



آیا می‌دانید که علت تشکیل (نگین کمان پیست؟

در فصل گذشته با انتشار نور به خط راست در یک محیط شفاف و قوانین بازتابش نور آشنا شدیم. در این فصل، رفتار نور را هنگام عبور از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگر بررسی می‌کنیم، همین‌طور با استفاده از مفهوم بازتابش کلی، با نحوه کار تارهای نوری آشنا می‌شویم، سپس به بررسی عدسی‌ها و کاربرد آنها در اصلاح دید چشم، میکروسکوپ و دوربین نجومی می‌پردازیم. در شکل ۱-۵ برخی از ابزارهای نوری نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- برخی از ابزارهای نوری



شکل ۱-۵-۲- به دلیل شکست نور، مداد درون لیوان آب، شکسته به نظر می‌رسد.

## ۱-۵ شکست نور

اگر از کنار استخر پر از آب به کف استخر نگاه کنید و در همان حال به تدریج از کنار استخر دور شوید، احساس می‌کنید که کف استخر دارد بالا می‌آید یا اگر یک مداد را مانند شکل ۱-۵-۲ درون لیوان محتوی آب قرار دهیم و سپس آن را از کنار یا از بالا نگاه کنیم، مداد به صورت شکسته به نظر می‌رسد. مشاهده پدیده‌هایی از این قبیل به سبب پدیده **شکست نور** است.

## آزمایش کنید ۱

**وسایله‌های آزمایش:** صفحه تشکیل تصویر یا ورقه مقوای گلاسۀ سفید، لیزر مدادی، ظرف آب شیشه‌ای.

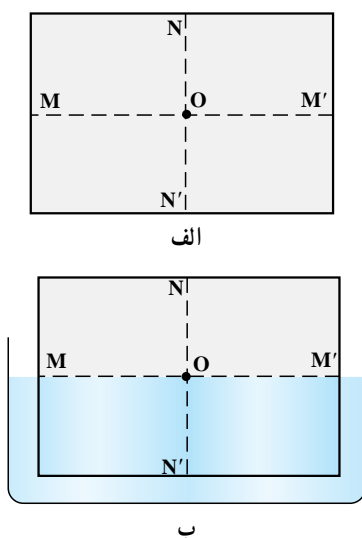
### شرح آزمایش:

۱- مطابق شکل الف روی صفحه تشکیل تصویر دو خط عمود بر هم  $NN'$  و  $MM'$  را رسم کنید.

۲- صفحه تشکیل تصویر را در ظرف آب قرار دهید، به گونه‌ای که خط  $MM'$  بر سطح آب مماس شود.

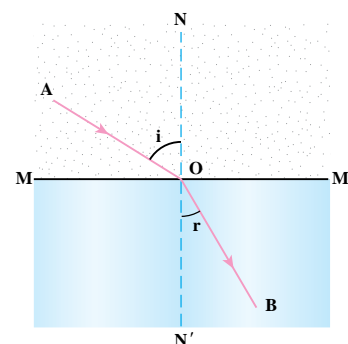
۳- پرتو لیزر را به‌طور مایل، به سطح آب بتابانید تا مسیر پرتو روی صفحه تشکیل تصویر دیده شود و از نقطه  $O$  نیز بگذرد.

۴- به مسیر پرتو در هوا و آب توجه کنید، از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



با انجام آزمایش ۱ نتیجه می‌گیریم که نور هنگام عبور از هوا به آب، مسیر شکسته‌ای را می‌پیماید. این مسیر در شکل ۵-۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل پیداست، نور در گذر از هوا به آب، به خط عمود  $NN'$  نزدیک می‌شود.

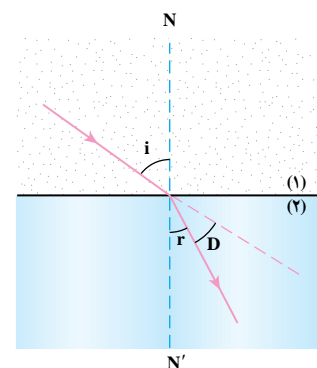
وقتی نور به‌طور مایل از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگر می‌تابد، مسیرش تغییر می‌کند. به بیان دیگر، پرتو نوری که به‌طور مایل به سطح جدایی دو محیط شفاف می‌تابد، هنگام گذر از سطح جدایی دو محیط، شکسته می‌شود. به این پدیده شکست نور می‌گوییم.



شکل ۵-۳ مسیر نور هنگام گذر از آب به هوا

پرتو  $AO$  را پرتو تابش و پرتو  $OB$  را پرتو شکست می‌نامیم. زاویه بین پرتو تابش و خط  $NN'$  (خط عمود بر سطح جدایی دو محیط در نقطه تابش نور) را زاویه تابش ( $i$ ) و زاویه بین پرتو شکست و خط  $NN'$  را زاویه شکست ( $r$ ) می‌نامیم.

زاویه بین امتداد پرتو تابش و پرتو شکست را زاویه انحراف می‌نامیم و آن را با  $D$  نشان می‌دهیم. همان‌طور که در شکل ۵-۴ دیده می‌شود  $D = i - r$  است.



شکل ۵-۴ مسیر گذر نور از هوا به آب و تعیین زاویه انحراف

## آزمایش کنید ۲

وسایله‌های آزمایش: صفحه تشکیل تصویر یا کاغذ گلاسۀ سفید، لیزر مدادی، ظرف آب شیشه‌ای

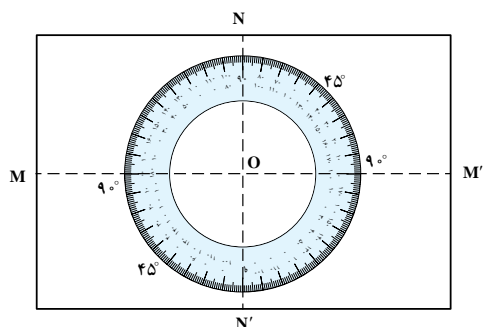
### شرح آزمایش:

۱- کپی بزرگ شده شکل روبه‌رو را روی یک طلق (ترانسپارنت) بیندازید و آن را روی صفحه تشکیل تصویر بچسبانید.

۲- صفحه تشکیل تصویر مدرج را درون ظرف آب قرار دهید، به‌گونه‌ای که خط  $MM'$  بر سطح آب مماس شود.

۳- پرتو لیزر را طوری به سطح آب بتابانید که مسیر آن روی صفحه دیده شود و از نقطه  $O$  نیز بگذرد.

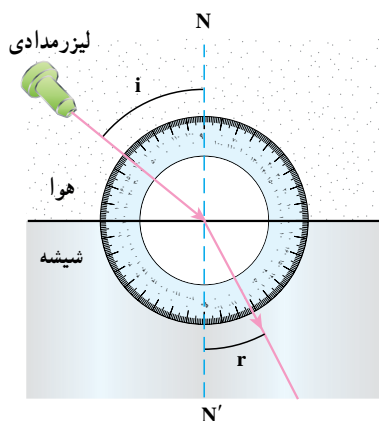
۴- برای زاویه‌های تابش  $0^\circ$ ،  $15^\circ$ ،  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $75^\circ$ ، زاویه شکست را پیدا کنید و جدول روبه‌رو را کامل کنید.



| شماره آزمایش | زاویه تابش ( $i$ ) | زاویه شکست ( $r$ ) | زاویه انحراف ( $D$ ) |
|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| ۱            |                    |                    |                      |
| ۲            | $15^\circ$         |                    |                      |
| ۳            | $30^\circ$         |                    |                      |
| ۴            | $45^\circ$         |                    |                      |
| ۵            | $60^\circ$         |                    |                      |
| ۶            | $75^\circ$         |                    |                      |

**قانون‌های شکست نور:** در گذشته، دانشمندان زیادی از جمله بطلمیوس، ابن هیثم، کپلر و... تلاش کردند تا رابطه‌ای بین زاویه تابش ( $i$ ) و زاویه شکست ( $r$ ) پیدا کنند. به عنوان مثال ابن هیثم دانشمند اسلامی نسبت بین زاویه‌های تابش و شکست را تا زاویه  $8^\circ$  به دست آورد ولی نتوانست رابطه بین آنها را کشف کند. در قرن هفدهم میلادی اسنل دانشمند هلندی و دکارت دانشمند فرانسوی، هریک به طور مستقل، موفق شدند رابطه بین این دو زاویه را به دست آورند.

### تفسیر کنید



دانش آموزی با استفاده از یک لیزر مدادی، تیغه شیشه‌ای و نقاله یا صفحه مدرج شده با نقاله، آزمایشی را انجام داده است. او باریکه نور را تحت زاویه‌های تابش مختلف به تیغه تابانده، زاویه‌های شکست مربوط به هریک را توسط نقاله اندازه‌گیری کرده و جدول زیر را کامل کرده است. شکل روبه‌رو چگونه انجام آزمایش را نشان می‌دهد.

| شماره آزمایش | زاویه تابش $i$ | زاویه شکست $r$ | $\sin r$ | $i/r$ | $\sin i$ | $\sin i / \sin r$ |
|--------------|----------------|----------------|----------|-------|----------|-------------------|
| ۱            | $15^\circ$     | $1^\circ$      | $1/5$    | $26$  | $17$     | $1/53$            |
| ۲            | $2^\circ$      | $13^\circ$     | $1/54$   | $34$  | $22$     | $1/52$            |
| ۳            | $3^\circ$      | $21^\circ$     | $1/42$   | $51$  | $34$     | $1/5$             |
| ۴            | $4^\circ$      | $25^\circ$     | $1/6$    | $64$  | $42$     | $1/52$            |
| ۵            | $45^\circ$     | $28^\circ$     | $1/6$    | $71$  | $47$     | $1/51$            |
| ۶            | $5^\circ$      | $3^\circ$      | $1/67$   | $77$  | $5$      | $1/53$            |
| ۷            | $6^\circ$      | $35^\circ$     | $1/71$   | $87$  | $57$     | $1/53$            |
| ۸            | $7^\circ$      | $38^\circ$     | $1/84$   | $94$  | $61$     | $1/53$            |

با توجه به جدول بالا و مشورت با اعضای گروه خود توضیح دهید :

الف) آیا زاویه شکست در هر مورد کوچک‌تر از زاویه تابش است؟

ب) اعداد مربوط به کدام ستون تقریباً در تمام آزمایش‌ها ثابت است؟ این عدد تقریباً چقدر است؟

پ) به جدول آزمایش ۲، ستون‌های سینوس زاویه تابش، سینوس زاویه شکست و نسبت  $\frac{\sin i}{\sin r}$  را اضافه کنید و با استفاده از جدول نسبت‌های مثلثاتی انتهای کتاب، جدول را کامل کنید.

ویلبرورد اسنل<sup>۱</sup>

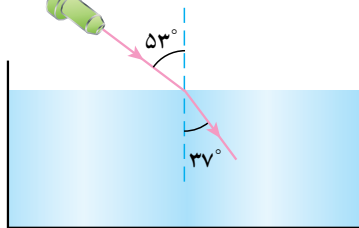


منجم و ریاضیدان  
هلندی که در  
سال ۱۵۸۰ م.  
(۹۵۹ هـ. ش)  
به دنیا آمد و در  
سال ۱۶۲۶ م.

(۱۰۵ هـ. ش) درگذشت. شهرت او بیشتر به خاطر قانونی است که به نام قانون شکست اسنل (یا قانون شکست دکارت) خوانده می شود. گرچه امروزه دریافته اند که سال ها پیش از او دانشمند مسلمان ایرانی ابن سهل<sup>۲</sup> (۳۷۹-۳۱۹ هـ. ش) در سال ۹۸۴ میلادی (۳۶۳ هـ. ش) این قانون را در رساله مشهور خود تحت عنوان «در باره آینه های سوزان و عدسی ها»<sup>۳</sup> بیان کرده بود. پس از ابن سهل، ابن هیشم (۴۱۸-۳۴۴ هـ. ش) از نتایج این قانون در کارهای خود در زمینه نورشناسی استفاده کرد.

مثال ۱

لیزر مدادی



باریکه نوری را مانند شکل روبه رو با زاویه تابش  $53^\circ$  به سطح آب می تابانیم. این پرتو با زاویه شکست  $37^\circ$  وارد آب می شود، ضریب شکست آب چقدر است؟

پاسخ:  $n$  ?  $r$   $37^\circ$   $i$   $53^\circ$

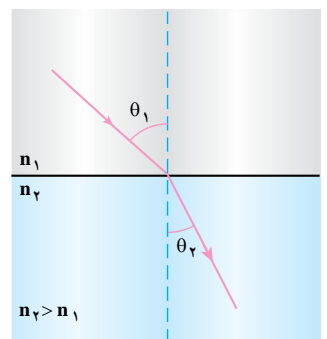
با استفاده از قانون شکست نور:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow n = \frac{\sin 53^\circ}{\sin 37^\circ} = \frac{0.799}{0.602} \Rightarrow n \approx 1.33$$

اگر مطابق شکل ۵-۵، پرتو نوری با زاویه تابش  $\theta_1$  از محیط شفاف  $n_1$  به ضریب شکست  $n_2$ ، با زاویه شکست  $\theta_2$  وارد محیط شفاف دیگری به ضریب شکست  $n_2$  شود. رابطه ۵-۱، به صورت کلی زیر نوشته می شود:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (5-2)$$

این رابطه به **قانون اسنل** معروف است.



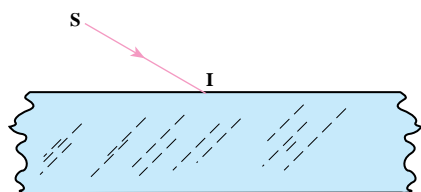
شکل ۵-۵

در شکل ۵-۵، اگر پرتو نور لیزر، با زاویه تابش  $35^\circ$  از هوا وارد شیشه شود،  
الف) زاویه شکست چند درجه است؟  
ب) زاویه انحراف چند درجه است؟

### آزمایش کنید ۳

**وسایله های آزمایش:** یک قطعه شیشه ضخیم، وسیله تولید باریکه نور مانند لیزر مدادی، یک تکه مقوا و خط کش.

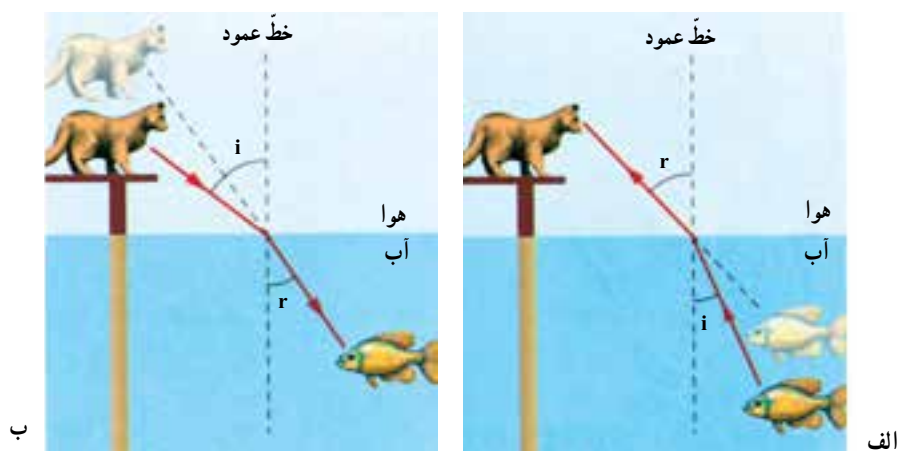
**شرح آزمایش:**



- ۱- مطابق شکل، قطعه شیشه ضخیم را روی مقوا قرار دهید و باریکه نور را طوری به قطعه شیشه بتابانید که مسیر نور روی سطح مقوا دیده شود.
- ۲- مسیر پرتو تابش SI را در ورود به شیشه و در خروج از آن رسم کنید.
- ۳- نقطه های ورود پرتو به تیغه شیشه ای و خروج از آن را روی مقوا به هم وصل کنید.
- ۴- امتداد پرتو SI را به صورت خط چین رسم کنید.
- ۵- پرتو تابش ورودی به شیشه و پرتو خروجی از شیشه نسبت به هم چگونه اند؟
- ۶- از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟

### ۲-۵ عمق ظاهری و واقعی

شکل ۵-۶ الف مکان واقعی و ظاهری یک ماهی را درون یک استخر نشان می دهد. همان طور که می بینید، گربه، ماهی را بالاتر از مکان واقعی خود می بیند. از سوی دیگر ماهی نیز گربه را دورتر از مکان واقعی خود مشاهده می کند (شکل ۵-۶ ب). شما نیز احتمالاً تجربه کرده اید هنگامی که از هوا به جسمی درون آب نگاه می کنید آن جسم به سطح آب نزدیک تر و وقتی از داخل آب به جسمی در هوا نگاه می کنید، آن جسم دورتر به نظر می رسد.

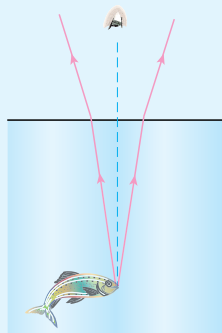


شکل ۵-۶ گربه و ماهی مکان های ظاهری دیگری را می بینند.

## فعالیت ۱

دو لیوان کاملاً مشابه را کنار هم قرار دهید. در هر لیوان یک سکه بیندازید و یکی از لیوان‌ها را پر از آب کنید. اکنون از بالا طوری به لیوان‌ها نگاه کنید که هر دو سکه دیده شود. نتیجه مشاهده خود را بنویسید.

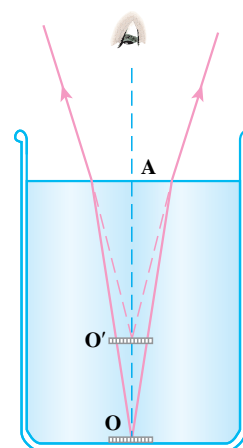
## فعالیت ۲



شکل روبه‌رو دو پرتو را نشان می‌دهد که از ماهی به سطح آب و سپس به چشم ناظر رسیده است. با رسم کردن امتداد پرتوهای رسیده به چشم ناظر معلوم کنید که ناظر، تصویر ماهی را کجا می‌بیند؟

وقتی نور به‌طور مایل از یک محیط شفاف وارد محیط شفاف دیگر می‌شود، در مرز مشترک دو محیط، تغییر مسیر می‌دهد (شکسته می‌شود). همین عامل سبب بالاتر دیده شدن ماهی توسط گربه و دورتر دیده شدن گربه توسط ماهی می‌گردد.

شکل ۵-۷ علت بالاتر دیده شدن سکه در ته لیوان پر از آب را نشان می‌دهد. در این شکل، به فاصله  $O'A$ ، عمق ظاهری و به فاصله  $OA$ ، عمق واقعی گفته می‌شود. می‌توان نشان داد برای شخصی که تقریباً به‌طور عمود بر سطح آب به سکه نگاه می‌کند، رابطه ۵-۳ بین عمق ظاهری و عمق واقعی برقرار است.



شکل ۵-۷- شکست نور هنگام عبور از مرز جداکننده دو محیط شفاف باعث می‌شود جسم، در محل واقعی خود دیده شود.

عمق واقعی  
عمق ظاهری  
ضریب شکست آب

۵-۳

$$O'A = \frac{OA}{n}$$

شخصی از بالای استخر پر از آبی تقریباً به طور عمودی به کف آن نگاه می‌کند. عمق ظاهری استخر از دید این شخص  $1/5 \text{ m}$  است. عمق واقعی استخر را محاسبه کنید، ضریب شکست آب برابر  $1/33$  است.

$$O'A = 1/5 \text{ m} \quad n = 1/33 \quad OA = ?$$

پاسخ:

$$O'A = \frac{OA}{n}$$

$$1/5 = \frac{OA}{1/33} \Rightarrow OA \approx 2 \text{ m}$$

پس عمق واقعی استخر  $2 \text{ m}$  است.

### آزمایش کنید ۴

وسایله‌های آزمایش: دو لیوان مشابه، دو سکه مشابه، خط کش

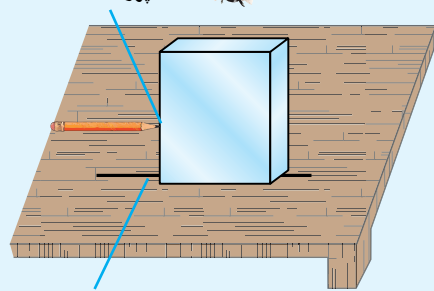
شرح آزمایش:

- ۱- سکه‌ها را در لیوان‌ها بیندازید، سپس در یکی از لیوان‌ها آب بریزید تا پر شود.
- ۲- لیوان‌ها را کنار هم قرار دهید و از بالا به سکه‌ها نگاه کنید. عمق آنها متفاوت به نظر می‌رسد.
- ۳- لیوان خالی از آب را به آرامی آنقدر بالا بیاورید که هر دو سکه در یک عمق دیده شوند. در این حالت، اختلاف ارتفاع دو لیوان را اندازه بگیرید.
- ۴- ارتفاع آب در لیوان پر از آب را اندازه بگیرید.
- ۵- عمق ظاهری سکه (عمق واقعی، منهای اختلاف ارتفاع دو لیوان) را حساب کنید.
- ۶- ضریب شکست آب را به دست آورید.

### فعالیت ۳

محل دیده شدن تصویر

خط پررنگ



خط پررنگی که از بالای تیغه شفاف به آن نگاه می‌کنیم.

با ماژیک، خط پررنگی روی کاغذ بکشید و تیغه شفاف را مانند شکل روی آن قرار دهید و از بالا به آن نگاه کنید. با ماژیک محل دیده شدن تصویر خط را روی وجه جانبی تیغه شفاف مشخص کنید. با استفاده از خط کش، عمق ظاهری و عمق واقعی را اندازه‌گیری کنید و ضریب شکست تیغه را به دست آورید.



ابن هیثم



ابوعلی حسن بن حسن  
بصری معروف به ابن  
هیثم، ریاضی دان،  
فیزیک دان، منجم و از  
دانشمندان سرشناسی  
بود که در سال ۳۴۳

هجری شمسی (۲۵۴ هجری

قمری) در بصره متولد شد و در سال ۴۱۸ هجری  
شمسی (۴۲۰ هجری قمری) درگذشت. او با  
این که از آثار گذشتگان خود از جمله اقلیدس،  
بطلمیوس، ارسطو و آپولونیوس استفاده کرده  
است، اما بنیان نور شناخت را دگرگون کرد و آن  
را به صورت علم منظم و مشخصی درآورد. او  
مانند اقلیدس هم فیزیک دان نظری و هم تجربی  
بود و به منظور تشخیص حرکت مستقیم الخط  
نور، یافتن خصوصیات سایه، موارد استفاده از  
عدسی ها و ویژگی های اتاق تاریک آزمایش هایی  
انجام داد. وی برای نخستین بار در مورد بسیاری  
از مسائل در نورشناسی به تحلیل ریاضی پرداخت.  
در مبحث شکست نور، وی ثابت کرد که زاویه  
شکست متناسب با زاویه تابش نیست و به تحقیق در  
مورد شکست نور در عدسی ها و در جو پرداخت.  
همچنین سهم عمده او در بحث بازتاب نور که پیش  
از آن یونانیان به اکتشاف های مهمی در آن دست  
یافته بودند، پژوهش در آینه های سهموی (شلجمی)  
و کروی بود. ابن هیثم چرخ تراشی داشت که با آن  
عدسی ها و آینه های خمیده را برای آزمایش های  
خود تهیه می کرد. او از این آزمایش ها دریافت که  
در آینه سهموی همه شعاع ها در یک نقطه متمرکز  
می شود و از این رو بهترین آینه های سوزاننده همین  
آینه های سهموی هستند.

المناظر، کتابی است که از این دانش پژوه مسلمان  
برجای مانده است، اثری بی نظیر که یافته های او را  
در زمینه اپتیک دربردارد. نویسنده در این شاهکار  
خود، با تکیه بر نظریه های ریاضی به توضیح علمی  
فرایند دیدن می پردازد و سعی می کند ساز و کار  
دیدن با دو چشم را توضیح دهد. ابن هیثم در این  
کتاب، ارتباط نظام مند میان مشاهده، فرضیه سازی  
و توجیه علمی رویدادها را به نمایش می گذارد.  
این کتاب پس از جلب توجه ریاضیدانان نامی ای  
همچون کپلر، دکارت و هویگنس، حدود ۵۰۰ سال  
پس از مرگ او در اروپا به چاپ رسید.

### ۳-۵ رابطه ضریب شکست نور با سرعت نور در دو محیط

سرعت انتشار نور در خلأ، بیشتر از سرعت انتشار نور در هر محیط شفاف دیگر است.  
سرعت انتشار نور در خلأ تقریباً ۳۰۰،۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه است؛ یعنی نور در خلأ فاصله ۳۰۰،۰۰۰  
کیلومتر را در مدت یک ثانیه می پیماید. سرعت نور در هوا نیز تقریباً همین مقدار است. در محیط های  
شفاف مثل آب، شیشه و ... سرعت نور کمتر از سرعت نور در هوا است.

می توان نشان داد نسبت سرعت نور در هوا به سرعت نور در یک ماده شفاف همان ضریب شکست  
ماده شفاف است :

$$\text{ضریب شکست ماده شفاف} = \frac{\text{سرعت نور در هوا}}{\text{سرعت نور در ماده شفاف}}$$

اگر سرعت نور در هوا c و سرعت نور در ماده شفاف v باشد داریم :

$$n = \frac{c}{v} \quad (۴-۵)$$

هر قدر ضریب شکست ماده شفاف بیشتر باشد سرعت نور در آن ماده کمتر است، و وقتی نور  
از هوا وارد آن ماده می شود، بیشتر شکسته می شود و زاویه انحراف بیشتر می شود.

جدول ۵-۱- ضریب شکست برخی مواد

| ضریب شکست | سرعت نور km/s |                        |
|-----------|---------------|------------------------|
| ۱,۳۹      | ۲۲۹,۱۸۲       | یخ                     |
| ۱,۳۶۲     | .....         | اتانول (الکل اتیلیک)   |
| ۱,۶۲۸     | ۱۸۴,۲۷۵       | کربن دی سولفات         |
| .....     | ۲ ۱,۳۴۲       | پلی استیرن             |
| ۱,۵۴۴     | ۱۹۴,۳         | سدیم کلراید (نمک طعام) |
| ۱,۴۷۳     | .....         | گلیسرین                |
| ۱         | ۳             | هوا                    |
| .....     | ۲۲۵,          | آب                     |
| ۱,۵۲      | .....         | شیشه                   |
| .....     | ۱۲۵,          | الماس                  |
| ۱,۴۷      | .....         | پیرکس                  |
| ۱,۳۷۴     | .....         | بنزین                  |

با استفاده از جدول ۱-۵ ضریب شکست آب را حساب کنید.

پاسخ:

$c$  ۳۰۰,۰۰۰ km/s و  $v$  ۲۲۵,۰۰۰ km/s و  $n$  ؟

$$n = \frac{c}{v} = \frac{300,000}{225,000} = \frac{4}{3}$$

$n = \frac{4}{3} \approx 1.33$  ضریب شکست آب

### تمرین ۱

با توجه به رابطه سرعت نور در یک محیط شفاف با ضریب شکست آن محیط، مکان‌های خالی جدول ۱-۵ را کامل کنید.

### پاسخ دهید ۱

با استفاده از جدول ۱-۵ :

الف) تعیین کنید ضریب شکست شیشه بزرگ‌تر است یا ضریب شکست آب؟

ب) باریکه‌ای از نور با زاویه تابش مشخصی (i) از هوا به آب و بار دیگر با همین زاویه تابش از هوا به شیشه می‌تابد.

در کدام مورد زاویه انحراف بزرگ‌تر است و پرتو شکست به خط عمود نزدیک‌تر می‌شود؟ توضیح دهید.

### مثال ۴

دو محیط را با ضریب شکست‌های  $n_1$  و  $n_2$  در نظر بگیرید. اگر نسبت سرعت نور در محیط اول به سرعت نور در

محیط دوم برابر  $\frac{5}{4}$  باشد، نسبت ضریب شکست محیط اول به ضریب شکست محیط دوم را حساب کنید.

پاسخ:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{5}{4} \text{ و } \frac{n_1}{n_2} = ?$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ و } n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{c}{v_1}}{\frac{c}{v_2}}$$

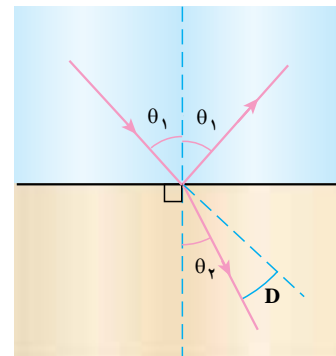
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{4}{5}$$

بنابراین :

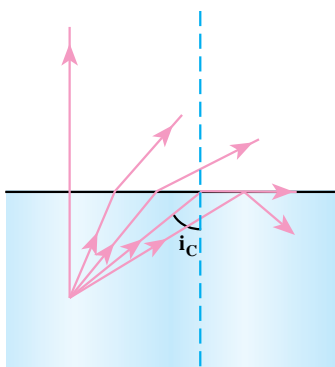
## ۴-۵ زاویه حد و بازتاب کلی

هنگامی که یک باریکه نور به مرز مشترک دو محیط شفاف می‌رسد، بخشی از نور از محیط اول وارد محیط دوم می‌شود. این بخش از نور می‌شکند. به علاوه بخشی از نور در محیط اول باز می‌تابد. به این پدیده بازتاب جزئی نور می‌گویند (شکل ۸-۵).



شکل ۸-۵ بازتاب جزئی نور و شکست نور در مرز مشترک دو محیط شفاف

وقتی نور از محیطی با ضریب شکست بیشتر وارد محیطی با ضریب شکست کمتر شود (برای مثال از درون آب به هوا) پرتو شکست از خط عمود دور می‌شود و زاویه شکست از زاویه تابش بزرگ‌تر خواهد شد. هرچه زاویه تابش زیاد شود زاویه شکست هم زیاد می‌شود. اگر زاویه شکست به  $90^\circ$  برسد (یعنی پرتو شکست بر سطح جدایی دو محیط مماس شود) زاویه تابش به مقداری رسیده است که به آن **زاویه حد** می‌گوییم و آن را با  $i_c$  نشان می‌دهیم (شکل ۸-۵). حال اگر پرتوی تابش را با زاویه تابش بزرگ‌تر از زاویه حد به سطح مشترک دو محیط بتابانیم، سطح مشترک دو محیط مانند یک آینه تخت عمل می‌کند و همه پرتوی تابش را به محیط اول باز می‌گرداند (شکل ۹-۵). به این پدیده **بازتاب کلی** می‌گویند.



شکل ۹-۵ گذار نور از محیط شفاف با ضریب شکست بیشتر به محیط شفاف با ضریب شکست کمتر و بازتاب کلی.

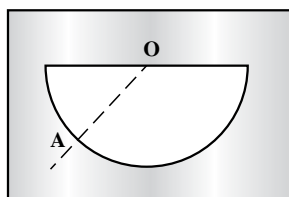
## آزمایش کنید

وسایله‌های آزمایش: نیم استوانه شفاف، نقاله کاغذی، مولد باریکه نور.

شرح آزمایش:



الف



ب

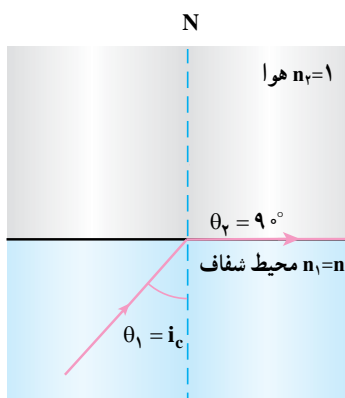
- ۱- نیم استوانه را مطابق شکل الف روی نقاله کاغذی قرار دهید.
- ۲- مطابق شکل ب باریکه نور را در راستای شعاع AO به مرکز نیم استوانه بتابانید. زاویه‌های تابش و شکست را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.
- ۳- زاویه تابش را به تدریج افزایش دهید تا پرتوی شکست، تقریباً مماس بر قاعده نیم استوانه قرار گیرد (یعنی زاویه شکست،  $90^\circ$  باشد). در این حالت زاویه حد را اندازه بگیرید.
- ۴- باریکه نور را با زاویه تابش بزرگ‌تر از زاویه حد بتابانید و رفتار باریکه نور را مشاهده کنید.

با استفاده از قانون شکست نور می‌توان زاویه حد را برای یک محیط شفاف، در حالتی که پرتوی نور از این محیط شفاف وارد هوا می‌شود تعیین کرد (شکل ۵-۱۰).

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n \sin i_c = 1 \times \sin 90^\circ$$

$$\sin i_c = \frac{1}{n} \quad (5-5)$$



شکل ۵-۱۰ زاویه حد برای پرتوی که از محیطی شفاف ( $n > 1$ ) وارد هوا می‌شود.

### مثال ۵

برای پرتوهایی که از آب وارد هوا می‌شوند، با توجه به ضریب شکست آب در جدول ۵-۱، زاویه تابش چند درجه باشد تا پرتوها مماس بر سطح آب خارج شوند؟

پاسخ:

$$i_c ? ; n = 1/333$$

$$\sin i_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1/333} = 0.75$$

$$i_c \approx 49^\circ$$

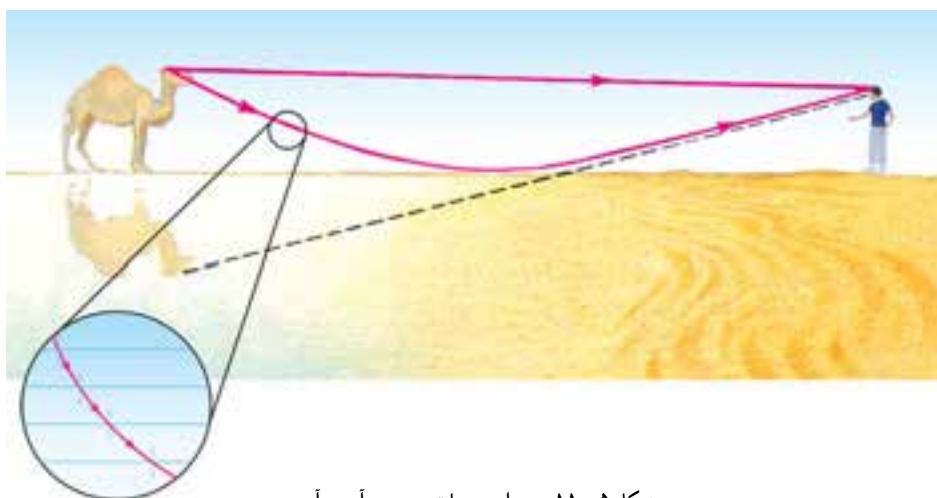
### فعالیت ۴

الف) با استفاده از زاویه حد نیم استوانه که در آزمایش ۵ اندازه گرفته‌اید، ضریب شکست نیم استوانه را محاسبه کنید.  
ب) اگر نوری از یک محیط شفاف با ضریب شکست  $n_1$  وارد محیط شفاف دیگر با ضریب شکست  $n_2$  شود به گونه‌ای که  $n_1 > n_2$  باشد، رابطه (۵-۵) چگونه نوشته می‌شود؟

### فعالیت ۵

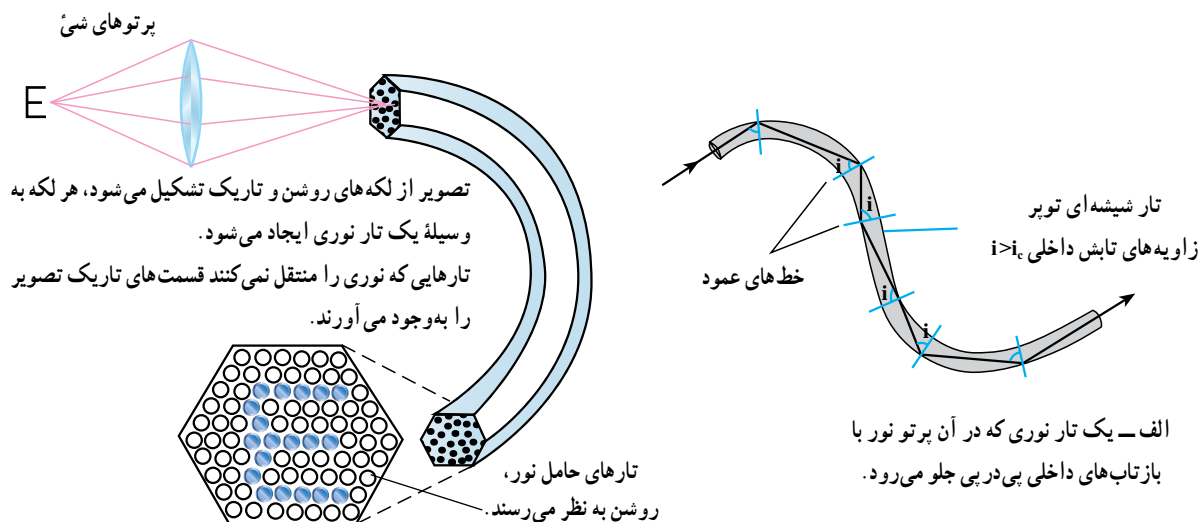
با استفاده از جدول ۵-۱، زاویه حد بلور نمک طعام، یخ و الماس را برای هنگامی که نور از هر یک از این مواد وارد هوا می‌شود، محاسبه و تعیین کنید کدام یک بزرگ‌تر است.

**سرآب:** پدیده سرآب معمولاً در جاده‌ها و بیابان‌ها در روزهای گرم مشاهده می‌شود در چنین مواقعی به نظر می‌رسد که سطح زمین در دوردست، خیس است و تصویر آسمان و بعضی اجسام، مانند خودرو در آب روی سطح زمین دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱). وقتی به سمت این ناحیه به ظاهر خیس پیش می‌رویم، می‌بینیم که هیچ آبی وجود ندارد و تصویرها نیز محو می‌شوند. علت این پدیده آن است که هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم دمای لایه‌های هوا بیشتر و ضریب شکست آن کمتر می‌شود. پرتوهای نور که از یک شیء دور، مثلاً یک خودرو، به طور مایل به سطح زمین می‌تابند، در اثر عبور از لایه‌های با ضریب شکست بیشتر به لایه‌های با ضریب شکست کمتر به تدریج به طرف بالا شکست می‌یابند تا اینکه در لایه‌های نزدیک به سطح زمین زاویه تابش آنها از زاویه حد این لایه‌ها بزرگ‌تر می‌شود و بازتاب کلی صورت می‌گیرد. پرتوهای بازتابیده نیز پس از شکست‌های متوالی به چشم ما می‌رسند؛ به این ترتیب لایه‌های نزدیک به سطح زمین که نور را باز می‌تابانند مانند سطح آب به نظر می‌آیند.



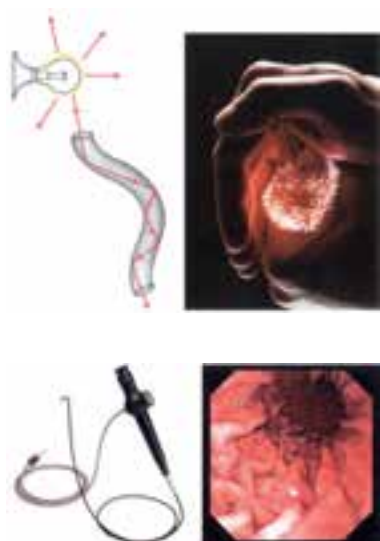
شکل ۵-۱۱- سرآب و علت به وجود آمدن آن

**تار نوری:** تار نوری رشته‌ای از جنس شیشه یا پلاستیک شفاف است که ضخامت آن، می‌تواند بسیار کمتر از یک میلی‌متر نیز باشد. بازتاب کلی، اساس کار تارهای نوری را تشکیل می‌دهد. هنگامی که پرتو نوری که درون تار در حال پیشروی است به سطح دیواره جانبی تار بتابد، اگر زاویه تابش بزرگ‌تر از زاویه حد باشد، بازتاب کلی نور روی می‌دهد و نور نمی‌تواند از تار خارج شود. این پرتو با بازتاب کلی‌های پی‌درپی درون تار نوری جلو می‌رود، حتی اگر تار خمیده شده باشد (شکل ۵-۱۲).



ب) دسته‌ای از تارهای شیشه‌ای که برای انتقال تصویر استفاده می‌شود.

شکل ۵-۱۲



تارهای نوری کاربردهای فراوانی دارند. مثلاً دندان‌پزشک‌ها با استفاده از چراغ‌قوه‌های خاصی، نور را به کمک تار نوری به محل موردنظر خود هدایت می‌کنند. از دسته‌های نازک تار نوری برای دیدن داخل موتور خودرو استفاده می‌شود. همچنین این تارها در لامپ‌های تزئینی رومیزی یا لوسترهای جدید به کار می‌روند. در آندوسکوپی که برای دیدن داخل بدن به کار می‌رود (شکل ۵-۱۳)، نور را از یک دسته باریک از تارهای شیشه‌ای بسیار ظریف و قابل انعطاف عبور می‌دهند و به نقطه مورد نظر درون بدن می‌تابانند و تصویر حاصل را از طریق دسته دیگری از تارها برمی‌گردانند. این دسته دوم تصویرساز ممکن است هزاران تار نوری با ضخامتی در حدود ۰/۱ میلی‌متر داشته باشد که در وضعیت‌های ثابت چنان مرتب شده‌اند که تصویر درهم و برهم نمی‌شود. در این حالت هر تار نوری یک نقطه از تصویر را ایجاد می‌کند. مهم‌ترین کاربرد تارهای نوری در صنعت مخابرات است. کابل‌های تار نوری، در مقایسه

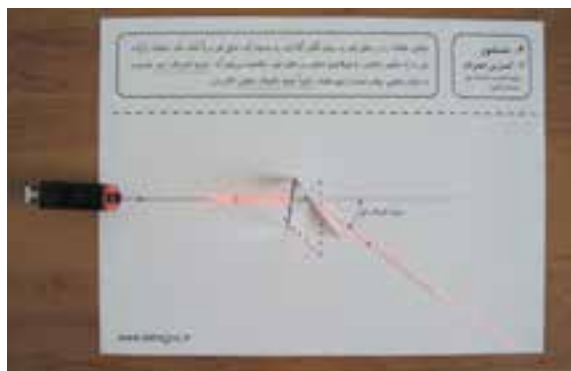
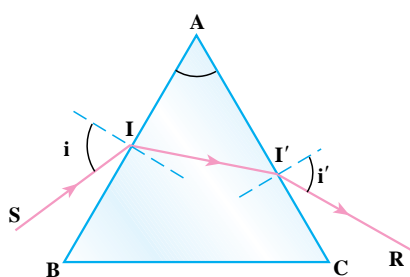
با کابل‌های سیم مسی نه تنها می‌توانند داده‌های بیشتری را با کیفیت بهتر منتقل کنند، بلکه بسیار باریک‌تر و سبک‌تر نیز هستند و با توجه به اینکه جنس آنها از شیشه است ارزان‌تر نیز تهیه می‌شوند، در حالی که کابل‌های مسی روز به روز گران‌تر می‌شوند.

با مشارکت افراد گروه خود و با استفاده از یک قطعه شیلنگ شفاف محتوی آب و لیزر مدادی، باریکه نور لیزر را به گونه‌ای به یک طرف شیلنگ بتابانید که در نتیجه بازتاب کلی‌های پی‌درپی از طرف دیگر شیلنگ خارج شود.

### ۵-۵ پاشیدگی نور در منشور

در شکل ۱۴-۵ مقطع یک منشور شیشه‌ای نشان داده شده است. پرتوی تک رنگ SI که به یک وجه منشور تابیده پس از شکست در نقطه I، وارد منشور شده و با شکست مجدد از وجه دیگر منشور خارج شده است.

زاویه A را **زاویه رأس منشور** می‌نامند. قرار گرفتن منشور در مسیر نور سبب شده است که نور با انحراف نسبت به امتداد اولیه از منشور خارج شود.



شکل ۱۴-۵- مسیر پرتو نور در منشور

با رسم مسیر پرتو نور در منشور، زاویه انحراف یعنی زاویه بین پرتوی ورودی SI و پرتوی خروجی I'R را فقط نشان دهید.

### آزمایش کنید ۴

**وسایله‌های آزمایش:** وسیله تولید باریکه نور سفید، منشور، یک ورق کاغذ سفید.

**شرح آزمایش:**

۱- در یک اتاق نسبتاً تاریک، باریکه نور سفید را به یک وجه منشور بتابانید. (از آویزهای بلوری چلچراغ‌ها (لوسترها) می‌توانید به جای منشور استفاده کنید).

۲- در طرف دیگر منشور، ورق کاغذ سفید را در مسیر پرتوهای خروجی قرار دهید.

۳- با جابه‌جا کردن منشور، تصویر واضحی از رنگ‌ها را روی کاغذ تشکیل دهید.

۴- نام رنگ‌ها را به ترتیب بنویسید.

از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید.

قرمز  
نارنجی  
زرد  
سبز  
آبی  
بنفش



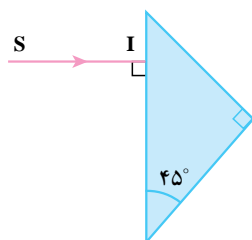
شکل ۵-۱۵- پاشیدگی نور سفید در عبور از منشور

نخستین بار نیوتون با عبور دادن نور خورشید از منشور و مشاهده رنگ‌های مختلف نور، نشان داد که نور سفید ترکیبی از نورهایی با رنگ‌های مختلف است. تجزیه نور سفید به رنگ‌های متفاوت به وسیله منشور را **پاشیدگی نور** می‌نامیم. علت پاشیدگی نور سفید به وسیله منشور این است که ضریب شکست منشور برای نورهای با رنگ‌های مختلف، متفاوت است. به عنوان مثال ضریب شکست منشور برای نور قرمز، کمتر از ضریب شکست منشور برای نور سبز یا آبی یا بنفش است. به همین سبب زاویه شکست و همین طور زاویه انحراف این نورها نیز، هنگام عبور از منشور، یکسان نیست. در نتیجه نورهای با رنگ‌های متفاوت، روی مسیرهایی اندکی متفاوت با هم از منشور خارج می‌شوند. در شکل ۵-۱۵ پاشیدگی نور سفید و رنگ‌های حاصل از آن نشان داده شده است. رنگین کمان و یا نورهای رنگی درخشانی که در چلچراغ‌های بلوری مشاهده می‌شود، به علت پاشیدگی نور است. در رنگین کمان پاشیدگی نور به وسیله ذرات ریز آب، و در چلچراغ‌ها در نتیجه عبور نور از بلورهای چلچراغ اتفاق می‌افتد.

مجموعه نورهای رنگی حاصل از پاشیدگی نور سفید، در عبور از منشور را **طیف**

نور سفید می‌نامند.

#### مثال ۴



شکل روبه‌رو، مقطع منشور قائم‌الزاویه متساوی‌الساقینی را نشان می‌دهد که ضریب شکست آن  $1/5$  است.

الف) زاویه حد منشور را برای حالتی که پرتو نور از درون منشور به سطح جداکننده منشور و هوا بتابد به دست آورید.

ب) ادامه مسیر پرتو SI را تا خروج از منشور، رسم نمایید.

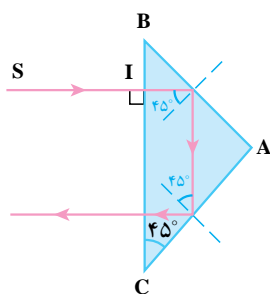
**پاسخ:**

$$n \ 1/5, \ i_c \ ?$$

$$\sin i_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1/5} = 0/666 \quad \text{الف)}$$

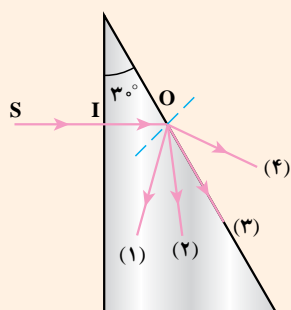
با استفاده از جدول نسبت‌های مثلثاتی انتهای کتاب، داریم:

$$i_c \ 42$$



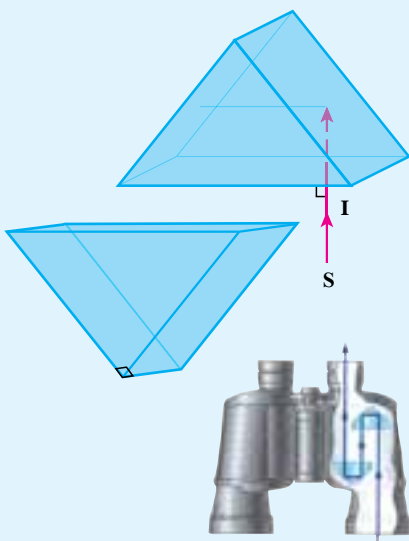
ب) چون پرتو SI عمود بر وجه BC تابیده است.  $(i = 0)$ ، بدون شکست وارد منشور شده و به وجه AB برخورد می‌کند. با رسم خط عمود بر سطح منشور در نقطه تابش، در وجه AB، زاویه تابش  $45$  می‌شود، که بزرگ‌تر از زاویه حد است. این پرتو، بازتاب کلی می‌کند و به سطح AC می‌رسد. در اینجا نیز زاویه تابش  $45$  و از زاویه حد بزرگ‌تر است و بار دیگر بازتاب کلی اتفاق می‌افتد و پرتو با زاویه تابش صفر به وجه BC برخورد می‌کند و چون عمود بر این وجه تابیده و بدون شکست از آن خارج می‌شود.





مطابق شکل، پرتو SI بدون شکست وارد منشوری به ضریب شکست  $n = 1/4$  می‌شود و به نقطه O می‌رسد. کدام پرتو می‌تواند ادامه پرتو SIO باشد؟ توضیح دهید.

## فعالیت ۸



در دوربین‌های دو چشمی، برای آنکه از لوله‌های بلند استفاده نشود، از یک جفت منشور، برای طولانی کردن فاصله نوری میان عدسی‌ها استفاده می‌شود. (شکل روبه‌رو). علاوه بر این استفاده از دو منشور در دوربین سبب مستقیم دیده شدن جسم نیز می‌شود. با توجه به بازتاب کلی که در این منشورها اتفاق می‌افتد، ادامه پرتوی SI را تا خروج از دو منشور رسم کنید.

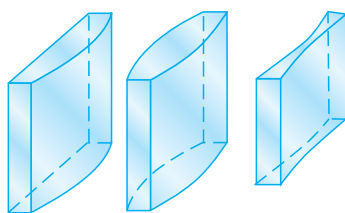
## ۵-۶ عدسی‌ها

آیا تاکنون از ذره‌بین استفاده کرده‌اید؟ می‌دانید که از پشت ذره‌بین نوشته‌های ریز، درشت‌تر به نظر می‌رسند. برای مثال، تصاویرهای کوچکی مثل تمبرها را که جزئیات آنها به خوبی دیده نمی‌شود، با ذره‌بین می‌توان به خوبی مشاهده کرد. به طور معمول افراد مسن برای مطالعه روزنامه یا کتاب از عینک، که می‌تواند نوعی ذره‌بین باشد، استفاده می‌کنند. بعضی از همکلاسی‌های شما نیز که فاصله‌های نسبتاً دور یا نسبتاً نزدیک را خوب نمی‌بینند از عینک استفاده می‌کنند. در طبیعت نیز قطرات آب گاهی می‌توانند مثل عدسی عمل کنند و جلوه‌های زیبایی را به وجود آورند (شکل ۵-۱۶). آیا تاکنون با میکروسکوپ کار کرده‌اید؟ با میکروسکوپ، موجودات بسیار کوچک را که نه تنها با چشم، بلکه با ذره‌بین نیز قادر به دیدن آنها نیستیم، می‌توان مشاهده کرد. در تمام موردهایی که به آنها اشاره شد از عدسی استفاده می‌شود. عدسی‌ها از ماده‌های شفاف ساخته می‌شوند و به دو نوع تقسیم می‌گردند، همگرا و واگرا.



شکل ۵-۱۶- قطره‌های باران همچون عدسی عمل می‌کنند.

**عدسی‌های همگرا :** در عدسی همگرا، پرتوهایی که موازی با هم به عدسی می‌تابند پس از شکست و عبور از عدسی، به هم نزدیک می‌شوند یعنی همگرا می‌شوند. در عدسی‌های همگرا، لبه‌های عدسی نازک‌تر از وسط آن است و عدسی به طور معمول برای کاربردهای متفاوت به شکل‌های دو کوژ، کوژ تخت و هلالی همگرا ساخته می‌شود. در شکل (۵-۱۷) این عدسی‌ها نشان داده شده‌اند. همه این عدسی‌ها، عدسی همگرا نامیده می‌شوند.



الف) دو کوژ کروی      ب) کوژ تخت کروی      پ) هلالی همگرای کروی      ت) عدسی‌های همگرای استوانه‌ای

شکل ۵-۱۷- انواع عدسی‌های همگرا

**عدسی‌های واگرا :** در عدسی‌های واگرا پرتوهایی که موازی با هم به عدسی می‌تابند، پس از شکست و عبور از عدسی، از هم دور می‌شوند یعنی واگرا می‌شوند. لبه این عدسی‌ها پهن‌تر از وسط آنها است و به شکل‌های دو کاو، کاو تخت و هلالی واگرا ساخته می‌شوند. در شکل (۵-۱۸) این عدسی‌ها نشان داده شده‌اند.

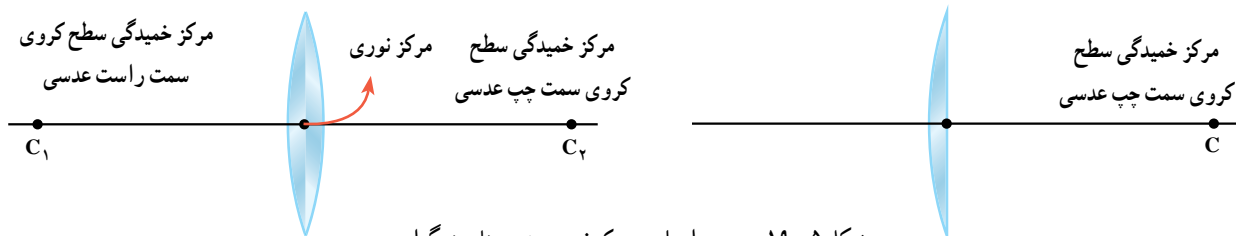


الف) دو کاو      ب) کاو تخت      پ) هلالی واگرا

شکل ۵-۱۸- انواع عدسی‌های واگرا

## ۵-۷ عدسی‌های همگرا

**الف) محور اصلی، مرکز نوری :** خطی که از مرکز خمیدگی دو سطح عدسی می‌گذرد یا از مرکز سطح خمیده می‌گذرد و به سطح تخت عمود می‌شود، **محور اصلی** نامیده می‌شود. نقطه میانی عدسی را که روی محور اصلی قرار دارد **مرکز نوری** عدسی می‌نامند. در شکل (۵-۱۹) محور اصلی و **مرکز نوری** عدسی نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۹- محور اصلی و مرکز نوری عدسی‌های همگرا

آزمایش نشان می‌دهد که اگر پرتوی به مرکز نوری یک عدسی بتابد، بدون انحراف از عدسی می‌گذرد و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. در شکل ۵-۲۰ چنین پرتوهایی که به یک عدسی همگرا تابیده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۵-۲۰ پرتوهایی که به مرکز نوری عدسی بتابند بدون انحراف از عدسی خارج می‌شوند.

## ب) کانون عدسی‌های همگرا

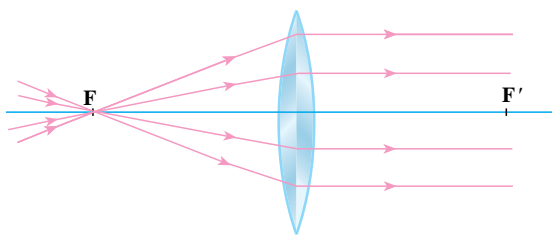
### آزمایش کنید ۷

وسایله‌های آزمایش: عدسی همگرای استوانه‌ای، یک صفحه کاغذ، مولد باریکه‌های موازی نور و خط کش.  
شرح آزمایش:

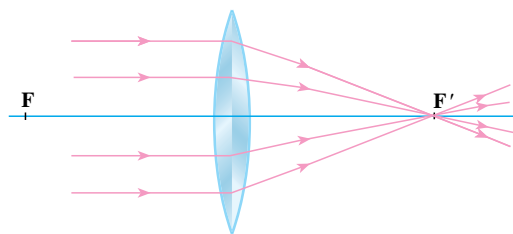


- ۱- مطابق شکل روبه‌رو، عدسی همگرای استوانه‌ای را روی صفحه کاغذ قرار دهید و باریکه‌های موازی نور را به آن بتابانید.
- ۲- نقطه‌ای که باریکه‌های نور، پس از عبور از عدسی به آن می‌رسند را **کانون عدسی همگرا** می‌نامند و آن را با  $F$  نشان می‌دهند. فاصله کانون تا عدسی را با خط کش تعیین کنید. این فاصله را **فاصله کانونی عدسی** می‌نامند و آن را با  $f$  نمایش می‌دهند.
- ۳- همین آزمایش را با طرف دیگر عدسی انجام دهید و فاصله کانونی عدسی را اندازه‌گیری کنید. نتیجه مشاهده خود را در گزارش کار بنویسید.

اگر آزمایش ۷ را به طور دقیق انجام دهید خواهید دید که هنگام انجام بند سوم آزمایش هم نقطه نورانی حاصل از همگرا شدن باریکه‌های موازی نور در همان فاصله قبلی (بند دوم آزمایش) از عدسی تشکیل می‌شود؛ یعنی عدسی در هر یک از دو طرف دارای کانون است که فاصله آنها تا عدسی یکسان است (حتی اگر عدسی دارای خمیدگی‌های متفاوت در دو طرفش باشد).  
از آزمایش ۷ می‌توان نتیجه گرفت که اگر پرتو تابش موازی با محور اصلی به عدسی همگرا بتابد، در خروج از طرف دیگر عدسی چنان می‌شکند که از کانون عدسی بگذرد (شکل ۵-۲۱).  
برعکس این موضوع نیز درست است؛ یعنی پرتوهایی که از کانون عدسی همگرا می‌گذرند و به آن می‌تابند، پس از شکست، به موازات محور اصلی از طرف دیگر عدسی خارج می‌شوند (شکل ۵-۲۲).

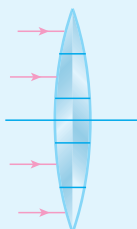


شکل ۵-۲۲- پرتوهایی که از کانون عدسی همگرا بگذرند و به عدسی بتابند پس از شکست، به موازات محور اصلی از عدسی خارج می‌شوند.



شکل ۵-۲۱- پرتوهایی که موازی با محور اصلی به عدسی همگرا بتابند پس از شکست، از کانون عدسی می‌گذرند.

## فعالیت ۹



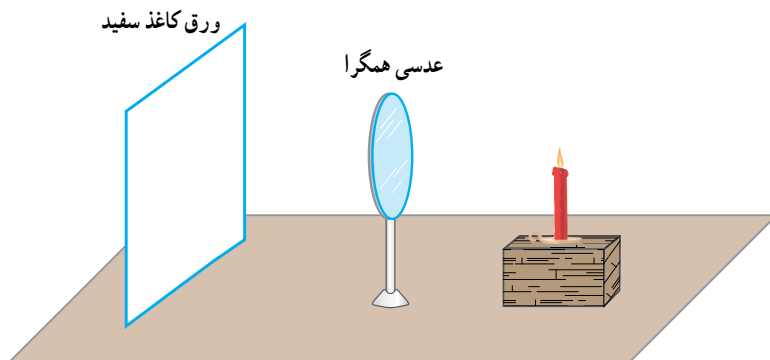
عدسی همگرا را، مانند شکل روبه‌رو به صورت مجموعه‌ای از منشورها در نظر بگیرید و ادامه مسیر پرتوهای موازی تابیده به عدسی را در آن رسم کنید.

## ۸-۵ چگونگی تشکیل تصویر در عدسی‌های همگرا

### آزمایش کنید ۸

وسایله‌های آزمایش: عدسی همگرا با پایه، شمع، صفحه تشکیل تصویر یا، یک ورق کاغذ سفید.

#### شرح آزمایش



۱- به ترتیبی که در آزمایش ۷ شرح داده شد، یا به روش‌های دیگر، فاصله کانونی عدسی را اندازه‌گیری کنید.

۲- عدسی را روی پایه، ثابت و شمع را روشن کنید و آن را مطابق شکل روبه‌رو در فاصله‌ای دورتر از کانون از عدسی، مقابل عدسی قرار دهید.

۳- صفحه تشکیل تصویر را در طرف

دیگر عدسی جابه‌جا کنید تا تصویر واضح شمع روی صفحه مشاهده شود.

۴- شمع روشن را به کانون عدسی نزدیک یا از آن دور کنید و در هر حالت با جابه‌جا کردن صفحه تشکیل تصویر، تصویر واضحی از شمع روی صفحه ایجاد کنید.

۵- شمع در چه فاصله‌ای از عدسی باشد تا اندازه تصویر برابر اندازه شمع شود؟ این فاصله چند برابر فاصله کانونی عدسی است؟

## ابن سهل



ابوسعبد العلاء بن سهل  
معروف به ابن سهل  
(۳۱۹-۳۷۹ هجری  
شمسی) ریاضیدان،  
فیزیکدان و مهندس  
اپتیک ایرانی در عصر

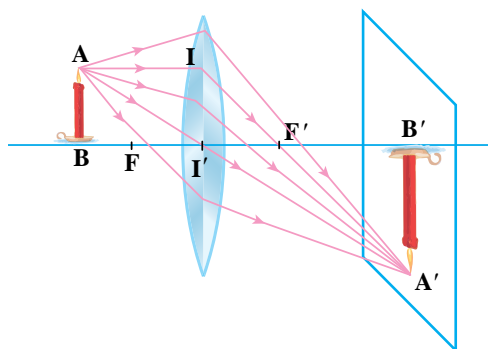
طلایی علوم اسلامی بود که در دربار عباسیان در بغداد کار می کرد. ابن سهل در سال ۳۶۳ هجری شمسی رساله بسیار مهمی به نام «در باب آینه ها و عدسی های سوزان» نوشت و در آن تشریح کرد که چگونه آینه های خمیده و عدسی ها نور را کانونی می کنند. بنا به منابع متعددی، او پیش از اسنل (دانشمند هلندی) قانون شکست نور را کشف کرده بود. تصویر زیر بخشی از دست خط ابن سهل را در اثبات قانون شکست نشان می دهد.



او با استفاده از قانون شکست نور به شکلی از عدسی ها دست یافت که می توانستند نور را بدون هر نوع ابزاری، کانونی کنند. سایر بخش های رساله او به آینه های سهوی، آینه های بیضوی، عدسی های دو کوژ و روش هایی برای رسم کمان هذلولوی می پردازد. بسیاری از کارهای ابن هبثم (۳۴۴-۴۱۸ هجری شمسی) در نورشناسی، مبتنی بر رساله ابن سهل بوده است.

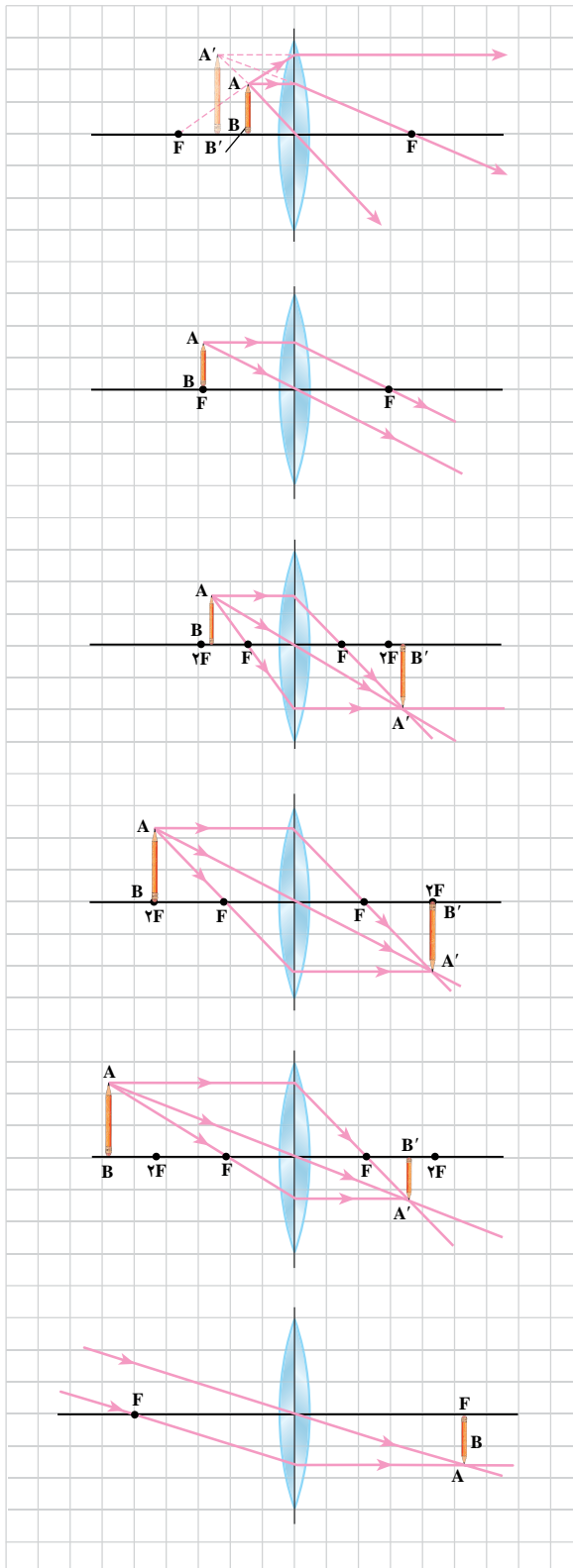
یک شمع روشن را در مقابل عدسی همگرا، در فاصله ای بیشتر از فاصله کانونی عدسی، مطابق شکل (۵-۲۳) در نظر بگیرید. از هر نقطه شمع، مانند نقطه  $A$ ، پرتوهای زیادی به عدسی می تابد. از میان این پرتوها دو پرتو خاص را در نظر می گیریم، یکی پرتو  $AI$  (موازی محور اصلی) و دیگری  $AI'$  (پرتوی که از مرکز نوری عدسی گذشته است). سپس پرتوهای خروجی هر یک از این دو پرتو را به روشی که گفته شد رسم می کنیم. پرتوهای شکست این دو پرتو یکدیگر را در نقطه  $A'$  قطع می کنند. اگر پرتوهای دیگری هم از نقطه  $A$  به عدسی بتابد پرتوهای شکست آنها نیز از نقطه  $A'$  خواهد گذشت، به همین علت برای به دست آوردن نقطه  $A'$  (که تصویر نقطه  $A$  است) دو پرتو تابش کافی است. همان طور که در مورد آینه ها گفته شد، تصویر سایر نقطه های شمع را نیز می توان به همین روش به دست آورد.

تصویری را که در این حالت تشکیل شده است تصویر حقیقی می نامیم. همان طور که در شکل (۵-۲۲) می بینید، این تصویر بر روی صفحه کاغذ یا پرده ای که در محل تصویر قرار دارد تشکیل می شود. در این حالت پرتوهای شکست خودشان همدیگر را قطع کرده اند. در واقع نقطه  $A'$  یک نقطه روشن واقعی است و اگر چشم در مسیر پرتوهایی که از  $A'$  گذشته اند قرار گیرد، نقطه روشن  $A$  دیده می شود.



شکل ۵-۲۳- چگونگی تشکیل تصویر در عدسی همگرا

در شکل‌های ۵-۲۴ الف تا ج، روش رسم تصویر شیء AB در یک عدسی همگرای نازک در چند حالت نشان داده شده است.



الف) شیء بین کانون و عدسی: همان‌طور که در شکل دیده می‌شود پرتوهای شکست از هم دور می‌شوند، امتداد پرتوهای شکست یکدیگر را قطع می‌کنند، تصویر مجازی، بزرگ‌تر از شیء و مستقیم است.

ب) شیء روی کانون: تصویر در بی‌نهایت

ب) شیء در فاصله‌ای بیشتر از  $f$  و کمتر از  $2f$  از عدسی: تصویر حقیقی، بزرگ‌تر از جسم، وارونه و در فاصله‌ای بیشتر از  $2f$  از عدسی

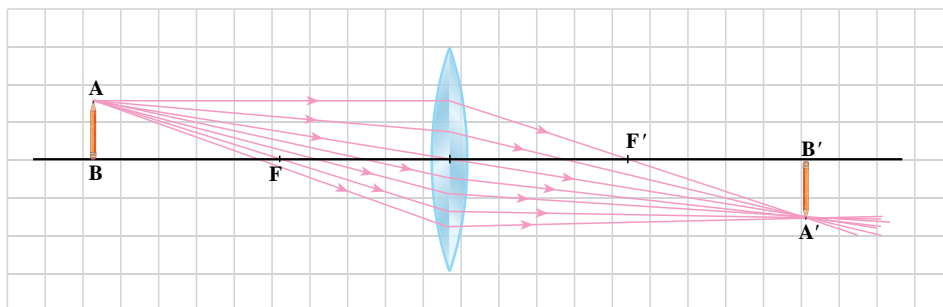
ت) شیء در فاصله  $2f$  از عدسی: تصویر در فاصله  $2f$  از عدسی، به اندازه شیء حقیقی، وارونه

ث) شیء در فاصله‌ای بیشتر از  $2f$  از عدسی: تصویر در فاصله‌ای بیشتر از  $f$  و کمتر از  $2f$  از عدسی، حقیقی، کوچک‌تر از جسم، وارونه

ج) شیء در فاصله خیلی دور از عدسی: تصویر روی کانون، حقیقی و وارونه.

شکل ۵-۲۴

در شکل ۵-۲۴ الف هرگاه چشم ناظر در محل نشان داده شده در شکل قرار گیرد ناظر احساس می کند که پرتوهای شکست از  $A' B'$  به چشم رسیده اند. همان طور که می دانید این تصویر مجازی است. در رسم تصویر شکل ۵-۲۵ نخست با رسم دو پرتو تابش، یکی موازی محور اصلی و دیگری پرتوی که از مرکز نوری گذشته است، نقطه  $A'$  مشخص شده است سپس پرتوهای دیگری که از  $A$  به عدسی تابیده را رسم کرده ایم. همه پرتوها پس از گذر از عدسی از  $A'$  گذشته اند.



شکل ۵-۲۵ همه پرتوهایی که از نقطه  $A$  به عدسی می تابند از نقطه  $A'$  عبور می کنند.

## پاسخ دهید ۲

با توجه به شکل ۵-۲۵ توضیح دهید که اگر نیمه بالایی یا نیمه پایینی عدسی به وسیله کاغذ کدری پوشانده شود آیا تصویر تشکیل می شود و در این حالت روشنایی تصویر نسبت به حالتی که نور به تمام سطح عدسی می تابد چه تفاوتی دارد.

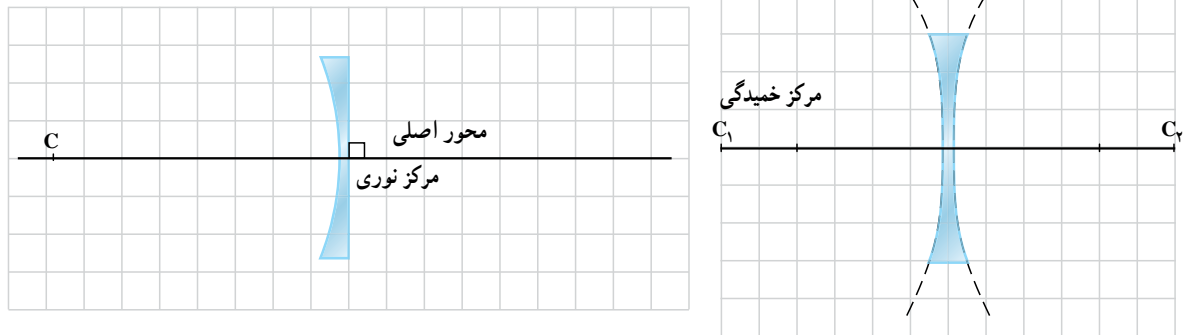
## فعالیت ۱۰

تحقیق کنید برای تولید هر یک از تصویرها یا دسته پرتوهای گفته شده در ستون سمت راست جدول زیر، جسم نورانی یا شیء، باید در چه فاصله ای از عدسی همگرا قرار گیرد.

| محل جسم          |           |                |          |              |                                  |
|------------------|-----------|----------------|----------|--------------|----------------------------------|
| بین کانون و عدسی | روی کانون | بین $F$ و $2F$ | روی $2F$ | خارج از $2F$ | فاصله خیلی دور                   |
|                  |           |                |          |              | تصویر سینمایی روی پرده سینما     |
|                  |           |                |          |              | تصویر روی فیلم عکاسی درون دوربین |
|                  |           |                |          |              | دسته پرتو موازی نور              |
|                  |           |                |          |              | تولید لکه نورانی کوچک            |
|                  |           |                |          |              | تولید تصویر روی شبکیه چشم        |

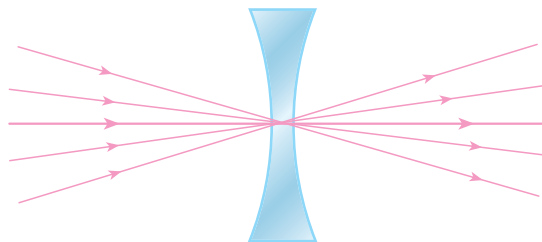
## ۹-۵ عدسی‌های واگرا

**الف) محور اصلی، مرکز نوری:** همان‌طور که در عدسی‌های همگرا دیدیم در این عدسی‌ها نیز **محور اصلی** خطی است که مرکز خمیدگی‌های دو طرف عدسی را به هم وصل می‌کند. نقطه میانی عدسی را که روی محور اصلی قرار دارد **مرکز نوری عدسی** می‌نامند. در شکل ۲۶-۵ محور اصلی و مرکز نوری نشان داده شده است.



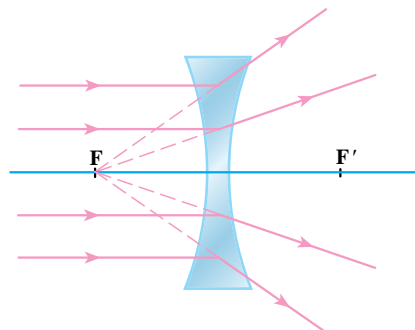
۲۶-۵- محور اصلی و مرکز نوری در عدسی‌های واگرا

در عدسی‌های واگرا نیز پرتوی که به مرکز نوری عدسی می‌تابد بدون انحراف از طرف دیگر عدسی خارج می‌شود. در شکل ۲۷-۵ چنین پرتوهایی که به عدسی واگرا تابیده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۲۷-۵- پرتوهایی که به مرکز نوری عدسی تابیده‌اند بدون انحراف از عدسی خارج شده‌اند.

**ب) کانون عدسی‌های واگرا:** هرگاه پرتوهایی موازی محور اصلی به عدسی واگرا بتابند پس از شکست و گذر از عدسی، طوری از هم دور می‌شوند که امتداد آنها از یک نقطه روی محور اصلی می‌گذرد. این نقطه را کانون عدسی واگرا و فاصله کانون تا مرکز نوری را فاصله کانونی می‌نامیم. در شکل ۲۸-۵ پرتوهای تابش موازی محور اصلی، و پرتوهای شکست مربوط به آنها نشان داده شده است. از آنجا که امتداد پرتوهای شکست (و نه خود پرتوها) یکدیگر را قطع می‌کنند، **کانون عدسی واگرا مجازی** است. بنابراین فاصله کانونی عدسی واگرا، که آن را با  $f$  نشان می‌دهیم، عددی منفی است.

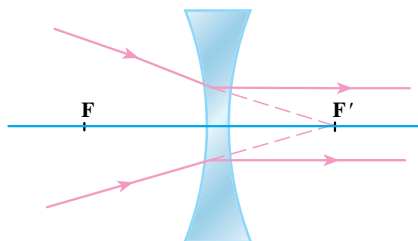


شکل ۲۸-۵- در عدسی واگرا پرتوهای تابش موازی محور اصلی باشند، پس از شکست در عدسی و عبور از آن، طوری از هم دور می‌شوند که امتدادشان در یک نقطه همدیگر را قطع می‌کند.



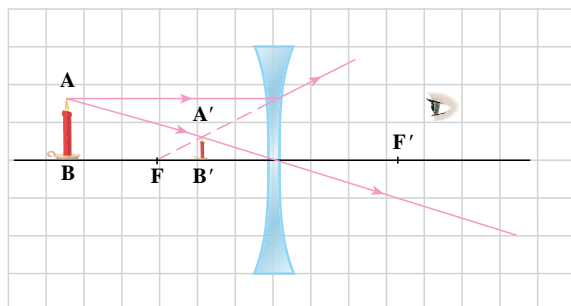
یک عدسی واگرا تهیه کنید و یک دسته پرتو موازی به آن بتابانید. سپس با امتداد دادن مسیر پرتوهای خروجی واگرا، کانون عدسی را پیدا و فاصله کانونی آن را اندازه گیری کنید و به کلاس گزارش دهید.

اگر پرتو نور طوری به عدسی واگرا بتابد که پس از برخورد به عدسی، امتداد آن از کانون طرف دیگر عدسی بگذرد، پرتو شکست آن موازی محور اصلی خواهد بود. در شکل ۲۹-۵ این گونه پرتوها نشان داده شده است.



شکل ۲۹-۵ - پرتوهایی که پس از برخورد به عدسی واگرا امتدادشان از کانون طرف دیگر عدسی بگذرد موازی محور اصلی از عدسی خارج می شوند.

**تصویر در عدسی های واگرا :** در این عدسی ها نیز مانند عدسی های همگرا، تصویر هر شیء واقع بر محور اصلی را با رسم تصویر یک نقطه آن به دست می آوریم. از بین پرتوهای زیادی که از این نقطه به عدسی می تابند دو پرتو تابش مشخص (پرتوی موازی محور اصلی، پرتوی که به مرکز نوری می تابند یا پرتوی که امتداد آن از کانون طرف دیگر عدسی می گذرد) و پرتو شکست مربوط به هر کدام را به ترتیبی که گفته شد رسم می کنیم تا تصویر نقطه مورد نظر به دست آید. در شکل ۳۰-۵ تصویر شیء AB در یک عدسی واگرا نشان داده شده است.



شکل ۳۰-۵ - رسم تصویر شیء در عدسی واگرا

در این عدسی ها با قرار گرفتن چشم در مسیر پرتوهای شکست، تصویر شیء AB در  $A'B'$  به نظر می رسد. این تصویر مجازی است. در عدسی های واگرا شیء در هر فاصله ای مقابل عدسی قرار داده شود تصویر آن کوچک تر از شیء، مجازی و نسبت به شیء مستقیم است و در فاصله بین عدسی و کانون دیده می شود.

### ۱۰-۵ معادله عدسی ها

همان طور که در شکل های ۵-۲۴ الف تا ج دیدید، فاصله تصویر تا عدسی به فاصله شیء تا عدسی بستگی دارد. فاصله شیء تا عدسی را با  $p$ ، فاصله تصویر تا عدسی را با  $q$  و فاصله کانونی عدسی

را با  $f$  نشان می‌دهیم. می‌توان نشان داد در عدسی‌های نازک، بین این فاصله‌ها رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (۵-۶)$$

در عدسی همگرا که کانون آن حقیقی است،  $f$  مثبت و در عدسی واگرا که کانون آن مجازی است  $f$  منفی است. به همین ترتیب اگر تصویر حقیقی باشد،  $q$  مثبت و اگر تصویر مجازی باشد،  $q$  منفی است. هرگاه فاصله تصویر تا عدسی (یعنی  $q$ ) مجهول باشد، پس از محاسبه آن، در صورتی که علامت به دست آمده برای  $q$  مثبت باشد، تصویر حقیقی، در غیر این صورت تصویر مجازی است.

### آزمایش کنید ۹

**وسایلهای آزمایش:** عدسی همگرا با فاصله کانونی معلوم، شمع، متر نواری، صفحه تشکیل تصویر  
**شرح آزمایش:**

- ۱- با توجه به فاصله کانونی عدسی، شمع را طوری مقابل عدسی قرار دهید که تصویر حقیقی و واضحی از آن روی صفحه تشکیل تصویر بیفتد.
- ۲- فاصله شمع تا عدسی ( $p$ ) و فاصله تصویر تا عدسی ( $q$ ) را اندازه بگیرید.
- ۳- با استفاده از مقدارهای اندازه‌گیری شده  $p$  و  $q$  و رابطه ۵-۶،  $f$  را به دست آورید و با فاصله کانونی داده شده مقایسه کنید.

### مثال ۷

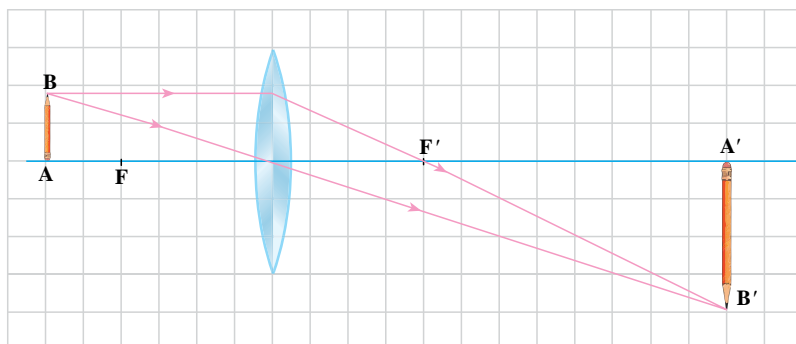
یک شیء را یک بار در فاصله ۱۲ سانتی متری و بار دیگر در فاصله ۴ سانتی متری یک عدسی همگرا که فاصله کانونی آن ۸ سانتی متر است قرار می‌دهیم. محل تصویر و نوع تصویر را در هر حالت تعیین کنید و شکل‌ها را با مقیاس مناسب رسم کنید.  
**پاسخ:** حالت اول:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12} + \frac{1}{q} = \frac{1}{8}$$

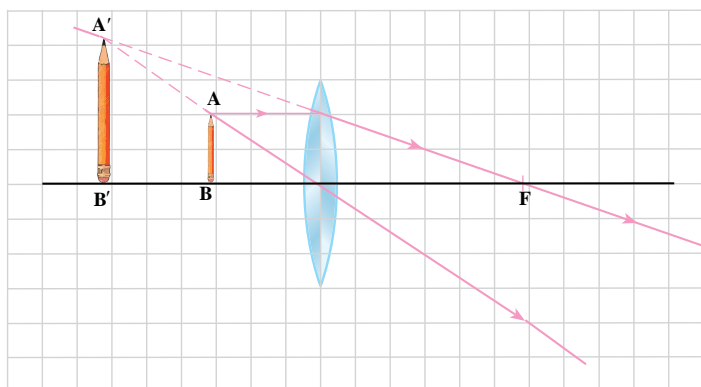
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12} = \frac{3-2}{24} \Rightarrow$$

$$q = 24 \text{ cm}$$

چون  $q$  مثبت شده تصویر حقیقی است.



توجه کنید برای رسم، طول و عرض هر یک از مربع‌های زمینه شطرنجی را معادل ۲ cm گرفته‌ایم.



در این رسم، طول و عرض هر یک از مربع‌های زمینه شطرنجی را معادل ۲cm گرفته ایم.

حالت دوم:

$p$  ۴cm و  $f$  ۸cm و  $q$  ؟

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{q} = \frac{1}{8} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{8} - \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1-2}{8} \Rightarrow \frac{1}{q} = -\frac{1}{8}$$

$q$  ۸cm

چون در این حالت  $q$  منفی شده است، تصویر مجازی است.

### مثال ۸

جسمی در فاصله ۱۸ سانتی متری یک عدسی واگرا که فاصله کانونی آن ۶ سانتی متر است قرار دارد. فاصله تصویر تا عدسی چند سانتی متر می‌شود؟

**پاسخ:** چون عدسی واگراست فاصله کانونی منفی است.

$p$  ۱۸cm و  $f$  ۶cm و  $q$  ؟

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

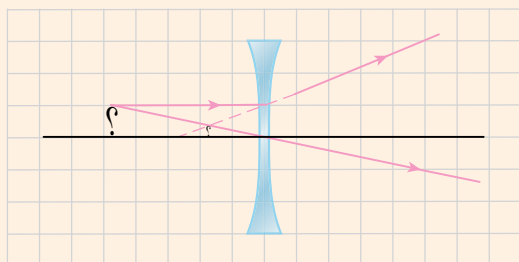
$$\frac{1}{18} + \frac{1}{q} = -\frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{6} - \frac{1}{18} = \frac{-3-1}{18} = -\frac{4}{18}$$

$$q = -\frac{18}{4} = -4.5\text{cm}$$

علامت منفی برای  $q$  نشان دهنده این است که تصویر مجازی است.

### تمرین ۳



در این شکل، طول و عرض هر خانه شطرنجی معادل ۵cm فرض شده است.

- شکل روبه‌رو چگونگی تشکیل تصویر را در یک عدسی واگرا نشان می‌دهد. با توجه به مقیاس داده شده در شکل، الف) فاصله کانونی عدسی را مستقیماً از روی شکل و با توجه به مقیاس گفته شده به دست آورید. ب) با تعیین مقدارهای  $p$  و  $q$  و سپس با استفاده از رابطه ۵-۶، فاصله کانونی عدسی را محاسبه کنید.

**بزرگ‌نمایی عدسی‌ها :** در عدسی‌ها نیز نسبت طول تصویر ( $A'B'$ ) به طول شیء ( $AB$ ) را بزرگ‌نمایی می‌نامیم و آن را با  $m$  نمایش می‌دهیم.

$$m = \frac{A'B'}{AB} \quad (۷-۵)$$

می‌توان نشان داد که در عدسی‌ها نیز رابطه بزرگ‌نمایی به صورت زیر است :

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{|q|}{p} \quad (۸-۵)$$

### مثال ۹

هرگاه جسمی را در فاصله کانونی عدسی همگرایی قرار دهیم، از آن تصویری بزرگ‌تر، مستقیم و مجازی تشکیل می‌شود. در این حالت به عدسی همگرا ذره‌بین می‌گوییم. اگر بخواهیم به وسیله یک ذره‌بین از جسمی به طول ۵ سانتی‌متر تصویری مستقیم و مجازی به طول ۲ سانتی‌متر به دست آوریم و فاصله جسم تا عدسی ۶ سانتی‌متر باشد، فاصله کانونی عدسی را حساب کنید.

**پاسخ :**

$$p = 6 \text{ cm و } AB = 5 \text{ cm و } A'B' = 2 \text{ cm و } f = ?$$

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{|q|}{p} \Rightarrow \frac{2}{5} = \frac{|q|}{6}$$

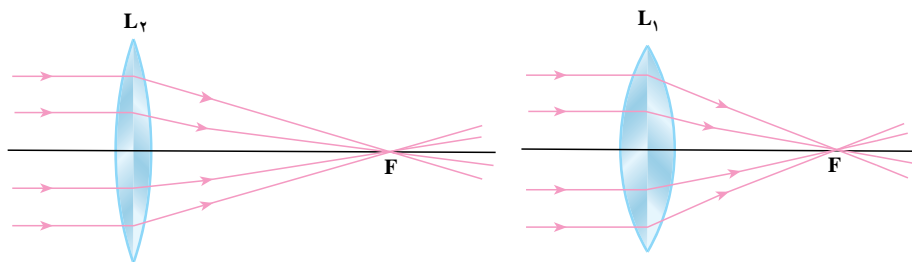
$$5|q| = 12 \Rightarrow |q| = \frac{12}{5} = 2.4 \text{ cm}$$

تصویر مجازی است. پس  $q = -2.4 \text{ cm}$  است.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{6} - \frac{1}{2.4} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{4-1}{2.4} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = 8 \text{ cm}$$

### ۱۱-۵ توان عدسی‌ها

در شکل ۱۱-۵ دو عدسی همگرای  $L_1$  و  $L_2$  با فاصله کانونی متفاوت نشان داده شده است. یک دسته پرتو موازی با محور اصلی به هر دو عدسی تابیده و عدسی‌ها این دسته پرتو را همگرا (به هم نزدیک) کرده‌اند. توانایی کدام یک از این دو عدسی در همگرا کردن پرتوها بیشتر است؟ همان‌گونه که شکل ۱۱-۵ نشان می‌دهد، عدسی‌ای که فاصله کانونی آن کمتر است، در همگرا کردن پرتوها، توانایی بیشتری دارد. یعنی توانایی عدسی در همگرا کردن پرتوها با فاصله کانونی نسبت عکس دارد.

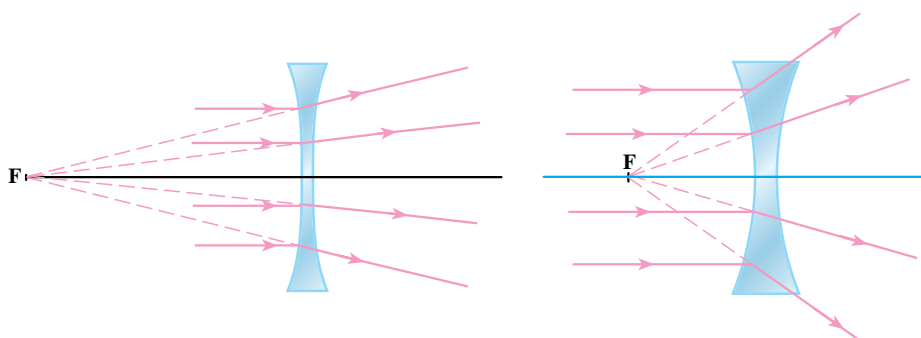


(ب) عدسی با فاصله کانونی بیشتر توانایی کمتری در همگرا کردن پرتوها دارد.

(الف) عدسی با فاصله کانونی کمتر توانایی بیشتری در همگرا کردن پرتوها دارد.

شکل ۵-۳۱

در شکل ۵-۳۲ دو عدسی واگرا با فاصله کانونی متفاوت نشان داده شده است. یک دسته پرتو موازی با محور اصلی به هر دو عدسی تابیده و عدسی‌ها این دسته پرتو را واگرا (از هم دور) کرده‌اند. در این مورد هم دیده می‌شود که توانایی عدسی، در واگرایی پرتوها با فاصله کانونی آن نسبت عکس دارد.



(ب) عدسی واگرا با فاصله کانونی بیشتر، توانایی کمتری در واگرایی دارد.

(الف) عدسی واگرا با فاصله کانونی کمتر توانایی بیشتری در واگرایی دارد.

شکل ۵-۳۲

از آنچه در مورد مقایسه همگرایی دو عدسی گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که هر اندازه فاصله کانونی عدسی کمتر باشد توانایی عدسی برای همگرا یا واگرا کردن پرتوها بیشتر می‌شود. عکس فاصله کانونی (یعنی  $\frac{1}{f}$ ) را **توان عدسی** می‌نامیم و آن را با نماد  $D$  نشان می‌دهیم.

$$D = \frac{1}{f} \quad (۵-۹)$$

در رابطه ۵-۹ فاصله کانونی ( $f$ ) برحسب متر ( $m$ ) است. در این رابطه یکای توان عدسی ( $D$ ) عکس متر ( $\frac{1}{m}$ ) است که **دیوپتر**<sup>۱</sup> نام دارد و آن را با نماد  $d$  نشان می‌دهند. توان عدسی‌های همگرا مثبت و توان عدسی‌های واگرا منفی است.

<sup>۱</sup> - d opter

## مثال ۱۰





فاصله کانونی یک عدسی همگرا ۸۰ cm است. توان آن بر حسب دیوپتر چقدر است؟  
**پاسخ:** با قرار دادن  $f = ۰/۸m$  در رابطه ۹-۵ داریم:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{۰/۸} = +۱/۲۵ d$$

## فعالیت ۱۲

اگر بدانیم چهار فاصله کانونی داده شده در زیر مربوط به چهار عدسی نشان داده شده در شکل است، فاصله کانونی هر یک از عدسی‌ها را با توجه به شکل عدسی‌ها معین کنید و جدول را کامل کنید (عدسی‌ها هم جنس‌اند).

۱۵ cm ، ۵ cm ، ۵ cm ، ۲۰ cm

|   |   |   |  |              |
|---|---|---|--|--------------|
|  |  |  |  | عدسی‌ها      |
|   |   |   |  | فاصله کانونی |
|   |   |   |  | توان عدسی    |

## مثال ۱۱

توان یک عدسی ۵ d است. فاصله کانونی این عدسی چند سانتی متر است؟  
**پاسخ:**

$$D = ۵d , f ?$$

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow -۵ = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -\frac{1}{۵} m$$

$$\Rightarrow f = ۲۰ cm$$

## ۵-۱۲ ابزارهای نوری

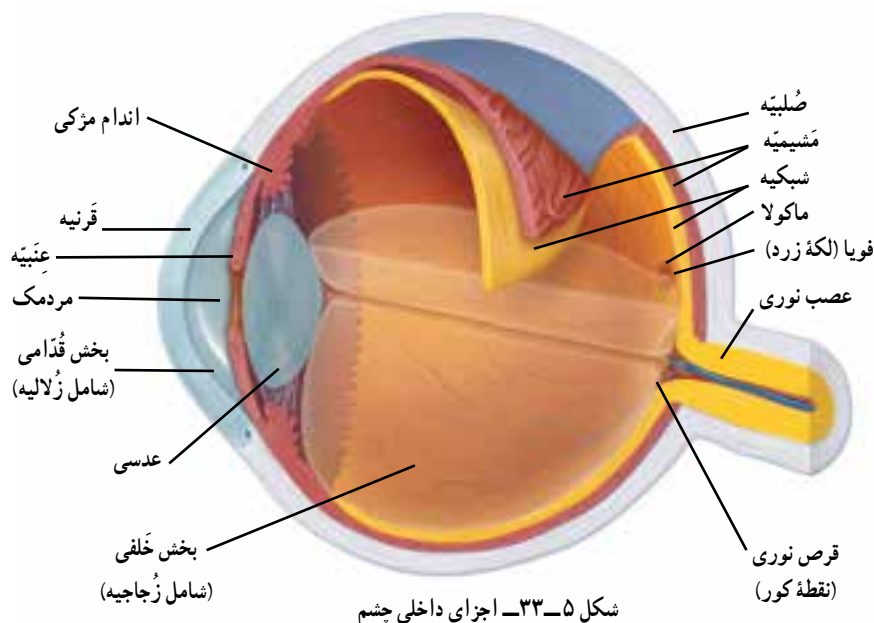
یکی از هدف‌های مطالعه نور هندسی، بررسی و طراحی ابزارهای نوری کارآمد است. اساس ساخت این ابزارها، اصول حاکم بر تشکیل تصویر در آینه‌ها و عدسی‌ها است که در بخش‌های قبل، مورد بحث قرار گرفت. ابزارهای نوری عموماً از ترکیب دو یا چند عدسی و گاهی اوقات با افزودن آینه‌ها و منشورها به آنها ساخته می‌شوند. دامنه این مبحث بسیار گسترده است و ما در این بخش تنها به معرفی بعضی از این ابزارها می‌پردازیم.

**چشم انسان و معایب آن:** بینایی بیشتر از حواس دیگر، ما را با جهان اطراف خود مرتبط می‌کند. مثلاً با کمک چشمان خود رنگ‌ها را تشخیص می‌دهیم و همچنین بزرگی و کوچکی اشیاء را

شناسایی می‌کنیم. هنگامی که به یک جسم نگاه می‌کنیم چشمان ما همانند یک دوربین، تصویری از آن را در انتهای چشم تشکیل می‌دهد؛ یعنی می‌توان چشم انسان را شبیه یک عدسی همگرا دانست که تصویری حقیقی بر روی یک صفحه حساس به نور به نام شبکیه تشکیل می‌دهد. چشم عضوی است تقریباً کروی شکل و از ماده‌ای ژله‌ای مانند که درون پوسته‌ای نسبتاً سخت به نام **صَلْبِيَّة** قرار دارد (شکل ۵-۳۳). بخش جلویی **صَلْبِيَّة** که شفاف است **قَرْنِيَّة** نامیده می‌شود و اولین شکست نور، هنگام ورود به چشم در این محل انجام می‌شود. ضریب شکست قرنیه تقریباً  $1/376$  است. در پشت قرنیه مایع شفاف به نام **زُلَالِيَّة** با ضریب شکست  $1/336$  قرار دارد و چون ضریب شکست قرنیه نیز تقریباً همین اندازه است در مرز مشترک قرنیه و زلالیه شکست چندانی برای نور اتفاق نمی‌افتد. **مَرْدَمَك** چشم درجه‌ای است میان **عَبْنِيَّة** که با تغییر قطر آن، شدت نور عبوری تنظیم می‌شود یعنی این درجه در نور ضعیف گشوده‌تر و در نور شدید تنگ‌تر می‌شود. در جریان این تنظیم، قطر مردمک بین ۲ تا ۸ میلی‌متر تغییر می‌کند. در پشت مردمک، عدسی چشم قرار دارد. عدسی چشم یک عدسی همگرای دوکوژ است که از ماده‌ای ژله مانند، انعطاف‌پذیر و شفاف ساخته شده است.

ضریب شکست عدسی تقریباً  $1/437$  است. پس از شکست نور در قرنیه، عدسی چشم تصویری حقیقی، وارونه و کوچک‌تر از اجسام مقابل چشم روی شبکیه تشکیل می‌دهد.

عدسی چشم به وسیله یک دسته تارهای آویزی که به ماهیچه‌هایی به نام **ماهیچه مَرَكِي** متصل اند نگه داشته می‌شود. همین ماهیچه‌ها است که می‌تواند ضخامت عدسی را تغییر دهد. هنگامی که این ماهیچه‌ها در حال استراحت‌اند، عدسی بزرگ‌ترین فاصله کانونی خود را دارد و تصویر اشیاء دور را روی شبکیه می‌اندازد، اما برای دیدن اشیاء نزدیک، ماهیچه‌های مَرَكِي منقبض می‌شوند و ضخامت عدسی چشم را زیاد می‌کنند که در نتیجه، فاصله کانونی عدسی کمتر می‌شود و تصویر روی شبکیه تشکیل می‌گردد. تغییر فاصله کانونی چشم را، برای ایجاد تصویرهای واضح از اجسام دور یا نزدیک روی شبکیه، **تطابق** می‌گویند. این تصاویر، حقیقی و معکوس‌اند و جالب است که ما آنها را به صورت مستقیم ادراک می‌کنیم.



شکل ۵-۳۳- اجزای داخلی چشم

چرا انسان نمی‌تواند در آب اجسام اطراف خود را به خوبی ببیند، اما با زدن عینک شنا این مشکل برطرف می‌شود؟

### فعالیت ۱۳

الف) تحقیق کنید چرا با اینکه تصاویر روی صفحه تلویزیون یا پرده سینما در واقع تصاویری جدا از هم و منقطع هستند ولی شما آنها را به طور پیوسته می‌بینید.

ب) تحقیق کنید چرا ماهی‌ها برخلاف انسان می‌توانند در آب، به خوبی ببینند؟

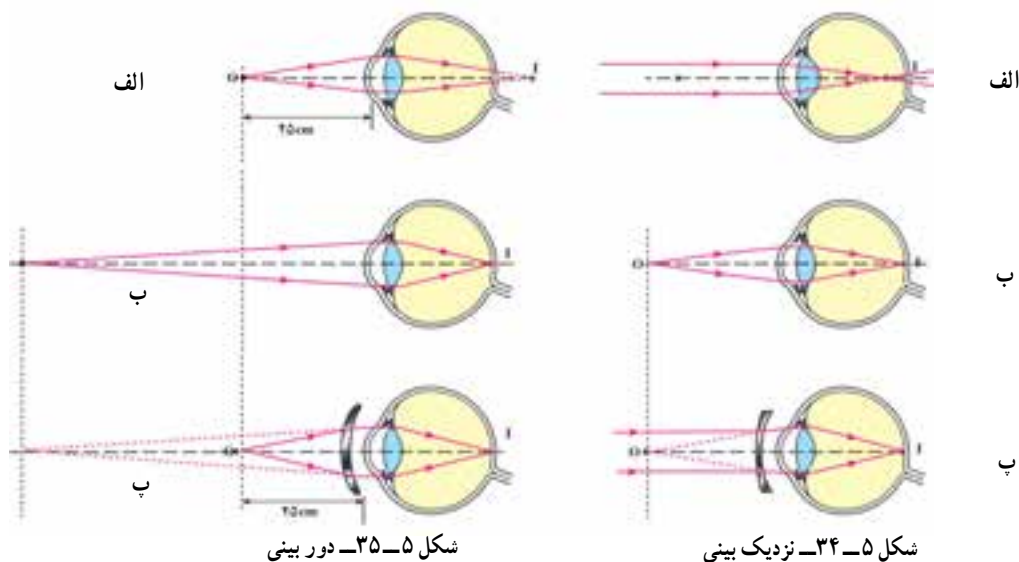
**گستره دید طبیعی:** یک چشم سالم می‌تواند برای دیدن اجسامی که فاصله آنها از چشم حدود ۲۵cm تا بی‌نهایت است عمل تطابق را انجام دهد. افراد جوان می‌توانند اجسامی را که فاصله آنها از چشم کمتر از ۲۵cm است نیز ببینند. به طور کلی قدرت تطابق چشم ما با افزایش سن محدود و محدودتر می‌شود.

کمترین فاصله دید چشم نزدیک‌ترین مکانی است که اگر جسمی در آنجا باشد چشم می‌تواند آن را واضح ببیند، بدون آنکه فشار زیادی بر چشم وارد شود.

بیشترین فاصله دید چشم، دورترین مکانی است که اگر جسمی در آنجا باشد چشم بدون تطابق می‌تواند آن را واضح ببیند.

### برخی از معایب چشم

**نزدیک بینی:** یک چشم نزدیک بین می‌تواند تنها اجسام نزدیک را واضح ببیند. تصویر اشیاء دور در جلو شبکیه تشکیل می‌شود (شکل ۵-۳۴-الف). بیشترین فاصله دید چشم نزدیک بین از بیشترین فاصله دید چشم سالم کمتر است (شکل ۵-۳۸-ب).

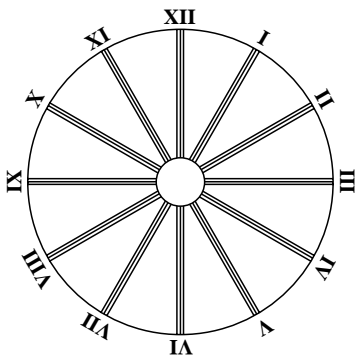




این عیب با استفاده از عدسی هلالی واگرا (شکل ۵-۳۴-پ) اصلاح می شود. این عدسی تصویر مجازی جسم دور را در نقطه دور چشم نزدیک بین می اندازد.

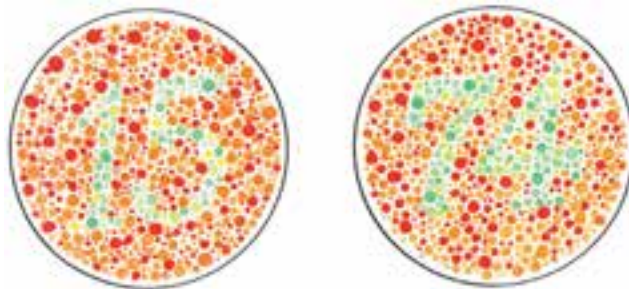
**دوربینی:** یک چشم دوربین تنها می تواند اجسام دور را واضح ببیند. تصویر اجسام نزدیک در پشت شبکیه تشکیل می شود (شکل ۵-۳۵-الف). کمترین فاصله دید چشم دوربین از کمترین فاصله دید چشم سالم، بیشتر است (شکل ۵-۳۵-ب). این عیب با استفاده از یک عدسی هلالی همگرا اصلاح می شود. این عدسی تصویر مجازی شیء نزدیک را در نقطه نزدیک چشم دوربین می اندازد (شکل ۵-۳۵-پ).

**کاهش تطابق یا پیرچشمی (پرزبویا):** با افزایش سن، خاصیت کشسانی عدسی چشم کم شده و ماهیچه هایی که ضخامت آن را کنترل می کنند نیز ضعیف تر می شوند. بدین ترتیب چشم نمی تواند اشیای نزدیک را واضح ببیند. این عیب را کاهش تطابق یا پیرچشمی گویند. این عیب چشم با استفاده از یک عینک با عدسی همگرا برای دیدن اشیای نزدیک اصلاح می شود. **آستیگماتیسم:** آستیگماتیسم هنگامی روی می دهد که حداقل یکی از سطح های شکست دهنده نور (قرنیه یا عدسی) در چشم کروی بودن خود را از دست بدهد. برای چشم آستیگمات تصویر تشکیل شده در یک راستا واضح است ولی در راستای دیگر واضح نیست، در صورتی که برای چشم سالم تصویر در همه راستاها واضح است (شکل ۵-۳۶).



شکل ۵-۳۶- برای چشم سالم هر مجموعه ای از این خط های موازی وضوح یکسانی دارد. در حالی که برای چشم آستیگمات چنین نیست.

این عیب به وسیله یک عدسی استوانه ای اصلاح می شود. انحنای بیشتر این عدسی در یک راستا، انحنای کمتر قرنیه یا عدسی در آن راستا را جبران می کند. **کوررنگی:** کوررنگی کامل بسیار کم پیش می آید، اما برخی از افراد هیچ رنگی را نمی بینند و دنیای آنها، مانند تصویر سیاه و سفید تلویزیون، تک رنگ است. بعضی افراد نمی توانند دو یا چند رنگ خاص را از هم تمیز بدهند آنها برای این کار با مشکل روبه رو می شوند. یک شکل متداول کوررنگی جزئی، مشکل در تمیز دادن رنگ قرمز و سبز از هم است (شکل ۵-۳۷). این عیب ممکن است به علت کمبود یک نوع سلول مخروطی در شبکیه باشد.



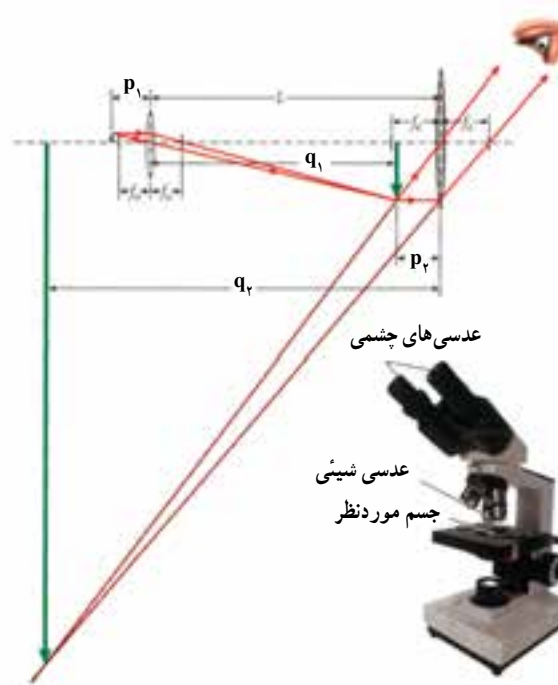
شکل ۵-۳۷- افرادی که دارای کوررنگی جزئی هستند، نمی توانند اعداد درون این دو تصویر را به صورت واضح ببینند.

#### پاسخ دهید ۴

الف) چشم دانش آموزی از پشت عینکش درشت تر به نظر می رسد. عیب چشم این دانش آموز را تشخیص دهید.  
ب) آیا ممکن است چشم دانش آموز از پشت عینک ریزتر به نظر برسد؟ اگر پاسخ مثبت است در این حالت عیب چشم این دانش آموز چیست؟

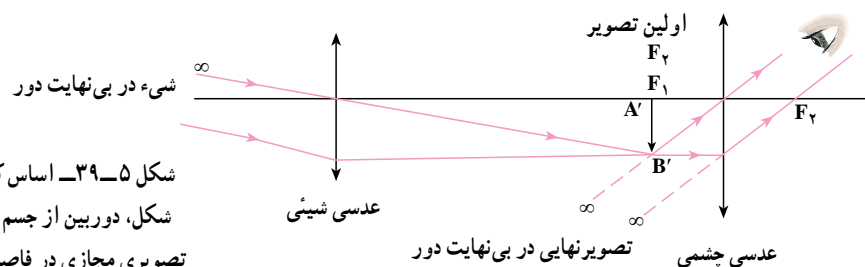
**میکروسکوپ:** ساختمان اصلی میکروسکوپ، از دو عدسی همگرا تشکیل شده است که در دو انتهای یک لوله کار گذاشته شده‌اند. محور اصلی دو عدسی بر یکدیگر منطبق است. فاصله کانونی عدسی اول ( $f_o$ ) که جسم در مقابل آن قرار می‌گیرد در حدود چند میلی‌متر است. به این عدسی، **عدسی شیئی** گفته می‌شود. فاصله کانونی عدسی دوم ( $f_e$ ) که چشم در پشت آن واقع می‌شود، در حدود چند سانتی‌متر است. این عدسی، **عدسی چشمی** نام دارد.

جسم‌های کوچک و روشن را در جایی خارج از فاصله کانونی، اما خیلی نزدیک به کانون عدسی شیئی قرار می‌دهند. در میکروسکوپ از جسم تصویری دیده می‌شود که از جسم بزرگ‌تر، معکوس و مجازی است. در شکل ۵-۳۸ طرز تشکیل تصویر در یک میکروسکوپ نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۸ طرز تشکیل تصویر در میکروسکوپ

**دوربین نجومی:** دوربین نجومی برای دیدن اجرام آسمانی و اجسام در فاصله‌های خیلی دور به کار می‌رود. یک نوع خاص و ساده آن، از دو عدسی همگرای هم محور درست شده است. فاصله کانونی عدسی شیئی آن بزرگ و در حدود یک متر است و فاصله کانونی عدسی چشمی آن، کوچک و در حدود یک سانتی‌متر است. در شکل ۵-۳۹ طرز تشکیل تصویر در این دوربین نشان داده شده است.



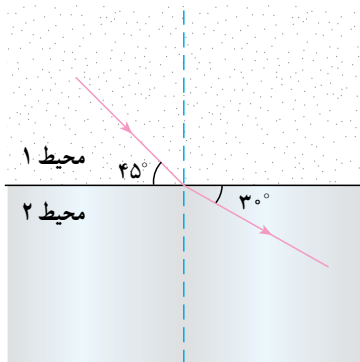
شکل ۵-۳۹ اساس کار دوربین نجومی. در این شکل، دوربین از جسم واقع در فاصله خیلی دور، تصویری مجازی در فاصله خیلی دور تشکیل می‌دهد.

اولین تصویر ( $A'B'$ ) در سطح کانونی عدسی شیئی تشکیل می‌شود. معمولاً دوربین را طوری تنظیم می‌کنند که کانون‌های دو عدسی تقریباً بر یکدیگر منطبق شود. آخرین تصویر در دوربین، مجازی و معکوس دیده می‌شود.

امروزه معمولاً دوربین‌های نجومی یا تلسکوپ‌هایی که با عدسی‌ها کار می‌کنند، برای استفاده‌های غیر حرفه‌ای ساخته می‌شوند. تلسکوپ‌های بزرگ مانند تلسکوپ هابل، پالومار و کِک تلسکوپ‌های آینه‌ای هستند که در آنها از بازتاب نور توسط آینه مقعر استفاده می‌شود (شکل ۴-۵).



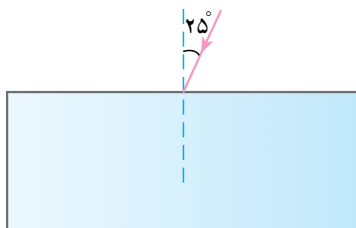
شکل ۴-۵- تلسکوپ کِک در هاوایی. در این تلسکوپ از بازتاب نور توسط تعدادی آینه مقعر استفاده می‌شود.



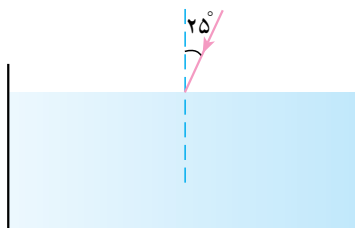
- ۱ شکل روبه‌رو مسیر نور را در دو محیط مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:
- الف) زاویه تابش و زاویه شکست چقدر است؟
- ب) سرعت نور در کدام محیط بیشتر است؟
- پ) زاویه انحراف را مشخص و مقدار آن را تعیین کنید.
- ت) ضریب شکست محیط ۲ چند برابر ضریب شکست محیط ۱ است؟

- ۲ در شکل‌های زیر پرتوهای تابش با زاویه تابش یکسان از هوا به سه محیط با ضریب شکست متفاوت تابیده است. با رسم شکل توضیح دهید،

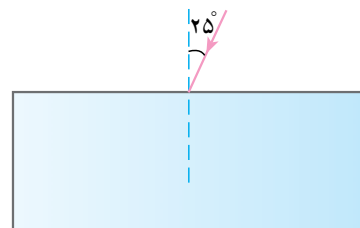
- الف) پرتوهای شکست در کدام محیط به خط عمود نزدیک‌تر است؟
- ب) سرعت نور در کدام محیط بیشتر است؟
- پ) زاویه انحراف در کدام محیط کمتر است؟



پ) الماس  $n_2 = 2/4$

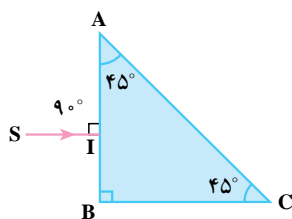


ب) آب  $n_2 = 1/33$



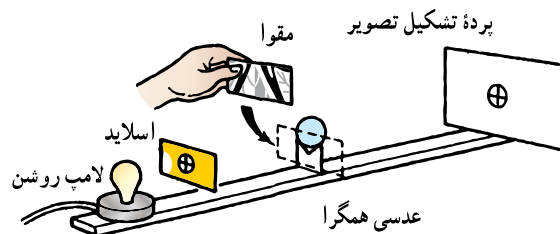
الف) شیشه  $n_1 = 1/5$

- ۳ در شکل روبه‌رو زاویه حد منشور ۴۲ است و پرتو SI عمود بر وجه AB تابیده است. مسیر نور را پس از ورود به منشور تا خارج شدن از آن رسم کنید.

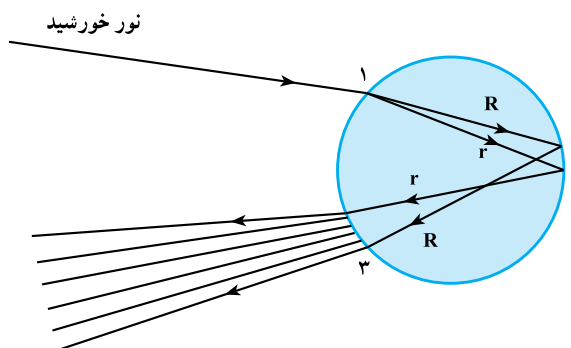


- ۴ الف) ظرفی (با بدنه غیرشفاف) را روی میز بگذارید و سکه‌ای را در کف آن قرار دهید. ب) در فاصله‌ای از میز بایستید که اگر قدری نزدیک‌تر شوید سکه دیده شود و به لیوان به دقت نگاه کنید. پ) در همان حال از یکی از دوستان خود بخواهید به آرامی درون ظرف آب بریزد. آنچه را که مشاهده می‌کنید و علت آن را توضیح دهید.

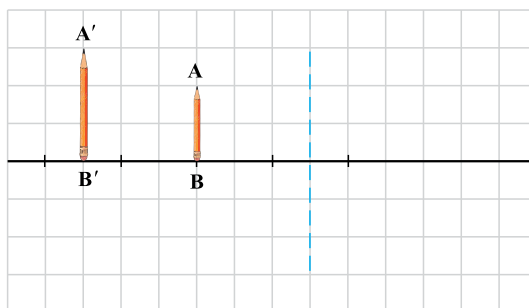
۵ در یک آزمایش، برای تشکیل تصویر حقیقی یک اسلاید، یک عدسی همگرا را بین اسلاید و پرده و در فاصله مناسبی از آن دو قرار می‌دهیم. لامپ روشنی را نیز پشت اسلاید می‌گذاریم. اگر با یک مقوای سیاه نیمی از سطح عدسی را بپوشانیم، چه تغییری در تصویر تشکیل شده روی پرده ایجاد می‌شود؟ توضیح دهید.



۶ شکل زیر، نقش یک قطره باران در تشکیل رنگین کمان را نشان می‌دهد. الف) برای دیدن رنگین کمان باید رو به خورشید ایستاد یا پشت به آن؟ ب) ترتیب نوارهای مختلف رنگی را که ناظر می‌بیند، از بالا به پایین روی این شکل مشخص نمایید. پ) در هر یک از نقطه‌های ۱، ۲ و ۳ کدام پدیده نوری (بازتابش یا شکست) رخ می‌دهد؟



۷ کدام نوع عدسی، از جسم AB در شکل زیر، تصویر بزرگ‌تر و مستقیم  $A'B'$  را ایجاد می‌کند؟ با رسم پرتوهای نور، شکل را کامل کنید.

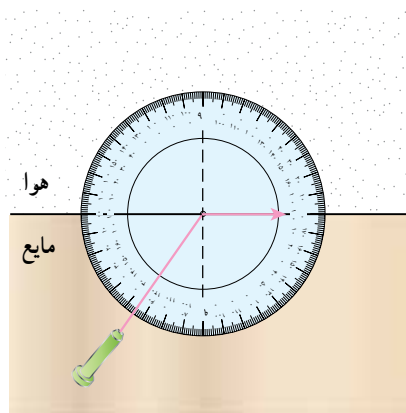


۱ برای تعیین ضریب شکست یک قطعه الماس، آزمایشی انجام گرفته است. اطلاعات مربوط به زاویه‌های تابش و شکست در جدول زیر آمده است:

|                |     |     |     |     |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| زاویه تابش (i) | ۳°  | ۵°  | ۷°  | ۸۹° |
| زاویه شکست (r) | ۱۲° | ۱۸° | ۲۳° | ۲۴° |

الف) ضریب شکست قطعه الماس تقریباً چقدر است؟

ب) سرعت نور در الماس تقریباً چند متر بر ثانیه است؟ سرعت نور در هوا (یا خلأ) برابر  $3 \times 10^8$  m/s است.



۲ برای تعیین زاویه حد یک مایع، آزمایش نشان داده شده در شکل روبه‌رو را انجام

می‌دهیم. با توجه به آزمایش به سؤال‌های زیر پاسخ دهید،

الف) زاویه حد مایع چقدر است؟

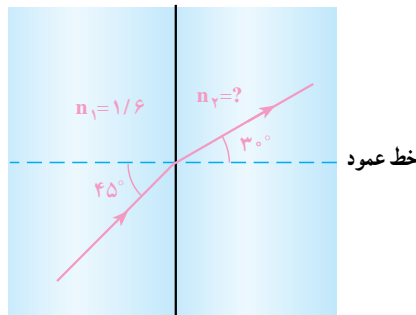
ب) ضریب شکست مایع چقدر است؟

پ) برای پرتوهایی که با زاویه تابش کوچک‌تر از زاویه حد به سطح جدایی مایع با هوا

می‌تابند، چه رخ می‌دهد؟

ت) برای پرتوهایی که با زاویه تابش بزرگ‌تر از زاویه حد به سطح جدایی مایع با هوا

می‌تابند، چه رخ می‌دهد؟

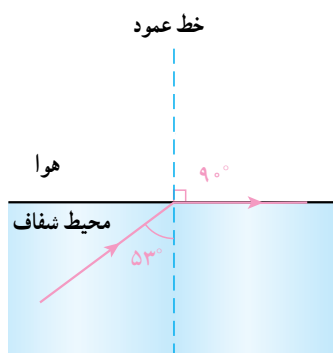


۳ با توجه به مسیر نور در دو محیط شفاف نشان داده شده در شکل روبه‌رو، ضریب

شکست محیط دوم ( $n_2$ ) چقدر است؟

۴ ضریب شکست الماس  $2/4$  و ضریب شکست یخ  $1/3$  است. سرعت انتشار نور

در الماس، چند برابر سرعت انتشار آن در یخ است؟



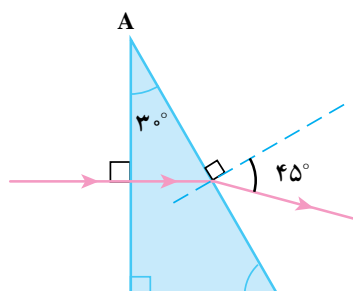
۵ با توجه به مسیر پرتو نور در شکل روبه‌رو،

الف) ضریب شکست محیط شفاف را به دست آورید.

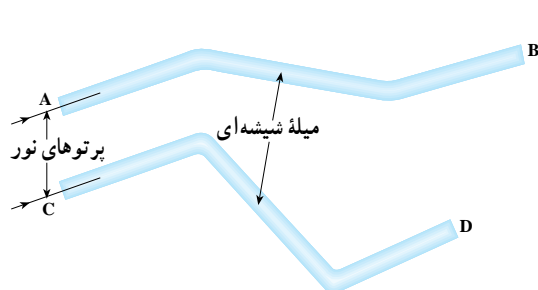
ب) اگر پرتو با زاویه تابش  $60^\circ$  بتابد، ادامه مسیر پرتو را رسم کنید.

پ) اگر پرتو نور با زاویه تابش  $45^\circ$  بتابد، ادامه مسیر پرتو را مشخص کنید.

۶ در یک آزمایش، توسط یک لیزر مدادی، پرتو نوری را مطابق شکل به یک منشور می‌تابانیم، مسیر پرتو در منشور رسم شده است. ضریب شکست منشور چقدر است؟



۷ سکه‌ای ته استخر پر از آبی قرار دارد. ناظری که عمود بر سطح آب به سکه نگاه می‌کند، سکه را در عمق  $2/4$  متری می‌بیند. عمق واقعی استخر چقدر است؟ ضریب شکست آب  $1/33$  است.



۸ شکل روبه‌رو، دو میلۀ شیشه‌ای هم‌جنس را که در هوا قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد. این دو میلۀ شبیه تارهای نوری هستند.

الف) پرتو نوری که از A وارد میلۀ شده است، به B می‌رسد، ولی پرتو نوری که از C وارد می‌شود به D نمی‌رسد. علت را توضیح دهید.

ب) مسیر پرتو نور را از A تا B رسم کنید.

ج) سرعت نور در خلأ  $3 \times 10^8$  m/s است. در مورد اختلاف بین این عدد و سرعت نور در تار بحث کنید.

۹ در آزمایشی با قرار دادن یک عدسی همگرا بین لامپ رشته‌ای و پرده، تصویر رشته‌ی ملتهب لامپ روی پرده تشکیل می‌شود. فاصله‌ی عدسی تا رشته‌ی ملتهب  $12$  cm و طول تصویر  $11$  برابر طول رشته است.

الف) فاصله‌ی کانونی عدسی چند سانتی‌متر است؟

ب) ویژگی‌های تصویر را بنویسید.

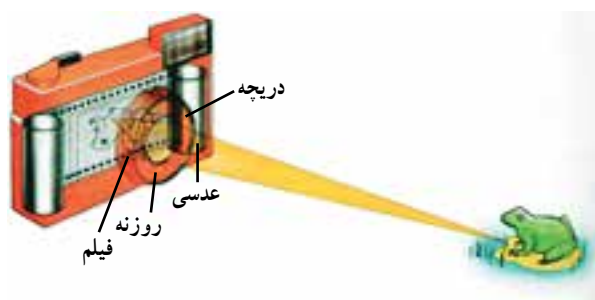
پ) طرح‌واره‌ای از این آزمایش رسم کنید و با رسم مسیر پرتوهای نور، محل جسم و تصویر را روی طرح‌واره مشخص کنید.

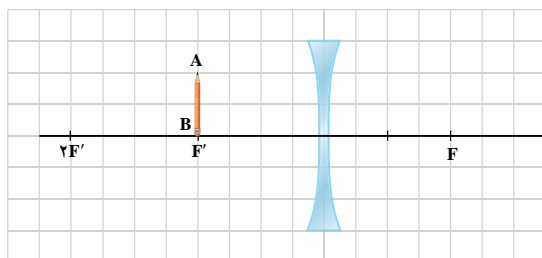
۱۰ یک عدسی از جسمی که در فاصله‌ی  $20$  سانتی‌متری آن است، تصویری حقیقی و وارونه نسبت به جسم تشکیل می‌دهد. بزرگنمایی عدسی در این حالت  $4$  است. فاصله‌ی کانونی عدسی چقدر است؟

۱۱ شکل روبه‌رو یک دوربین عکاسی را نشان می‌دهد که فاصله‌ی فیلم (پرده) از عدسی آن  $5$  cm است. اگر فاصله‌ی جسم از عدسی  $100$  cm باشد تصویر واضحی از آن روی فیلم ایجاد می‌شود.

الف) بزرگنمایی عدسی دوربین در این حالت چقدر است؟

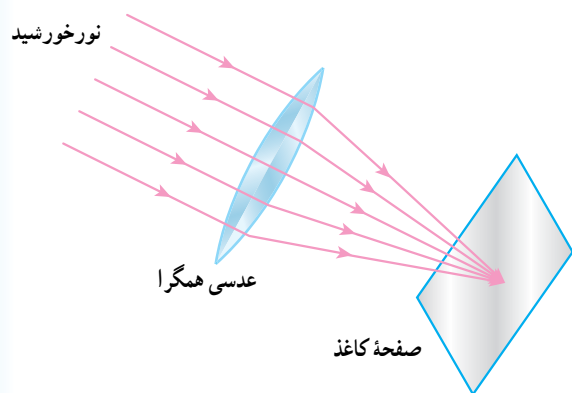
ب) فاصله‌ی کانونی عدسی و توان آن را حساب کنید.





۱۲ مطابق شکل روبه‌رو جسمی در فاصله  $20\text{ cm}$  از یک عدسی واگرا قرار دارد. فاصله کانونی عدسی نیز  $20\text{ cm}$  است. فاصله تصویر تا عدسی را حساب و سپس محل تصویر را با رسم پرتوها تعیین کنید.

۱۳ جسمی را از فاصله خیلی دور به نزدیکی یک عدسی واگرا می‌آوریم. در نتیجه، فاصله تصویر از عدسی  $5\text{ cm}$  کاهش می‌یابد. اگر فاصله کانونی عدسی  $10\text{ cm}$  باشد، فاصله جسم از عدسی، وقتی نزدیک عدسی آمده چقدر است؟



۱۴ مطابق شکل عدسی همگرایی را مقابل نور خورشید می‌گیریم. لکه کوچک درخشانی در فاصله  $8$  سانتی متری عدسی روی صفحه کاغذ تشکیل می‌شود. توان عدسی چقدر است؟

۱۵ توان یک عدسی  $5\text{ d}$  است.

الف) نوع عدسی را تعیین و فاصله کانونی آن را حساب کنید.

ب) جسمی را در فاصله  $10$  سانتی متری این عدسی قرار می‌دهیم. فاصله تصویر از جسم را حساب کنید.

۱۶ الف) توان عدسی همگرایی  $10$  دیوپتر است. جسمی به طول  $1/5\text{ cm}$  را به فاصله  $5$  سانتی متری این عدسی قرار می‌دهیم.

الف) محل تصویر، طول تصویر و بزرگ‌نمایی عدسی را به دست آورید.

ب) با انتخاب مقیاس مناسب شکل آن را روی کاغذ شطرنجی رسم کنید.

پ) فاصله جسم از تصویر را تعیین کنید.

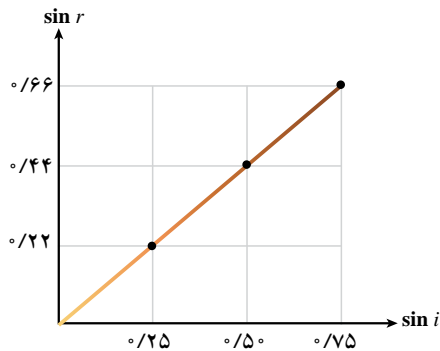
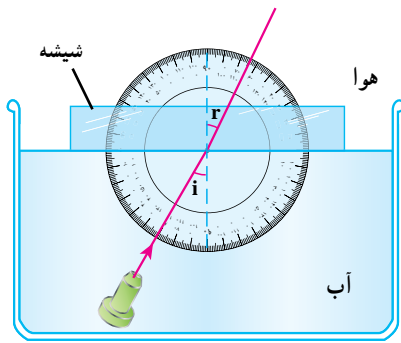
۱۷ جسمی به طول  $4\text{ cm}$  در فاصله  $24$  سانتی متری عدسی واگرایی به فاصله کانونی  $8\text{ cm}$  قرار دارد.

الف) فاصله تصویر از عدسی و طول تصویر را به دست آورید.

ب) توان عدسی را محاسبه کنید.

پ) شکل را با مقیاس  $\frac{1}{4}$  روی صفحه شطرنجی رسم کنید (یعنی هر  $1\text{ cm}$  روی صفحه شطرنجی را معادل  $4\text{ cm}$  در واقعیت بگیرید).



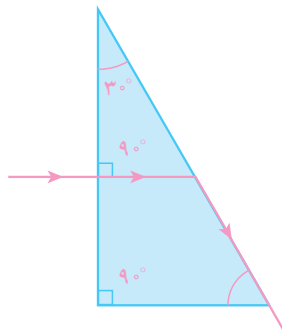


۱ در آزمایشی، با استفاده از یک لیزر مدادی، پرتو نور را تحت زاویه‌های تابش مختلف از درون آب به داخل یک تیغه شیشه‌ای تابانده‌ایم و با اندازه‌گیری زاویه‌های تابش و شکست توسط نقاله و با انجام محاسبات لازم، نمودار  $\sin i$  بر حسب  $\sin r$  را رسم کرده‌ایم.

الف) با استفاده از نمودار، نسبت ضریب شکست شیشه به ضریب شکست آب را حساب کنید.

ب) ضریب شکست شیشه  $n = 1.5$  است. ضریب شکست آب چقدر است؟

پ) نسبت سرعت نور در آب به سرعت نور در شیشه چقدر است؟

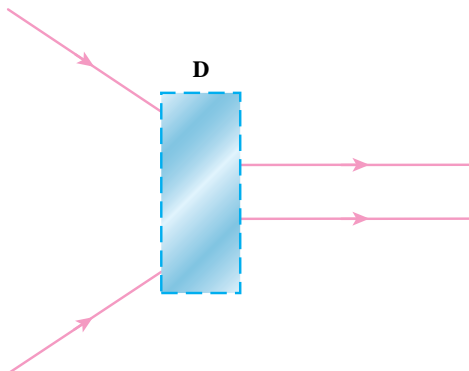


۲ مسیر پرتو نوری در یک منشور مطابق شکل روبه‌رو است. ضریب شکست منشور چقدر است؟



۳ عدسی یک دوربین عکاسی ساده برای اجسام دور تنظیم شده است و فاصله آن از فیلم ۴۰ mm است. اگر بخواهیم با این دوربین از جسمی که در فاصله ۸۴ سانتی متری عدسی است عکس واضحی بگیریم، باید عدسی را چند میلی متر جابه‌جا کنیم؟

۴ فاصله جسمی از تصویر آن در یک عدسی همگرا، ۲۲۵ cm است. اگر بزرگ‌نمایی عدسی در این حالت ۲ و تصویر نسبت به جسم وارونه باشد،  
الف) فاصله جسم از عدسی و فاصله تصویر از عدسی را بیابید.  
ب) توان عدسی چقدر است؟



۵ در شکل روبه‌رو دستگاه D کدام یک از وسیله‌های نوری زیر می‌تواند باشد؟ توضیح دهید.

الف) یک منشور ب) یک عدسی همگرا پ) یک عدسی واگرا

۶ فاصله کانونی عدسی شیشه‌ای برای نور آبی و نور قرمز چه تفاوتی می‌کند؟ این موضوع را برای عدسی‌های همگرا و واگرا جداگانه بررسی کنید.

## جدول مثلثاتی

| زاویه<br>بر حسب درجه | زاویه<br>بر حسب رادیان | سینوس | کسینوس | تانژانت | زاویه<br>بر حسب درجه | زاویه<br>بر حسب رادیان | سینوس | کسینوس | تانژانت |
|----------------------|------------------------|-------|--------|---------|----------------------|------------------------|-------|--------|---------|
| 0°                   | 0.000                  | 0.000 | 1.000  | 0.000   |                      |                        |       |        |         |
| 1°                   | 0.017                  | 0.017 | 1.000  | 0.017   | 46°                  | 0.803                  | 0.719 | 0.695  | 1.036   |
| 2°                   | 0.035                  | 0.035 | 0.999  | 0.035   | 47°                  | 0.820                  | 0.731 | 0.682  | 1.072   |
| 3°                   | 0.052                  | 0.052 | 0.999  | 0.052   | 48°                  | 0.838                  | 0.743 | 0.669  | 1.111   |
| 4°                   | 0.070                  | 0.070 | 0.998  | 0.070   | 49°                  | 0.855                  | 0.755 | 0.656  | 1.150   |
| 5°                   | 0.087                  | 0.087 | 0.996  | 0.087   | 50°                  | 0.873                  | 0.766 | 0.643  | 1.192   |
| 6°                   | 0.105                  | 0.105 | 0.995  | 0.105   | 51°                  | 0.890                  | 0.777 | 0.629  | 1.235   |
| 7°                   | 0.122                  | 0.122 | 0.993  | 0.123   | 52°                  | 0.908                  | 0.788 | 0.616  | 1.280   |
| 8°                   | 0.140                  | 0.139 | 0.990  | 0.141   | 53°                  | 0.925                  | 0.799 | 0.602  | 1.327   |
| 9°                   | 0.157                  | 0.156 | 0.988  | 0.158   | 54°                  | 0.942                  | 0.809 | 0.588  | 1.376   |
| 10°                  | 0.175                  | 0.174 | 0.985  | 0.176   | 55°                  | 0.960                  | 0.819 | 0.574  | 1.428   |
| 11°                  | 0.192                  | 0.191 | 0.982  | 0.194   | 56°                  | 0.977                  | 0.829 | 0.559  | 1.483   |
| 12°                  | 0.209                  | 0.208 | 0.978  | 0.213   | 57°                  | 0.995                  | 0.839 | 0.545  | 1.540   |
| 13°                  | 0.227                  | 0.225 | 0.974  | 0.231   | 58°                  | 1.012                  | 0.848 | 0.530  | 1.600   |
| 14°                  | 0.244                  | 0.242 | 0.970  | 0.249   | 59°                  | 1.030                  | 0.857 | 0.515  | 1.664   |
| 15°                  | 0.262                  | 0.259 | 0.966  | 0.268   | 60°                  | 1.047                  | 0.866 | 0.500  | 1.732   |
| 16°                  | 0.279                  | 0.276 | 0.961  | 0.287   | 61°                  | 1.065                  | 0.875 | 0.485  | 1.804   |
| 17°                  | 0.297                  | 0.292 | 0.956  | 0.306   | 62°                  | 1.082                  | 0.883 | 0.469  | 1.881   |
| 18°                  | 0.314                  | 0.309 | 0.951  | 0.325   | 63°                  | 1.100                  | 0.891 | 0.454  | 1.963   |
| 19°                  | 0.332                  | 0.326 | 0.946  | 0.344   | 64°                  | 1.117                  | 0.899 | 0.438  | 2.050   |
| 20°                  | 0.349                  | 0.342 | 0.940  | 0.364   | 65°                  | 1.134                  | 0.906 | 0.423  | 2.145   |
| 21°                  | 0.367                  | 0.358 | 0.934  | 0.384   | 66°                  | 1.152                  | 0.914 | 0.407  | 2.246   |
| 22°                  | 0.384                  | 0.375 | 0.927  | 0.404   | 67°                  | 1.169                  | 0.921 | 0.391  | 2.356   |
| 23°                  | 0.401                  | 0.391 | 0.921  | 0.424   | 68°                  | 1.187                  | 0.927 | 0.375  | 2.475   |
| 24°                  | 0.419                  | 0.407 | 0.914  | 0.445   | 69°                  | 1.204                  | 0.934 | 0.358  | 2.605   |
| 25°                  | 0.436                  | 0.423 | 0.906  | 0.466   | 70°                  | 1.222                  | 0.940 | 0.342  | 2.747   |
| 26°                  | 0.454                  | 0.438 | 0.899  | 0.488   | 71°                  | 1.239                  | 0.946 | 0.326  | 2.904   |
| 27°                  | 0.471                  | 0.454 | 0.891  | 0.510   | 72°                  | 1.257                  | 0.951 | 0.309  | 3.078   |
| 28°                  | 0.489                  | 0.469 | 0.883  | 0.532   | 73°                  | 1.274                  | 0.956 | 0.292  | 3.271   |
| 29°                  | 0.506                  | 0.485 | 0.875  | 0.554   | 74°                  | 1.292                  | 0.961 | 0.276  | 3.487   |
| 30°                  | 0.524                  | 0.500 | 0.866  | 0.577   | 75°                  | 1.309                  | 0.966 | 0.259  | 3.732   |
| 31°                  | 0.541                  | 0.515 | 0.857  | 0.601   | 76°                  | 1.326                  | 0.970 | 0.242  | 4.011   |
| 32°                  | 0.559                  | 0.530 | 0.848  | 0.625   | 77°                  | 1.344                  | 0.974 | 0.225  | 4.331   |
| 33°                  | 0.576                  | 0.545 | 0.839  | 0.649   | 78°                  | 1.361                  | 0.978 | 0.208  | 4.705   |
| 34°                  | 0.593                  | 0.559 | 0.829  | 0.675   | 79°                  | 1.379                  | 0.982 | 0.191  | 5.145   |
| 35°                  | 0.611                  | 0.574 | 0.819  | 0.700   | 80°                  | 1.396                  | 0.985 | 0.174  | 5.671   |
| 36°                  | 0.628                  | 0.588 | 0.809  | 0.727   | 81°                  | 1.414                  | 0.988 | 0.156  | 6.314   |
| 37°                  | 0.646                  | 0.602 | 0.799  | 0.754   | 82°                  | 1.431                  | 0.990 | 0.139  | 7.115   |
| 38°                  | 0.663                  | 0.616 | 0.788  | 0.781   | 83°                  | 1.449                  | 0.993 | 0.122  | 8.144   |
| 39°                  | 0.681                  | 0.629 | 0.777  | 0.810   | 84°                  | 1.466                  | 0.995 | 0.105  | 9.514   |
| 40°                  | 0.698                  | 0.643 | 0.766  | 0.839   | 85°                  | 1.484                  | 0.996 | 0.087  | 11.43   |
| 41°                  | 0.716                  | 0.656 | 0.755  | 0.869   | 86°                  | 1.501                  | 0.998 | 0.070  | 14.301  |
| 42°                  | 0.733                  | 0.669 | 0.743  | 0.900   | 87°                  | 1.518                  | 0.999 | 0.052  | 19.081  |
| 43°                  | 0.750                  | 0.682 | 0.731  | 0.933   | 88°                  | 1.536                  | 0.999 | 0.035  | 28.636  |
| 44°                  | 0.768                  | 0.695 | 0.719  | 0.966   | 89°                  | 1.553                  | 1.000 | 0.017  | 57.290  |
| 45°                  | 0.785                  | 0.707 | 0.707  | 1.000   | 90°                  | 1.571                  | 1.000 | 0.000  | ∞       |

## واژه نامه فارسی - انگلیسی

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Charging by Induction  | باردارکردن از طریق القا |
| Charging by Contact    | باردارکردن از طریق تماس |
| Charging by Rubbing    | باردارکردن از طریق مالش |
| Unlike Charges         | بارهای ناهمنام          |
| Like Charges           | بارهای همنام            |
| Beam                   | باریکه                  |
| Reflection             | بازتابش                 |
| Internal Reflection    | بازتابش داخلی           |
| Total Reflection       | بازتابش کلی             |
| Regular Reflection     | بازتابش منظم            |
| Irregular Reflection   | بازتابش نامنظم          |
| Lightning Conductor    | برق گیر (رسانای آذرخش)  |
| Magnification (Linear) | بزرگ نمایی (خطی)        |
| Maximum                | بیشینه، حداکثر          |

## پ

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| Dispersion    | پاشیدگی            |
| Conservation  | پایستگی            |
| Potential     | پتانسیل            |
| Ray           | پرتو               |
| Ray Box       | پرتوافکن           |
| Reflected Ray | پرتوی بازتابش      |
| Incident Ray  | پرتوی تابش (فرودی) |
| Refracted Ray | پرتوی شکست         |
| Periscope     | پریسکوپ            |
| Cell          | پیل                |

## ت

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| Incidence          | تابش (فرودی)   |
| Optical Fiber      | تار نوری       |
| Electric Discharge | تخلیه الکتریکی |
| Image              | تصویر          |
| Real Image         | تصویر حقیقی    |

## آ

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| Astigmatism    | آستیگماتیسم     |
| Ammeter        | آمپرسنج         |
| Pendulum       | آونگ            |
| Rate           | آهنگ            |
| Flow Rate      | آهنگ شارش       |
| Plane Mirror   | آینه تخت        |
| Curved Mirror  | آینه خمیده      |
| Concave Mirror | آینه کاو (مقعر) |
| Convex Mirror  | آینه کوژ (محدب) |

## ا

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Atom                 | اتم                 |
| Potential Difference | اختلاف پتانسیل      |
| Expansion            | انبساط              |
| Propagation          | انتشار              |
| Transfer             | انتقال              |
| Solidification       | انجماد              |
| Deviation            | انحراف              |
| Wind Energy          | انرژی بادی          |
| Potential Energy     | انرژی پتانسیل       |
| Kinetic Energy       | انرژی جنبشی         |
| Solar Energy         | انرژی خورشیدی       |
| Internal Energy      | انرژی درونی         |
| Hydroelectric Energy | انرژی هیدروالکتریکی |
| Electrostatics       | الکتروستاتیک        |
| Electroscope         | الکتروسکوپ          |
| Magnitude            | اندازه (بزرگی)      |

## ب

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| Battery         | باتری        |
| Charge          | بار          |
| Electric Charge | بار الکتریکی |

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Parallel Beam          | دسته پرتو موازی |
| Divergent Beam         | دسته پرتو واگرا |
| Convergent Beam        | دسته پرتو همگرا |
| Temperature            | دما             |
| Thermometer            | دماسنج          |
| Clinical Thermometer   | دماسنج پزشکی    |
| Camera                 | دوربین عکاسی    |
| Astronomical Telescope | دوربین نجومی    |
| Far Sightedness        | دوربینی         |
| Biconcave              | دوکاو (عدسی)    |
| Biconvex               | دوکوژ (عدسی)    |

### ذ

|                  |         |
|------------------|---------|
| Magnifying Glass | ذره بین |
|------------------|---------|

### ر

|              |            |
|--------------|------------|
| Repulsion    | رانش       |
| Conductor    | رسانا      |
| Conductivity | رسانایی    |
| Conduction   | رسانش      |
| Rain Bow     | رنگین کمان |

### ز

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Angle               | زاویه      |
| Critical Angle      | زاویه حد   |
| Angle of Refraction | زاویه شکست |

### ژ

|      |     |
|------|-----|
| Joul | ژول |
|------|-----|

### س

|            |         |
|------------|---------|
| Mechanism  | سازوکار |
| Stationary | ساکن    |
| Shadow     | سایه    |
| Mirage     | سراب    |
| Velocity   | سرعت    |

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Direct Image        | تصویر مستقیم |
| Virtual Image       | تصویر مجازی  |
| Inverted Image      | تصویر معکوس  |
| Accomodation        | تطابق        |
| Equilibrium         | تبادل        |
| Thermal Equilibrium | تبادل گرمایی |
| Definition          | تعریف        |
| Power               | توان         |

### ج

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Solid            | جامد           |
| Direction        | جهت            |
| Mass             | جرم            |
| Electric Current | جریان الکتریکی |
| Body             | جسم            |

### چ

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| Source          | چشمه، منبع   |
| Extended Source | چشمه گسترده  |
| Point Source    | چشمه نقطه‌ای |
| Light Source    | چشمه نور     |

### ح

|        |      |
|--------|------|
| Volume | حجم  |
| Motion | حرکت |

### خ

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| Normal                            | خط عمود |
| Vacuum                            | خلأ     |
| خورشید گرفتگی (کسوف)              |         |
| Eclipse of the Sun, Solar Eclipse |         |

### د

|        |           |
|--------|-----------|
| Degree | درجه      |
| System | دستگاه    |
| Beam   | دسته پرتو |

## ق

|     |       |
|-----|-------|
| Law | قانون |
|-----|-------|

## ک

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| Focus           | کانون        |
| Concave         | کاو (مقعر)   |
| Plano – Concave | کاو – تخت    |
| Opaque          | کدر          |
| Elastic         | کشسانی       |
| Quantity        | کمیت         |
| Minimum         | کمینه، حداقل |
| Convex          | کوژ          |
| Plano – Convex  | کوژ – تخت    |

## گ

|               |            |
|---------------|------------|
| Heat          | گرما       |
| Specific Heat | گرمای ویژه |

## م

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Eclips of the Moon, Lunar Eclipse | ماه گرفتگی (خسوف)       |
| Liquid                            | مایع                    |
| Principal Axis                    | محور اصلی               |
| Electric Circuit                  | مدار الکتریکی           |
| Center of Curvature               | مرکز انحنا              |
| Optical Center                    | مرکز نوری               |
| Rectilinear                       | مستقیم الخط             |
| Path                              | مسیر                    |
| Resistor                          | مقاومت                  |
| Energy Sources                    | منابع انرژی             |
| Renewable Energy Sources          | منابع انرژی تجدیدپذیر   |
| Non – Renewable Energy Sources    | منابع انرژی تجدیدناپذیر |
| Prism                             | منشور                   |
| Microscope                        | میکروسکوپ               |

## ن

|                  |            |
|------------------|------------|
| Near Sightedness | نزدیک بینی |
|------------------|------------|

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Umbra                     | سایه کامل        |
| Shale Stone               | سنگ های رُسی     |
| Vegetable Fuels (Biomass) | سوخت های گیاهی   |
| Fossil Fuels              | سوخت های فسیلی   |
| Nuclear Fuels             | سوخت های هسته ای |

## ش

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Flow                    | شارش       |
| Retina                  | شبکیه      |
| Acceleration of Gravity | شتاب گرانش |
| Radius                  | شعاع       |
| Transparent             | شفاف       |
| Refraction              | شکست       |
| Object                  | شیء        |

## ض

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Refractive Index | ضریب شکست |
|------------------|-----------|

## ط

|          |     |
|----------|-----|
| Length   | طول |
| Spectrum | طیف |

## ع

|                |            |
|----------------|------------|
| Insulator      | عایق       |
| Insulation     | عایق بندی  |
| Lens           | عدسی       |
| Eyepiece       | عدسی چشمی  |
| Objective Lens | عدسی شیئی  |
| Spherical Lens | عدسی کروی  |
| Meniscus Lens  | عدسی هلالی |
| Apparent Depth | عمق ظاهری  |
| Real Depth     | عمق واقعی  |

## ف

|              |              |
|--------------|--------------|
| Focal Length | فاصله کانونی |
| Physics      | فیزیک        |

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Divergent         | واگرا     |
| Weight            | وزن       |
| Equilibrium State | وضع تعادل |
| Voltmeter         | ولت سنج   |

### ه

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Nucleus             | هسته اتم    |
| Divergent Meniscus  | هلالی واگرا |
| Convergent Meniscus | هلالی همگرا |

### ی

|      |            |
|------|------------|
| Unit | یکا (واحد) |
|------|------------|

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| Theory                | نظریه            |
| Upper Fixed Point     | نقطه ثابت بالایی |
| Lower Fixed Point     | نقطه ثابت پایینی |
| Light                 | نور              |
| Projector             | نورافکن          |
| Visible Light         | نور مرئی         |
| Geometrical Optics    | نورشناسی هندسی   |
| Force                 | نیرو             |
| Power Station (Plant) | نیروگاه          |
| Penumbra              | نیم سایه         |

### و

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| Unit              | واحد (یکا)   |
| Lateral Inversion | وارونی جانبی |

## فهرست مراجع

### منابع فارسی

- ۱- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحتی مروستی، چاپ اول ۱۳۸۹، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۲- مبانی فیزیک (جلد اول)، ویرایش نهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیگ و پرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۰، انتشارات آراکس.
- ۳- درک فیزیک با رویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمه روح الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.
- ۴- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمد هادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵- دوره درسی فیزیک (جلد اول) گ.س. لندسبرگ، ترجمه لطیف کاشیگر و دیگران، چاپ اول، ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- اصول فیزیک (جلد اول)، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک مفهومی، ویرایش دهم، هیوئیت، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک پایه، ویرایش سوم، بلت، ترجمه محمد خرمی و ناصر مقبلی و مهران اخباریفر، چاپ پنجم، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.
- ۹- دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمد ابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۱۰- نمایش هیجان انگیز فیزیک، ویرایش دوم، پرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری نژاد، چاپ اول ۱۳۹۱، انتشارات آراکس.

### منابع انگلیسی

1. Mc Graw Hill Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw Hill.
2. Holt Physics, Serway and Faughn, 1999, Holt Rinehart and Winston.
3. Physics, Giambattista and Richardson, Second Edition, 2008, MC Graw Hill.
4. University Physics, Bauer and westfall, 2011, MC Graw Hill.
5. Physics, Eugene Heacht, Second Edition, 1997, Brooks / Cole Publishing company.

6. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison Wesley.
  7. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.
  8. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice Hall International.
  9. Principles of Physics, Frank J. Blatt, 1989, Allyn and Bacon.
- تصویرهای شروع فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.





معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظرات اصلاحی خود را درباره مطالب

این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email)

talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر تألیف کتاب های درسی ابتدایی متوسطه نظری