود «نور مرکب» است.

چنانچه نورهای سرخ، آبی و سبز را هم زمان به پرده سفید رنگی بتابانیم، پرده این نورها را بازتابش می‌کند و به رنگ سفید دیده می‌شود، این رنگ‌ها را «رنگ‌های اصلی» گویند، اگر این نورها را دوبدو با هم پیامزیم رنگهایی بوجود می‌آید که آنها را «رنگ‌های فرعی» گویند.



نکته: اجسام غیر شفاف، به رنگ نوری که باز می تابانند دیده می شوند.

نکته: اجسام شفاف به رنگ نوری که از خود عبور می دهند، دیده می شوند.

نکته: چنانچه با ترکیب دو رنگ، رنگ سفید تولید شود، آن دو را رنگهای مکمل گویند، مثلاً

رنگ آبی مکمل رنگ زرد و گلی مکمل رنگ سبز می باشد.

مثال ۱۶-۱ بر روی شیشه بی رنگی، با رنگ شفاف سبز جمله‌ای نوشته شده است، اگر در پشت این

شیشه لامپ با نور قرمز روشن شود: (اولین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۶۶)

ب) جمله به رنگ زرد دیده می شود

الف) جمله دیده نمی شود

د) جمله به رنگ قرمز دیده می شود

چ) جمله سیاه دیده می شود

حل. گزینه (ج) صحیح است، رنگ شفاف سبز فقط رنگ سبز را عبور می دهد و رنگ‌های قرمز و آبی را جذب می کند لذا هنگامیکه نور قرمز به شیشه تابیده می شود، از جمله سبز رنگ عبور نمی کند، ولی از سایر قسمت‌های شیشه عبور می کند لذا جمله به صورت سیاه در زمینه قرمز رنگ دیده می شود.

مثال ۱۷-۱ فتوستتر در برگ گیاه انجام می شود و برگ بیشتر گیاهها سبز است، با توجه به این، کدام

گزینه درست است؟ (مرحله اول چهاردهمین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۹)

الف) برگ گیاه‌ها نسبت به نور سبز شفاف است.

ب) کمترین مقدار فتوستتر در نور سبز انجام می شود.

ج) ضریب شکست برگ برای نور سبز از ضریب شکست برگ برای نورهای مرئی دیگر بیشتر است.

دا اگر به برگ گیاه نور آبی و نور قرمز با هم بتابانیم برگ سفید دیده می شود.

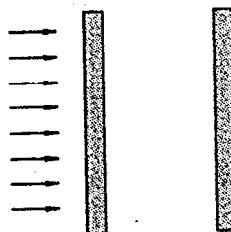
حل. گزینه (ب) صحیح است، چون برگ گیاهان سبز است لذا برگ گیاهان نور سبز را باز می تابانند و آن را جذب نمی کنند، در حالیکه برای فتوستتر، برگ گیاهان باید نور را جذب کنند، در نتیجه کمترین فتوستتر در نور سبز انجام می شود.

مسائل حل شده:

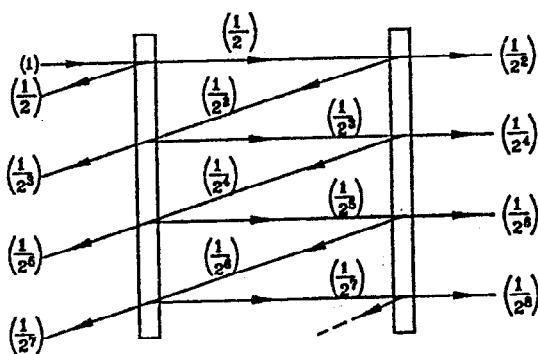
۱. دو سطح نیم آینه‌ای که هر کدام 50° درصد از نور را عبور و بقیه را باز می‌تابانند، مطابق شکل موازی یکدیگر قرار گرفته‌اند، اگر یک دسته پرتو نور بر آنها بتاپد، چه کسری از آن، از مجموعه عبور می‌کند؟

(مرحله اول یازدهمین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۶)

$$\text{الف) } \frac{1}{2} \quad \text{ب) } \frac{1}{3} \quad \text{ج) } \frac{1}{4}$$



حل. گزینه (ب) صحیح است. در اولین برخورد با سطح (۱)، نیمی از پرتوها بازتاب یافته و نیمی دیگر از پرتوها از سطح (۱) عبور می‌کنند و به سطح (۲) برخورد می‌کنند و در نتیجه $\frac{1}{3}$ از کل پرتوهای اولیه از سطح (۲) عبور می‌کنند و $\frac{1}{3}$ دیگر باز می‌تابند و دوباره به سطح (۱) برخورد می‌کنند و در نتیجه $\frac{1}{3}$ از پرتوها از سطح (۱) عبور کرده و $\frac{1}{3}$ دیگر باز می‌تابند و دوباره به سطح (۲) برخورد می‌کنند و در نتیجه $\frac{1}{3}$ پرتوها از سطح (۲) عبور کرده و $\frac{1}{3}$ دیگر باز می‌تابند و دوباره به سطح (۱) برخورد می‌کنند و ...



در نهایت مطابق شکل $(\dots + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots)$ از پرتوها از سطح (۲) عبور می‌نمایند و خواهیم داشت:

$$A = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^6} + \frac{1}{2^8} + \dots = \frac{1}{4} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \frac{1}{4^4} + \dots$$

$$A = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{4^3} + \dots \right) = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} A$$

$$4A = 1 + A \Rightarrow 3A = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{3}$$

يعنى $\frac{1}{3}$ از پرتوها از مجموعه سطوح (۱) و (۲) عبور می‌نمایند.

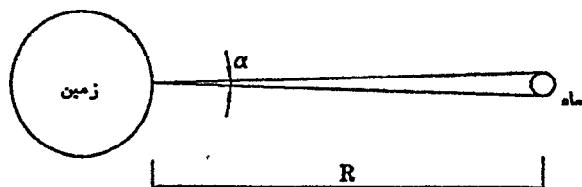
۵. تقریباً ۲,۵ ثانیه طول می‌کشد تا نور از زمین به ماه برسد و برگرد و قطر ظاهری ماه ۵,۰ درجه است، یعنی زاویدای که دو خطی که دو سر یک قطر ماه را به چشم ناظری در زمین وصل می‌کنند، ۵,۰ درجه است. جرم ماه بر حسب کیلوگرم به کدام یک زیر نزدیکتر است؟ هر کمیت دیگری را که لازم است تخمین بزنید.

(مرحله اول یازدهمین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۶)

- الف) ۱۰^{۱۸} ب) ۱۰^{۲۳} ج) ۱۰^{۲۸}

حل. گزینه (ب) صحیح است

R : فاصله ماه از زمین d : قطر ماه



هنگامی که نور از زمین به ماه می‌رسد و بر می‌گردد، مسافت $2R$ را طی می‌کند لذا خواهیم داشت:

$$c = \frac{2R}{t} \Rightarrow 3 \times 10^8 = \frac{2R}{2,5} \Rightarrow R = 3,75 \times 10^8 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,5 \times \frac{\pi}{180} = 0,0087 \text{ رادیان} = 0,0087 \text{ درجه}$$

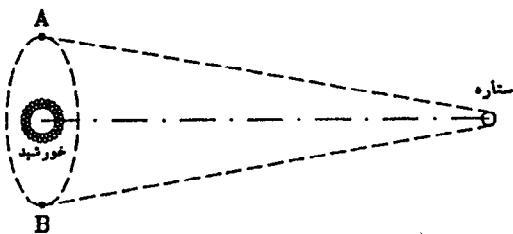
$$\alpha = \frac{d}{R} \Rightarrow d = \alpha R = (0,0087) \times (3,75 \times 10^8) \simeq 32 \times 10^5 \text{ m}$$

می‌دانیم چگالی آب برابر 1000 kg/m^3 می‌باشد، چگالی سنگ را حدود 5000 kg/m^3 تخمین می‌زنیم و فرض می‌کنیم چگالی ماه بطور یکنواخت برابر 5000 kg/m^3 باشد:

$$M = \rho V = (5000) \times \left(\frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{32}{2}\right)^3 \times 10^{15}\right) \simeq 8,6 \times 10^{22} \text{ kg}$$

۹. اخترشناسان برای اندازه‌گیری فاصله ستاره‌ای تا زمین، با دوربین تجومی دوبار آن را بدفاصله زمانی ۶ ماه از زمین رصد می‌کنند. در دو رصد یک ستاره، محور دوربین $5^{\circ} ۰$ ثانیه قوسی می‌چرخد، زمین در زمان‌های رصد ستاره در نقاط A و B است، فرض کنید خطی که خورشد را به ستاره وصل می‌کند بر خط AB عمود است، فاصله ستاره تا زمین تقریباً چند برابر فاصله زمین تا خورشید است؟ (هر درجه برابر $36^{\circ} ۰$ ثانیه قوسی است) (مرحله اول چهاردهمین المپیاد فیزیک ایران، ۱۳۷۹)

- الف) 10^5 برابر ب) 10^7 برابر ج) 10^9 برابر د) 10^{11} برابر



جواب: گزینه (ب) صحیح است.

۱۰. دو نفریکی با قد $1,۸$ متر و دیگری با قد ۱ متر حداقل در چه فاصله‌ای از یکدیگر می‌توانند باشستند تا هر دو یکدیگر را رویت کنند؟
(جواب: $3,۳۳$ کیلومتر)