



وزارت معارف

معینیت انکشاف نصاب تعلیمی و تربیة معلم  
ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی  
و تألیف کتب درسی

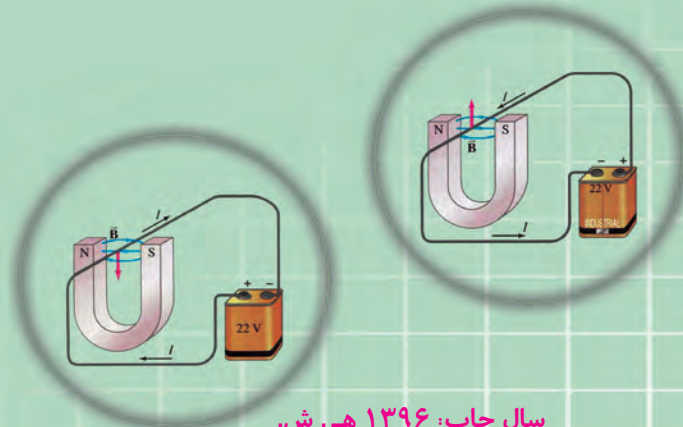


فزیک  
صنف دهم

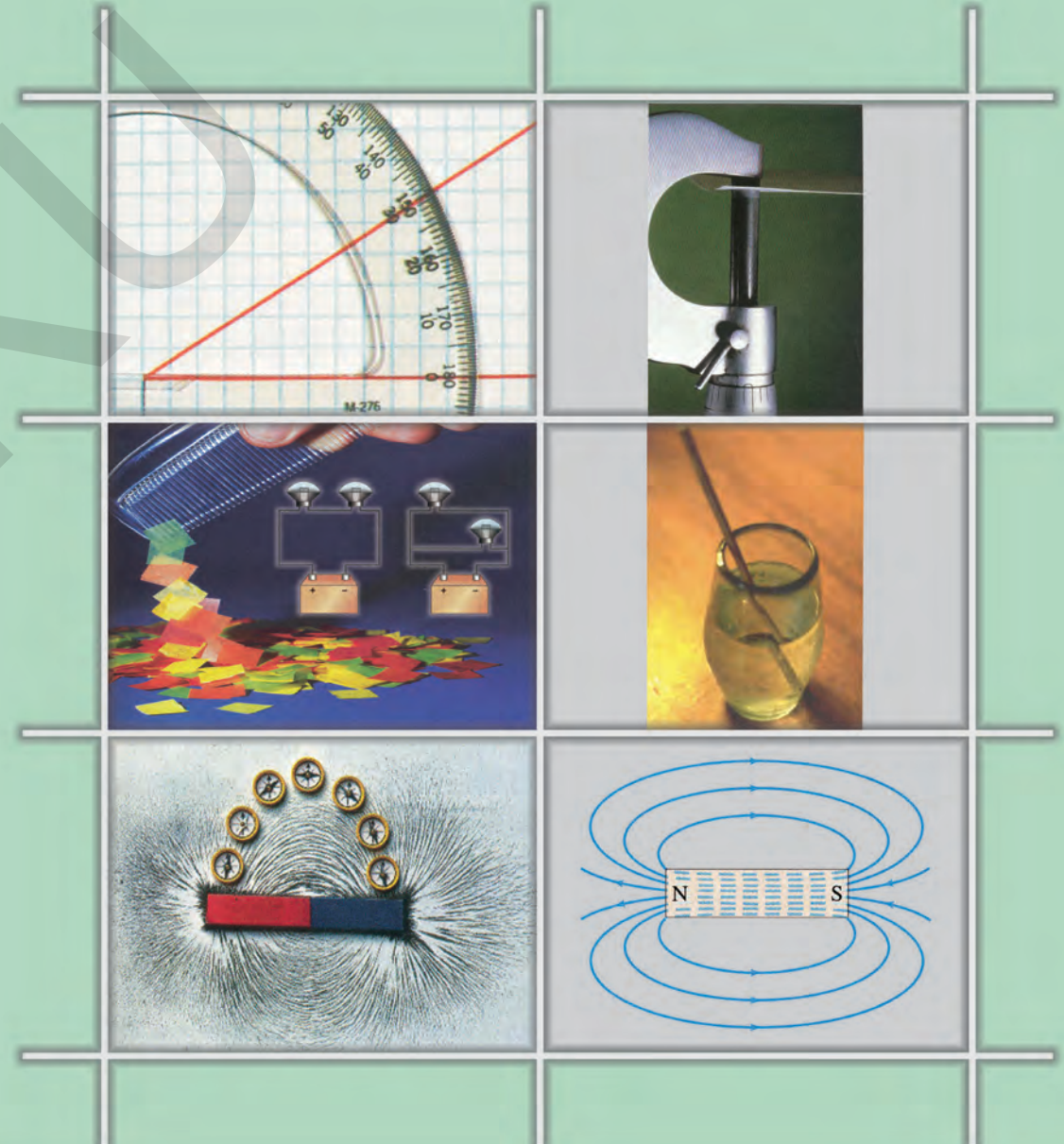
کتاب های درسی متعلق به وزارت معارف بوده خرید و فروش آن  
جداً ممنوع است. با متخلفین برخورد قانونی صورت می گیرد.

# فزیک

صنف دهم



سال چاپ: ۱۳۹۶ ه. ش.





## سرود ملی

دا عزت د هر افغان دی  
هر بچی یې قهرمان دی  
د بلوڅو د ازبکو  
د ترکمنو د تاجکو  
پامیریان، نورستانیان  
هم ایماق، هم پشه پان  
لکه لمر پر شنه آسمان  
لکه زړه وي جاویدان  
وایوالله اکبر وایوالله اکبر

دا وطن افغانستان دی  
کور د سولې کور د تورې  
دا وطن د ټولو کور دی  
د پښتون او هزاره وو  
ورسره عرب، گوجر دي  
براهوي دي، قزلباش دي  
دا هیواد به تل ځلیري  
په سینه کې د آسیا به  
نوم د حق مودی رهبر

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت معارف

معینیت انکشاف نصاب تعلیمی و تربیة معلم  
ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی  
و تألیف کتب درسی

فزیک

*physics*

صنف دهم

سال چاپ: ۱۳۹۶ ه. ش.

الف

### **مؤلفان:**

- پوهنوال کریم الله استاد دانشکده ساینس پوهنتون کابل
- سرمؤلف رابعه منصور، عضو علمی ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی
- مؤلف ماهره ناصری، عضو علمی ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

### **ایدیت علمی و مسلکی:**

- سرمؤلف گل احمد ساغری، عضو علمی ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

### **ایدیت زبانی:**

- ظهورالله ظهوری متخصص پروژه تألیف کتب درسی ریاست انکشاف نصاب تعلیمی

### **کمیته دینی، سیاسی و فرهنگی:**

- حبیب الله راحل مشاور وزارت معارف در امور ریاست انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی
- محمد آصف کوچی، متخصص پروژه تألیف کتب درسی ریاست انکشاف نصاب تعلیمی

### **کمیته نظارت:**

- دکتور اسدالله محقق معین نصاب تعلیمی، تربیه معلم و مرکز ساینس
- دکتور شیرعلی ظریفی مسؤول پروژه انکشاف نصاب تعلیمی
- سرمؤلف عبدالظاهر گلستانی رئیس عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

**طرح و دیزاین:** عمر عبدالله حیدری، حمیدالله غفاری و خالد هوتک

**تنظیم امور چاپ:** محمد کبیر حقمل رئیس نشرات و اطلاعات وزارت معارف



## بسم الله الرحمن الرحيم

### پیام وزیر معارف

سپاس بی کران آفریدگاری را که انسان را در احسن تقویم آفرید و او را قدرت بیان بخشید و به زیور علم و اندیشه آراست و درود بی پایان بر پیامبر مکرم اسلام حضرت محمد مصطفی ﷺ که معلم بزرگ انسانیت است و پیام آور رحمت و هدایت و روشنایی.

تعلیم و تربیت نقطه آغاز هر تحول و سنگ بنای توسعه در هر جامعه است. هدف اصلی تعلیم و تربیت به فعلیت رساندن نیروهای بالقوه انسان و شگوفای ساختن استعدادهای درونی وی است.

کتاب درسی یکی از ارکان مهم در فرایند تعلیم و تربیت محسوب می شود که همگام با تحولات و پیشرفت های علمی نوین و مطابق با نیازمندی های جامعه تهیه و تألیف می گردد و باید دارای ظرفیت و ظرفیتی باشد که بتواند آموزه های دینی و اخلاقی را توأم با فرآورده های علوم جدید با میتوذهای نوین به شاگردان منتقل کند.

کتابی که اکنون در اختیار شما قرار دارد، بر اساس همین ویژه گی ها تهیه و تألیف شده است. سعی وزارت معارف همواره بر این بوده که نصاب تعلیمی و کتب درسی معارف کشور، متکی بر مبانی تعلیم و تربیت اسلامی و حفظ هویت ملی، مطابق با معیارهای علمی و روش های تربیتی نوین بوده، استعدادهای دانش آموزان را در همه زمینه های اخلاقی و علمی شگوفای گرداند و قدرت تفکر، ابتکار و حس جستجوگری را در آنها تقویت بخشد. ترویج فرهنگ گفتگو و رواداری، تقویت حس وطن دوستی، مهربانی، گذشت و همبستگی از خواست های دیگر وزارت معارف است که باید در کتب درسی متبلور باشد.

کتاب های درسی بدون داشتن معلم خوب و مسلکی نمی توانند اهداف مورد نظر را بر آورده سازند. معلم یکی از ارکان مهم تعلیم و تربیت و مجری برنامه های آموزشی و تربیتی است. از معلمان و آموزگاران خوب، متعهد و دلسوز کشورم که ستیزه با سیاهی و نادانی را پیشه خود ساخته اند، صمیمانه آرزومندم که با تطبیق دقیق و مخلصانه نصاب تعلیمی، کودکان و جوانان میهن را به سوی فتح قله های رفیع دانش، اخلاق و معنویت رهنمون گردند.

کامیابی نظام آموزشی کشور بدون همکاری جدی مردم غیر ممکن است. ازین رو از همه اقشار و افراد ملت شریف افغانستان، به خصوص از خانواده ها و اولیای محترم شاگردان خواهمشندم که از هیچ گونه همکاری در جهت تحقق اهداف معارف دریغ نوزند. هم چنان از همه نویسندگان، دانشمندان، متخصصان تعلیم و تربیت و اولیای محترم شاگردان تقاضا می شود که با ارایه نظریات و پیشنهاد های سالم و نقدهای سازنده خود وزارت معارف را در بهبود هر چه بیش تر کتاب های درسی همکاری نمایند.

لازم می دانم از تمام مؤلفان دانشمند و کارمندان اداری و فنی وزارت معارف که در تهیه، تألیف، طبع و توزیع این کتاب زحمت کشیده اند و از همه نهادهای ملی و بین المللی که در زمینه چاپ و توزیع کتب درسی همکاری نموده اند، قدردانی و تشکر نمایم.

در اخیر از خداوند منان استدعا دارم که به لطف بی پایان خود، ما را در تحقق آرمان های مقدس معارف یاری رساند. إنه سمیع قریب مجیب.

دکتور اسدالله حنیف بلخی  
وزیر معارف

## پیشگفتار،

عصر ما عصر انکشافات و تحولات سریع ساینس و تکنالوژی است و بر طبق تخمین دانشمندان، در سالیان بعد حجم اطلاعات علمی حتا در هر چند ماه دو برابر خواهد شد. واضح است که همگام با این تحولات، شیوه‌های زنده گی ما و نیازهای نسل جوان فردای ما، از جمله شیوه‌های آموزش علوم (فزیک) نیز در تغییر خواهد بود. در این شیوه‌ها تأکید بر آن است تا شاگردان به آسانی و به‌طور سریع بیاموزند و بتوانند مهارت‌های لازم را در مراحل آموزش و حل مسأله‌ها به کار برند.

در این کتاب درسی سعی به عمل آمده است تا محتویات آن بر اساس روش آموزش فعال تألیف گردد. سه هدف دانشی، مهارتی و ذهنیتی در متن هر درس در محراق توجه مؤلفین قرار داشته و افزون بر آن حجم عناوین و محتویات کتاب بر مبنای پالیسی‌های تعلیمی و تربیتی دولت، پلان تعلیمی‌زمانی و مفردات طرح شده با معیارهای عمومی محتوایی و نگارشی قبول شده برای کتب درسی دوره ثانوی افغانستان تنظیم و تدوین گردیده است. تلاش شده تا مطالب به گونه ساده و روان مطرح شوند و با ادامه فعالیت‌ها و ذکر مثال‌ها و سوال‌ها، مطالعه آن به شاگردان آسان‌تر گردد.

از معلمان گران‌قدر انتظار می‌رود تا با تجارب و توانایی‌های غنی که دارند، در طراحی فعالیت‌های ابتکاری که می‌تواند در آموزش بیش‌تر شاگردان ممد واقع گردد و هم‌چنان از ابراز پیشنهادهای سازنده برای بهبود کیفی کتاب از هیچ‌گونه تلاش دریغ ننموده، ما را یاری رسانند. اطمینان می‌دهیم که ان شاءالله از نظرهای ارزشمند و اصلاحی شان برای رفع نواقص و اشتباهات احتمالی در چاپ بعدی این کتاب به گرمی استقبال خواهد شد.

در پایان از استادان محترمی که در نقد و اصلاح این کتاب زحمت کشیده‌اند سپاس‌گذاریم و از مسؤولان و کارکنان محترم کمپیوتر که در کار تایپ، دیزاین و صفحه‌آرایی کتاب، ما را همکاری مزید نموده‌اند ممنون و متشکریم.

## دیپارتمنت فزیک

ریاست عمومی‌انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی



۱	فصل اول: فزیک چیست
۲	مقدمه بر فزیک
۴	تاریخچه مختصر فزیک
۵	زبان فزیک
۹-۱۰	فصل دوم: اندازه گیری، اندازه گیری چیست؟
۱۵	سیستم واحدها (SI)
۲۲	اشتباه در اندازه گیری
۲۳	تحلیل و تجزیه ابعاد
۲۷	فصل سوم: نور و خواص آن
۲۹	انتشار نور
۳۰	بسته نوری
۳۱	سرعت نور
۳۳	انعکاس
۴۲	آینه های کروی
۴۷-۵۰	تشکیل تصویر در آینه های کروی
۵۳	معادلات آینه ها
۵۷	تطبیقات
۶۰	بزرگ نمایی
۶۹	فصل چهارم: انکسار، انکسار چیست؟
۷۵	قوانین انکسار
۷۹	مسیر نور در یک تیغه متوازی السطوح
۸۳-۸۴	زاویه بحرانی و انعکاس کلی

# فهرست



## صفحه

۸۶	..... منشور
۸۹	..... تجزیه نور
۹۱	..... رنگین کمان
۹۵	..... <b>فصل پنجم: عدسیه‌ها</b>
۱۰۱	..... تشکیل تصویر در عدسیه‌های باریک
۱۰۵	..... معادله عدسیه باریک و بزرگ‌نمایی
۱۰۹	..... خصوصیات عدسیه‌های مقعر
۱۱۹	..... قدرت عدسیه‌ها
۱۲۰	..... ترکیب عدسیه‌های باریک
۱۲۴	..... چشم انسان
۱۲۶	..... فاصله دور و نزدیک دید
۱۲۷	..... کمره
۱۳۰	..... میکروسکوپ
۱۳۹	..... <b>فصل ششم: برق ساکن</b>
۱۳۹	..... چارج کردن اجسام
۱۴۳	..... قوه برقی
۱۴۷	..... ساحه برقی
۱۵۵	..... پوتانشیل برقی
۱۵۸	..... تفاوت پوتانشیل
۱۵۹	..... رابطه بین پوتانشیل و ساحه برقی
۱۶۱	..... خازن، مفهوم ظرفیت
۱۶۲	..... خازن لوحه‌های موازی
۱۶۵	..... اتصال خازن‌ها



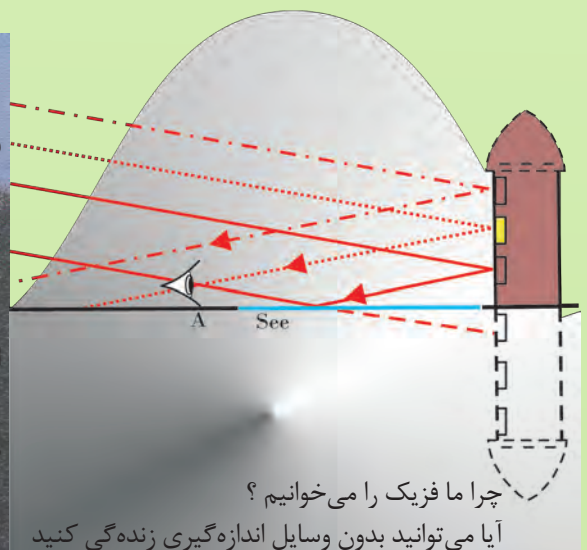
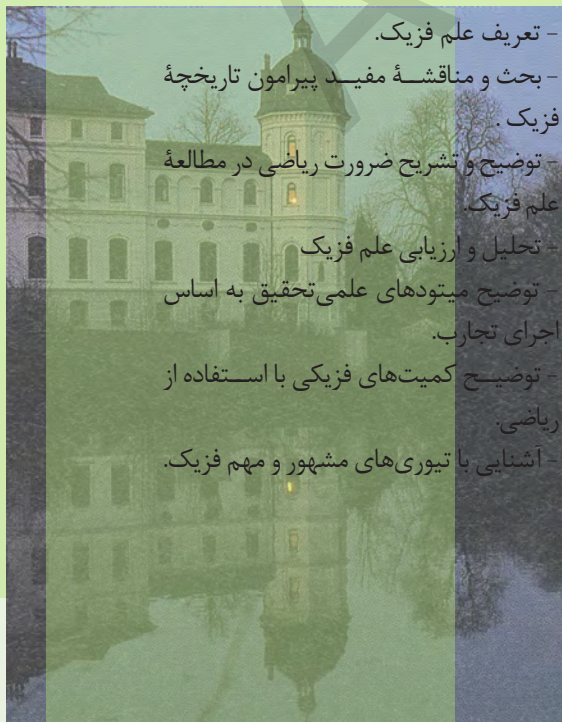


<b>فصل هفتم: سرکت و جریان</b>	۱۷۳
مقاومت	۱۷۸
اتصال مقاومت‌ها	۱۸۰
فوه محرکه برقی	۱۸۷
معادله سرکت برقی	۱۸۸
قوانین کرشهوف	۱۹۳
<b>فصل هشتم: مقناطیسی</b>	۱۹۹
قوه مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان	۲۰۴
مومنت بالای یک کویل جریان‌دار	۲۰۶
ساحه مقناطیسی یک‌هادی مستقیم طویل	۲۰۹
ساحه مقناطیسی یک کویل	۲۱۲
قوه‌های مقناطیسی بین دو وایر حامل جریان	۲۱۵
<b>فصل نهم: القای الکترومقناطیسی و برق متناوب</b>	۲۱۹
مفهوم القا	۲۲۰
قوه محرکه برقی جریان القایی	۲۲۲
سرکت‌های RL	۲۲۹
سرکت‌های RC و LC	۲۳۱-۲۳۲
القای متقابل	۲۳۵
ترانسفارمر	۲۳۶
جنراتورها	۲۳۹

# فیزیک چیست؟

اکثر ما به صورت تصادفی فیزیک‌دان تولد شده ایم. در جریان زنده‌گی به سرعت می‌آموزیم که قوانین چه نوع عمل می‌کنند. به طور مثال اگر یک جسم از یک ارتفاع به طور آزاد رها شود، به طرف زمین سقوط می‌کند. این یکی از قوانین فیزیک است که در زمانه‌های قدیم کشف شده است. با گذشت زمان بدون این که توجه نماییم، همواره در امور روزمره از فیزیک و قوانین آن استفاده به عمل آورده ایم. از این جا است که ما در مشاهدات خود از روابط بین متحول‌ها آغاز می‌کنیم. چنان‌چه در مثال فوق بارها عملاً مشاهده کرده ایم که جسم حین سقوط در نقطه رسیدن به زمین دارای سرعت بیش‌تر می‌باشد. پس می‌توان گفت که در همه جا پدیده‌های فیزیکی ما را احاطه کرده اند، و علم فیزیک قوانین وقاعده‌ها در این پدیده‌ها را توضیح کرده و به سوال‌های مربوط به آن‌ها جواب می‌دهد و انسان‌ها را قادر می‌سازد تا پرده از روی بسا اسرار این جهان پیچیده بردارد.

در صنوف گذشته شما موضوعات حرکت، برق، حرارت، نور و غیره چیزها را مطالعه نمودید. اکنون می‌بینیم این موضوعات با علم فیزیک چه رابطه‌یی دارند؟ علم فیزیک چیست؟ فیزیک‌دان‌ها در اجرای کارهای شان از چه استفاده می‌نمایند؟ مطالعه علم فیزیک چگونه آغاز می‌شود؟ چرا بعضی‌ها می‌گویند که فیزیک زنده‌گی است. شما به این چنین سوال‌ها وقتی جواب خواهید گفت که این فصل را مطالعه کنید. هم‌چنان شما در پایان این فصل مهارت‌ها و سودمندی‌های ذیل را حاصل خواهید کرد:



## 1-1: مقدمه بر فزیک

فزیک عبارت از علم مطالعهٔ مجموعهٔ قوانین طبیعت است که در بر دارندهٔ تمام پدیده‌های فیزیکی در جهان می‌باشد. به‌خاطر باید داشت که این قوانین می‌توانند به کمک معادله‌های ریاضی افاده شوند. به عبارت دیگر ممکن است بتوان مقایسه‌های مقدار صحیح و دقیقی را بین پیش‌بینی فرضیه‌ها، که از شکل ریاضیکی قوانین مشتق شده‌اند و مشاهدات از تجربه‌ها عملی نمود. آن‌چه به‌طور خاص این علم را شگفت‌آور می‌سازد این حقیقت است که فزیک به هر چیز در کاینات ارتباط دارد. با یک نگاه، زیبایی عجیبی به نظر می‌خورد که فزیک کاینات را طوری به‌ما مجسم می‌سازد که با همه پیچیده‌گی‌ها و تنوع اشیایی که در جهان ماحول ما قرار دارند، همه و همه به قدرت خداوند (ج) در قالب چند اصول و قوانین اساسی ظاهر می‌شوند و در کنترل آن‌ها می‌باشند، که ما می‌توانیم این قوانین اساسی حیرت‌انگیز و نشاط‌بخش طبیعت را کشف کنیم و مورد تطبیق قرار دهیم.

برای کسانی که به این مضمون آشنایی ندارند، فزیک یک علم مغشوش‌کننده و متراکم از یک سلسله فورمول‌ها به‌نظر می‌آید. ولی در حقیقت این فورمول‌ها می‌توانند مانند درختانی باشند که جنگل را احاطه کرده‌اند و برای یک فزیک‌دان فورمول‌های زیاد می‌توانند به‌سادگی مفاهیم و مفکوره‌های اساسی را بیان نمایند. علم فزیک که زمانی به نام فلسفهٔ طبیعت یاد می‌گردید، نسبت به همه بخش‌های دیگر ساینس، قوانین طبیعت را بیش‌تر تحت مطالعه قرار می‌دهد بخش‌های دیگر علوم و انجینری که در ردهٔ بعد از فزیک قرار می‌گیرند، نیز دارای دست‌آوردهای وسیع علمی می‌باشند؛ لیکن همهٔ شان به اساس قوانین و مفکوره‌های فیزیکی پایه‌گذاری شده‌اند.

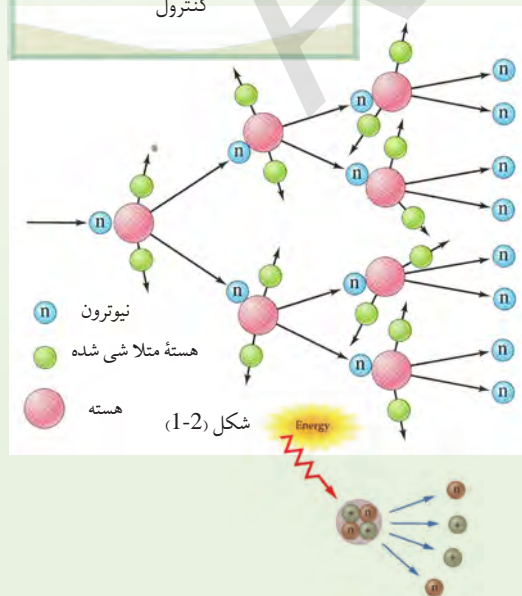
در گذشته‌ها می‌گفتند که فزیک مطالعهٔ ماده و حرکت می‌باشد، لیکن این جمله و جملات نظیر آن نتوانست تعریف فزیک را تکمیل نماید. فزیک را می‌توان «ذخیرهٔ علمی مفاهیم و آرایهٔ آن به وسیلهٔ معادلات ریاضی و تطبیق عملی آن در ابعاد فلسفی» هم تعریف کرد.

بالاخره جای دارد که بگوییم؛ علم مطالعهٔ همه موجودات، فزیک نامیده می‌شود. فزیک در تحقیق و پژوهش مانند علوم طبیعی دیگر، اصل استفاده از میتود علمی را به‌کار می‌برد که مراحل این اصل در دیاگرام (نمودار) ذیل نشان داده شده است:

دیاگرام (نمودار) را به دقت مطالعه کرده و به سوال‌های ذیل جواب بگوئید.

- 1- چرا باید اول در بارهٔ موضوع مشاهدات انجام داد و معلومات را جمع‌آوری نمود؟
- 2- آیا به پیشنهاد فرضیه برای تحقیق یک موضوع باید تأکید صورت بگیرد؟ چرا؟
- 3- چرا بسیاری‌ها می‌گویند که تجربه مرحلهٔ مهم مباحثه می‌باشد؟
- 4- اگر نتیجه‌گیری، فرضیه را غلط ثابت کند، چه کاری باید صورت بگیرد؟
- 5- روی اهمیت پیش‌بینی برای خصوصیات ماده بحث و مناقشه کنید.





6- چرا ما از مراحل کار کنترل به عمل می آوریم؟  
در این او آخر مفهوم ماده به حیث انرژی تفهیم شده است، چنانچه ذرات مستقر و غیر مستقر و هم چنان عمل متقابل بین ماده و انرژی و انتقال انرژی شواهدی برای اثبات این حقیقت می باشند. هدف اساسی مطالعه فزیک عبارت از مطالعه حقایق در طبیعت (از نظام های کیهکشان ها به مقیاس بزرگ الی ذرات اتم های مستقر و غیر مستقر) و ذرات کوچک دیگر و..... می باشد. با الآخره فزیک سعی می نماید تا خصوصیات ماده را توضیح کند و قانونمندی های طبیعت را توسط معادله های ریاضی، ساده و قابل فهم بسازد. اشکال (1-1) و (1-2) را مشاهده نمایید.



شکل (1-1)





## 2-1: تاریخچه مختصر فزیک

از آغاز زنده‌گی بشر، انسان‌ها حین فعالیت‌های شان، همواره با سوال‌های گوناگونی مانند روشنی چیست؟ در آسمان چه را مشاهده می‌کنیم؟ و امثال آن مواجه بوده‌اند. با به وجود آمدن و طرح شدن چنین سوال‌ها، علم فزیک برای جواب دادن آن‌ها عرض وجود کرد. تا سال 1850 بعضی نوشته‌ها و شواهد تجربی وجود داشتند که تحت نام فلسفه طبیعی و یا فلسفه تجربی مطالعه می‌شدند و این نام به‌حیث نقطه متقابل بین علوم طبیعی، الهیات و ادبیات شناسی قبول گردیده بود.

نتیجه‌گیری از تجارب فلسفی جمع شده نشان داد که یک شخص توان آن را ندارد که در تمام ساحه‌های علمی، ادبی و فلسفی کار نماید. بنابر این اصل بود که بالاخره در سال 1850 میلادی، کیمیا، ستاره شناسی، زمین شناسی و غیره از بدنه فلسفه تجربی مجزا گردید و به‌حیث بخشی از علوم مستقل عرض وجود کردند. بعد از وقوع این حادثه، گنجینه مابقی بدنه فلسفه تجربی به فزیک متعلق گردید.

اهمیت مرکزی این مضمون در این است که برای فهمیدن علوم دیگر، به آموزش مفاهیم فزیک نیز ضرورت می‌باشد. فزیک علم اندازه‌گیری کمیت‌ها می‌باشد و برحسب نظری به پنج بخش ذیل تقسیم شده است:

- 1- میخانیک: از تیوری میخانیکی اجسام بحث می‌کند.
- 2- ترمودینامیک: با حرارت و درجه حرارت ارتباط دارد.
- 3- الکترومقناتیس: برق، مقناتیس و تشعشع اشعه الکترومقناتیسی را مطالعه می‌کند.
- 4- میخانیک کوانتمی: خصوصیت جهان مایکروسکوپیک (Microscopic) را توضیح می‌نماید.
- 5- نسبیت: از سرعت‌های خیلی بزرگ ذرات بحث می‌کند.

اولین تیوری که به درازای تاریخ علم فزیک انکشاف نموده، عبارت از تیوری میخانیک بوده است. این تیوری از ارسطو (Aristotle) تا به وقت اسحاق نیوتن (Isac Neuton-1678) انکشاف نمود. این تیوری زمانی که نیوتن کتاب مشهور خود را تحت عنوان میخانیک به رشته تحریر درآورد، به اوج خود رسید. میخانیک نیوتن طی قرون هفدهم و هجدهم رقیبی نداشت. بعداً در سال‌های قرن نهم، الکترو دینامیک و ترمو دینامیک به‌وجود آمدند که علمایی چون ماکسویل، فارادی، امپیر و غیره، در ایجاد آن‌ها نقش به‌سزایی را بازی کردند.

یک کشف بزرگ دیگر در این عصر عبارت از قانون تحفظ انرژی می‌باشد. میخانیک، الکترو دینامیک و ترمودینامیک مجموعاً به‌نام فزیک کلاسیک یاد می‌شود، در حالی که میخانیک کوانت (نسبیت) به‌نام فزیک معاصر یا مدرن یاد می‌گردد.

در این او آخر دو بخش دیگر تحت نام‌های فزیک تراکم ماده و فزیک ذرات بسیط دارای انرژی بلند در علم فزیک زیاد شده‌اند. که هر دو تحت نام فزیک مدرن مطالعه می‌شوند.

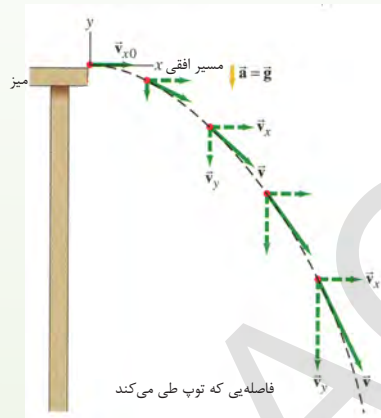
### تحقیق کنید:

خلص بیوگرافی یک فزیک‌دان را که در یکی از پنج بخش فزیک معادله‌ی نوشته باشد و یا به انکشاف آن بخش کمک چشم‌گیری نموده باشد، در نیم صفحه بنویسید و آن را در صنف به شاگردان ارایه کنید.

### 1-3: زبان فزیک

مطالعه جهان فزیک خیلی پیچیده است، فزیکدان‌ها معمولاً برای توضیح مطالب اساسی و مهم فزیک و فرضیه‌های آن از مدل‌ها استفاده به عمل می‌آورند. فزیکدان‌ها برای توضیح و تشریح فزیک، مدل‌های خیلی‌ها دقیق را ایجاد کرده‌اند. امروز بسیاری از این مدل‌ها، مدل‌های ریاضی می‌باشند. معمولاً ابتدا مدل‌های بسیط ایجاد می‌شوند، زیرا استفاده از این مدل‌ها نظر به مدل‌های پیچیده و وسیع آسان‌تر است. مدل‌های بسیط بعضاً برای حصه‌های معینی از فرضیه‌ها استعمال می‌گردند. فرض می‌کنیم یک توپ پرتاب شده افقی را می‌خواهیم قسمتاً در مطالعه مبحث حرکت مدل‌سازی نماییم. این توپ مدل، در حالت

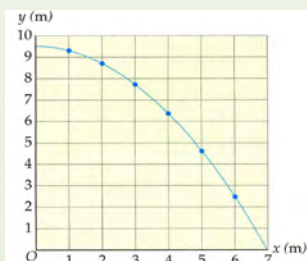
دوران و یا خیز نمی‌باشد، نه صدای ضربه دنده توپ و نه هم صدای توپ که به زمین بخورد، به گوش می‌رسد. ما سیستمی را برای حرکت توپی معرفی می‌کنیم که می‌خواهیم آن را مطالعه نماییم. مسیر حرکت ساده و مواد داخل آن را که بالای حالت وی مؤثر می‌باشد، در نظر می‌گیریم. غرض روشن شدن موضوع، به شکل (1-3) ببینید. زمانی که مسیر را مطالعه می‌نماییم، حتماً سیستمی که تحت مطالعه قرار می‌گیرد، شامل توپ و اصابت آن به زمین می‌شود، بدون این‌که، رنگ هوا و یا اندازه صدا را در نظر بگیرید، تنها تغییر در



شکل (1-3)

موقعیت آن‌ست که می‌تواند در سیستم، مورد تحقیق و مطالعه قرار بگیرد.

فزیکدان‌ها حرکت توپ را فقط یک مدل کوچک ایجاد شده که مجزا از اندازه رنگ، صدا و چرخش می‌باشد، مطالعه می‌نمایند که اجزای این سیستم فقط نقطه با یک مسیر (خط) می‌باشد، شکل (1-4) را مشاهده کنید.



شکل (1-4)  
مدل حرکت توپ

فزیکدان‌ها مدل‌های ساده را برای آن ایجاد می‌نمایند تا با جهان حقیقی آشنا شوند. فزیکدان‌ها از ریاضی برای تفسیر و خلاصه حقایق به‌حیث افزار استفاده می‌نمایند. ایشان روابط



ریاضی را برای توضیح کمیت‌های فیزیکی به کار برده و از این طریق به خوبی وقوع حوادث را پیش‌بینی می‌کنند.

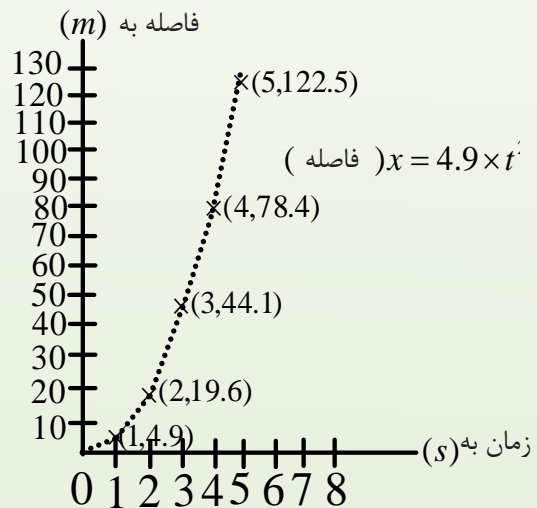
از این جا است که ریاضی منحنیث زبان فزیک عمل می‌کند و یا به عبارت دیگر می‌توان گفت که ریاضی عبارت از زبانی است با خصوصیات خاص که توسط معادلات، جدول‌ها، گراف‌ها و سوال‌ها، تحلیل و ارزیابی ارقام و احصایه‌ها را آسان‌تر می‌سازد. به گونه مثال اگر ما تجربه‌یی را مطابق شکل (1-5) اجرا نماییم، مشاهده می‌کنیم که در این تجربه، توپ به صورت آزاد سقوط کرده است و به صورت کل نتیجه حرکت سقوط منحنیث فاصله سقوط تابع به وقت یادداشت گردیده است. معمولاً در تجارب، ارقام در جدول یاد

داشت می‌شوند، چنان‌چه در جدول مرتبه از تجربه فوق دیده می‌شود که با افزایش وقت، فاصله سقوط بزرگ‌تر می‌شود.

وقت به (s)	0.067	0.133	0.200	0.233	0.267	0.600
فاصله سقوط به (cm)	2.20	8.676	19.62	26.628	34.967	176.58

یکی از میتودهای تحلیل ارقام عبارت از ترسیم گراف فاصله نظریه وقت می‌باشد. این گراف

در شکل (1-6) نشان داده شده است. برای هر نقطه منحنی گراف می‌توانیم روی محورهای فاصله و وقت مطابقاً کمیات وضعیه مربوطه را مشخص نماییم. هم‌چنان شکل گراف، معلومات لازمه بین کمیت‌ها را ارایه می‌کند، چنان‌چه در شکل، ارتباط بین فاصله و وقت دیده می‌شود. هر گاه فاصله را به  $x$  و وقت را به  $t$  نمایش دهیم، ما می‌توانیم با ضرب نمودن عدد 4.9 به مربع وقت، معادله تغییر موقعیت جسم را در هر لحظه زمانی به دست آوریم. (به شکل گراف نظر انداخته محاسبات را مطالعه کنید).



شکل (1-6) گراف فاصله نظر به وقت

## سوال‌ها

- 1 - در جملات خود توضیح نمایید که مقصد ما از مدل چیست؟
- 2 - آیا فیزیک‌دان‌ها هنگام تحقیقات شان استفاده از ریاضی را صرف نظر کرده می‌توانند؟ چرا؟

## خلاصه فصل

- فزیک از ترکیب ماده و خصوصیت آن، حرکت ماده، انرژی و هم‌چنان از ذرات ابتدایی کوچک (جهان Microscopic) تا اجسام بزرگ و کهکشان‌ها (جهان Macroscopic) بحث می‌نماید.
- برای حل مسأله به صورت علمی، از مطالعات و جمع‌آوری مواد آغاز می‌نماییم. این عمل اجازه می‌دهد تا فرضیه مناسب غرض توضیح مطالب انتخاب و بعداً این فرضیه را توسط تجربه امتحان می‌کنیم و با نتیجه‌گیری و عمومی ساختن آن به پیش‌بینی و اصل قاعده و یا قانون می‌پردازیم.
- فزیک از بخش‌های کلاسیک و مدرن ساخته شده است.
- ریاضی زبان فزیک است و توسط آن فیزیک‌دان‌ها نتایج نظری را توضیح می‌نمایند.

## سوالات اخیر فصل

جواب‌های صحیح را انتخاب کنید:

- 1 - فزیک تراکم ماده و فزیک ذرات بسیط با انرژی بلند (فزیک مدرن) به کدام بخش‌های ذیل ارتباط دارد؟

- |                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| الف. میخانیک      | ب. ترمودینامیک            |
| ج. الکتروودینامیک | د. کوانتم میخانیک و نسبیت |
- 2- کدام ساحه فزیک با درجه حرارت مرتبط می‌باشد؟

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| الف. میخانیک      | ب. نسبیت       |
| ج. کوانتم میخانیک | د. ترمودینامیک |

- 3- کدام یک از مباحث ذیل به فزیک تعلق دارد؟

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| الف. احتراق تیل | ب. نشو و نمو نباتات |
| ج. جوش دادن آب  | د. طبقه‌های زمین    |

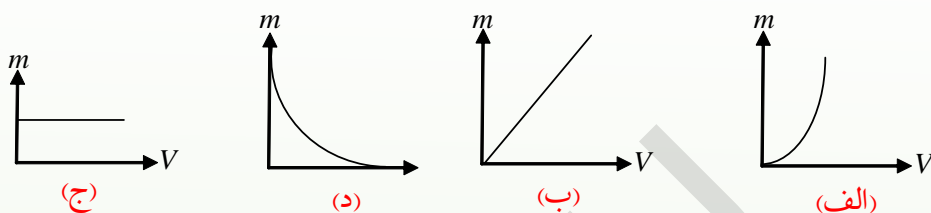
- 4- در روش‌های علمی ذیل برای تحقیق، مرحله خیلی مهم عبارت است از:

- |               |             |
|---------------|-------------|
| الف. فرضیه‌ها | ب. تجربه    |
| ج. قوانین     | د. پیش‌گویی |



5- کدام یک از گراف‌های داده شده، به ارقام داخل جدول خوب‌تر مطابقت دارد؟

حجم	0.50	1.00	1.30	1.50	2.00
کته	0.58	1.15	1.50	1.73	2.30



6- کدام یک از معادلات ذیل با ارقام جدول سوال فوق مطابقت دارد؟

الف،  $m^2 = 1.3v$     ب،  $V = 1.3m$     ج،  $m = 1.15v$     د،  $m = 1.3v^2$

7- بخش‌های مهم فزیک کلاسیک را نام بگیرید.

8- هر یک از موارد ذیل با کدام ساحه‌های فزیک زیاده‌تر مرتبط می‌باشد؟ بنگارید.

الف. بازی فوتبال

ب. تهیه غذا

ج. عینک‌های آفتابی

9- کدام مراحل در میتود علمی به کار برده می‌شود؟ نام ببرید.

10- کدام یک از افاده‌های ذیل را بیانیه علمی گفته می‌توانیم؟

1- زمین به اطراف محور آن دوران می‌نماید، زیرا موجودات زنده هم به تاریکی شب و هم به روشنی روز ضرورت دارند.

2- از سبب موجودیت قوه ثقل، مهتاب روی مدار زمین می‌چرخد.

11- فزیک‌دان‌ها برای توضیح مطالب مهم فزیک از چه چیز استفاده می‌کنند؟ و برای تفسیر و خلاصه حقایق از کدام چیز به‌حیث افزار کار می‌گیرند؟



## اندازه‌گیری

فیزیک‌دانی می‌گوید اگر یک جسم یا یک شی را که در مورد آن سخن می‌گوییم اندازه کرده بتوانیم و توسط یک عدد آن را نشان داده بتوانیم، یقیناً گفته می‌توانیم که در مورد آن جسم معلوماتی حاصل کرده ایم.

ولی اگر در مورد یک جسم یا یک شی سخن می‌گوییم و آن را اندازه کرده نتوانیم و توسط یک عدد نشان داده نتوانیم، پس یقیناً که در مورد آن دانش ما ناقص می‌باشد. آیا می‌دانید که ضخامت ورق کتاب شما چه قدر است؟ در کدام درجه حرارت آب به جوش می‌آید؟ نمک به کدام سرعت در آب حل می‌گردد؟ این پرسش و مانند این، پرسش‌های دیگر را وقتی جواب گفته می‌توانیم که اندازه شوند. در این فصل در مورد اندازه‌گیری به صورت عملی بحث صورت می‌گیرد. ساینس‌دان‌ها باور دارند که اندازه‌گیری به صورت مطلق درست نبوده و حتماً در آن اشتباهی وجود خواهد داشت. ولی اشتباه باید به کوچک‌ترین حد ممکن کاهش یابد. منشأ اشتباهات کدام‌ها اند؟ در این مورد نیز در همین فصل بحث صورت می‌گیرد.

زمانی که یک شی اندازه شود، باید توسط یک عدد و از جنس یک واحد نشان داده شود. واحدها در فیزیک اهمیت زیاد دارد. و در این فصل در مورد سیستم واحدها بین‌المللی (SI) روشنی انداخته خواهد شد و واحدها اصلی و فرعی به تفصیل مطالعه

خواهند گردید. واحدها در حل سوالات خیلی کمک می‌نماید. برای این که استفاده درست از آن‌ها صورت بگیرد، برای تحلیل ابعاد به واحدها ضرورت وجود دارد. این موضوع نیز در این فصل مطالعه خواهد شد. درجه دقت اندازه‌گیری نیز یکی از موضوعات دیگر این فصل است.

انتظار می‌رود تا در اخیر این فصل شاگردان به سوالات ذیل جواب ارایه کرده بتوانند:

- اندازه‌گیری چیست؟
- واحدها اصلی و فرعی اندازه‌گیری کدام‌ها اند؟
- اشتباه چیست و منشأ اشتباهات در اندازه‌گیری کدام‌ها اند؟
- در اندازه‌گیری ارقام قابل اعتماد کدام‌ها اند؟
- در تحلیل ابعاد تفاوت بین کمیت (بُعد) فیزیکی و واحد چیست؟



## 1-2: اندازه‌گیری چیست؟

آیا می‌توانیم در مورد محیط و جهان فیزیکی خویش که در آن زنده‌گی می‌نماییم معرفت حاصل نماییم؟ برای رسیدن به این مقصد کدام طریقه‌یی در ذهن شما خطور می‌نماید؟

بلی: این معرفت را حاصل کرده می‌توانیم ولی مهمترین گام درین طریقه این است که از اندازه‌گیری استفاده نماییم. انسان‌ها از قرن‌ها به این طرف برای شناخت جهان از اندازه‌گیری استفاده نموده و طریقه‌های مختلف اندازه‌گیری را دریافت کرده‌اند. خصوصاً ساینس دان‌ها طریقه‌های خیلی مغلق به کار برده و از آن مستفید گردیده‌اند. برای شاگردان فزیک نیز لازم است که همان طریقه‌های اندازه‌گیری را بشناسند که برایشان ضرورت دارند و محدودیت‌های شان را بدانند. قرار تعریف وقتی که یک کمیت فزیکی با یک مقدار خاص که واحد آن کمیت باشد مقایسه گردد، این عمیله را اندازه‌گیری می‌گویند. ولی امروز ساینس دان‌ها تزاید اعتماد و اطمینان را در مورد معرفت اشیا اندازه‌گیری می‌گویند. یعنی تا وقتی که اشیا اندازه نگردد، شناخت ما در مورد آن ناقص خواهد بود. این هم بسیار مهم است که نتایج اندازه‌گیری واقعی باشد، و دقت در گزارش دهی با دقت آله اندازه‌گیری یک‌سان باشد. در گزارش دهی اندازه‌گیری، کاربرد ارقام قابل اهمیت (Significant figures) سبب وضاحت بیشتر معلومات شده می‌تواند.

### فعالیت

خط کشی که دارای طول الی 30cm باشد و تقسیمات ملی متری را نیز داشته باشد و یک ورق کاغذ.

### طرز العمل:

- 1 - طول، عرض و ضخامت کتاب (فزیک) خود را اندازه‌گیری نمایید.
- 2 - هر یک از اندازه‌های فوق‌الذکر را چهار، چهار مرتبه اجرا نمایید و در یک ورق کاغذ قرار ذیل بنویسید.

مرتبه چهارم	مرتبه سوم	مرتبه دوم	مرتبه اول	کتاب فزیک
؟	؟	؟	؟	طول
؟	؟	؟	؟	عرض
؟	؟	؟	؟	ضخامت

- 3 - هر گاه در اندازه‌گیری‌ها تفاوت وجود داشته باشد، آن‌را با هم‌دیگر شریک نمایید.
- 4 - سبب این تفاوت‌ها چیست؟ در گروپ‌ها با هم بحث نمایید، و عوامل مباحثات تان را گزارش دهید.

## 2-2: ارقام قابل اهمیت (significant figures)

در علوم غرض نمایش دقیق اندازه‌گیری از ارقام قابل اهمیت (ارقام قابل اعتماد) استفاده می‌شود. زمانی که یک شخص ذریعه یک آله، یک کمیت فیزیکی را اندازه می‌نماید، یک قیمت این آله را خوانده و آن را توسط یک عدد نشان می‌دهد. تمام ارقام این عدد که از آله اندازه‌گیری خوانده شده است، جمع یک رقم مشکوک به نام ارقام قابل اهمیت یاد می‌شود. از جمله این ارقام، رقم مشکوک تقریبی بوده و به کوچک‌ترین تقسیمات آله اندازه‌گیری مربوط می‌باشد. به هر اندازه‌یی که در گزارش دهی، اندازه‌گیری ارقام قابل اهمیت بیشتر باشد، به همان اندازه، گزارش دقیق خواهد بود. به خاطر وضاحت ارقام مهم (ارقام قابل اعتماد) مثال ذیل را در نظر می‌گیریم. فرض می‌نماییم که طول یک کنار یک مکعب را توسط خط کش معلوم می‌کنیم. خط کش دارای تقسیماتی از 1 الی 100 می‌باشد و هر قسمت آن یک سانتی متر است. هر سانتی متر آن نیز دارای ده تقسیمات می‌باشد که هر تقسیمات یک ملی متر می‌شود. وقتی که توسط این آله کنار مکعب اندازه‌گیری گردیده است، محض آن را توسط عدد  $16.84\text{cm}$  گزارش داده است. در این حالت 1، 6 و 8 گزارش داده است. در این حالت 4 یک رقم تخمینی است، که بین نشانه‌های هشتم و نهم ملی مترها قرار دارد. در گزارشات علمی این رقم مشکوک یا تخمینی طوری نوشته می‌شود که بالای آن علامه دش (-) می‌باشد، مثلاً  $16.84\text{cm}$ . در این مثال تمام ارقام 1، 6، 8 و 4 از جمله ارقام قابل اعتماد بشمار می‌آید. در ریاضی برای ارقام قابل اهمیت (قابل اعتماد) قواعد ذیل را همیشه در نظر داشته باشید:

- ارقام خلاف صفر، قابل اهمیت می‌باشد.
- صفرهای که در بین دیگر ارقام قابل اهمیت واقع باشند، ارقام قابل اهمیت می‌باشد.
- در ارقام قابل ارزش، همان رقمی که در چپ‌ترین طرف واقع است ارزشمندترین رقم است. طور مثال در عدد (0.004205) ارزشمندترین رقم، چار (4) می‌باشد، و صفرهای طرف چپ چار، ارقام ارزشمند نمی‌باشد ولی همان صفری که بین (2) و 5 واقع است رقم ارزشمند می‌باشد.
- در اعداد اعشاری رقمی که کوچک‌ترین ارزش را دارا است به طرف راست واقع می‌باشد. مگر با آن‌هم از جمله ارقام ارزشمند خارج نمی‌گردد، چنان‌چه در مثال فوق، 5 در حالی که نسبت



به همه، رقم با کمترین ارزش است، ولی با آن هم از جمله ارقام با ارزش می باشد.  
 • اگر علامه اعشاریه موجود نباشد، راست ترین رقم خلاف صفر، رقم کم ارزش می باشد.  
 طور مثال در 4800 کم ارزش ترین رقم، 8 است.

**سوالات:** در اعداد ذیل کم ارزش ترین ارقام کدام ها اند؟

_____ $1.30520MH_z$ <b>و:</b>	_____ $300\,000\,000 \frac{m}{s}$ <b>الف:</b>
-------------------------------	---

_____ $78.9 \text{ m}$ <b>ز:</b>	_____ $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ <b>ب:</b>
_____ $3.788 \times 10^9 s$ <b>ح:</b>	_____ $25.030 \text{ } ^\circ c$ <b>ج:</b>
_____ $2.46 \times 10^6 kg$ <b>ط:</b>	_____ $0.006070 \text{ } ^\circ c$ <b>د:</b>
_____ $0.0032 \text{ mm}$ <b>ی:</b>	_____ $1.004 \text{ j}$ <b>ه:</b>

2 - سرعت نور  $2.99792458 \times 10^8 \frac{m}{s}$  است شما این سرعت را توسط:

**الف:** سه رقم ارزشمند،

**ب:** پنج رقم ارزشمند،

**ج:** هفت رقم ارزشمند نشان دهید

برای حل این چنین مسایل باید تمام قیمت ها با استفاده از عدد نویسی علمی نوشته شود. در عدد نویسی علمی، اندازه گیری به طاقت 10 تحریر می گردد، و تمام ارقام داده شده آن ها مهم می باشد. به طور مثال، اگر طول  $23.0cm$  دارای یک عدد یا دو رقم باشد، باید آن را در عدد نویسی علمی چنین نوشته کرد:  $2.3 \times 10^1 cm$  همین طور عدد 230.00 چنین نوشته می شود:  $2.30 \times 10^2 cm$  اگر در پیشروی ارقام یک مقدار نوشته شده، صفرها موجود باشد، عدد نویسی علمی در این حالت نیز به کار برده می شود. طور مثال، اندازه یی مانند  $0.00015cm$  در عدد نویسی علمی به شکل  $1.5 \times 10^{-4} cm$  نوشته می شود، درحالی که دارای

دو رقم می‌باشد. صفر بین علامه اعشاریه و رقم 1 در ارقام عددی (significant figures) شمرده نمی‌شود. زیرا این صفرها تنها برای تعیین محل علامه اعشاریه و نشان دادن نوع مقدار، گذاشته می‌شود. قاعده‌یی که در یک اندازه‌گیری صفرها شامل باشد تعیین‌کننده تعداد ارقام می‌باشد که در جدول ذیل نشان داده شده است.

مثال‌ها	قاعده
سه رقم دارد $50.3m$ (a) دارای پنج می‌باشد $3.0025s$ (b)	1. صفرهای بین ارقام خلاف صفر نیز ارقام می‌باشند.
دارای سه رقم می‌باشد $0.892$ (a) دارای یک رقم می‌باشد $0.0008ms$ (b)	2. صفرها در پیشروی (طرف چپ) ارقام خلاف صفر، رقم نمی‌باشد.
چهار رقم دارد $57.00g$ (a) هفت رقم دارد $2.000,000kg$ (b)	3. صفرها در پایان (طرف راست) یک عدد باشد، ارقام می‌باشد.
چهار رقم دارد $32.020$ (a) سه رقم دارد $25.300$ (b)	4. صفرهای آخر سمت راست بعد از اعشاری ارقام نمی‌باشند.

### در محاسبات تعداد ارقام به قاعده‌های مشخص ضرورت دارد

تعداد ارقامی را که شما در محاسبات خویش حاصل می‌نمایید، در اندازه‌گیری مربوط به ارقام مهم می‌باشد. طور مثال، اگر شخصی بگوید که ارتفاع قله کوه  $1710m$  است، طوری معلوم می‌شود که ارتفاع حقیقی قله کوه بین  $1705m$  و  $1715m$  می‌باشد. اگر شخص دیگری در قله کوه به ارتفاع  $0.70m$  یک برج از سنگ اعمار نماید، طور ناگهانی این حالت ارتفاع جدید کوه را تشکیل نمی‌دهد که می‌دانیم طور دقیق  $1710m$  است. ارتفاع متذکره نمی‌تواند اندازه دقیق باشد. بنابر این ارتفاع گزارش شده با برج باید به  $1710m$  تدویر (rounded off) شود، عین قاعده برای ضرب نیز به کاربرده می‌شود. غرض وضاحت این موضوع فرض می‌نماییم که هر گاه طول اتاق  $6.7m$  و عرض آن  $4.6m$  باشد، حاصل ضرب این قیمت‌ها  $30.82m^2$  می‌شود. این جواب دارای چهار رقم است که نسبت به طول و عرض اتاق خیلی دقیق می‌باشد. بنابراین ممکن است که عرض اتاق از  $4.55m$  و طول آن از  $6.65m$  کوچک‌تر باشد یا عرض آن از  $4.65m$  و طول آن از  $6.75m$  بیشتر باشد. بنابراین

باید مساحت اتاق بین  $30.26m^2$  و  $31.39m^2$  باشد. چون هر اندازه گیری تنها دارای دو رقم مهم می باشد، پس ممکن است مساحت اتاق تنها دو رقم مهم داشته باشد. بنابر این مساحت باید الی  $31m^2$  (rounded off) شود. جدول ذیل دو قاعده اساسی را نشان می دهد که ارقام مهم را در وقت انجام محاسبات تعیین می نماید.

### جدول قاعده محاسباتی که دارای ارقام مهم می باشد

نوع محاسبه	قاعده	مثال
جمع یا تفریق	جمع و تفریق داده شده به امتداد ستون اجرا می گردد، جواب نهایی را از طرف راست به طرف ستون اول که دارای رقم محاسبه شده است روند ROUND OF نمایید.	$\begin{array}{r} 97.3 \\ + 5.85 \\ \hline 103.15 \end{array}$ شدن روند آف $\rightarrow 103.2$
ضرب یا تقسیم	جواب نهایی دارای سه ارقام مهم می باشد که آن را کوچک ترین عدد اندازه گیری می گویند.	$\begin{array}{r} 123 \\ \times 5.35 \\ \hline 658.05 \end{array}$ شدن روند آف $\rightarrow 658$

هم چنان بعد از این گونه عملیه حسابی نتیجه محاسبه، روند آف می گردد. طور مثال نتیجه یک تعداد ضرب ها با استفاده از قاعده ضرب/ تقسیم باید قبل از این که با عدد دیگر جمع شود، روند آف گردد. به عین ترتیب مجموعه چندین عدد مطابق به قاعده جمع/ تفریق باید قبل از این که با عدد دیگر ضرب گردد، روند آف شود. روند آف ضرب ممکن است در یک محاسبه اشتباه را بیشتر بسازد، مگر این برای استفاده قواعد، یک طریقه واضح است. برای تمرین و وضاحت بیشتر، یک تعداد قاعده ها در جدول ذیل نوشته شده است:



### جدول قاعده‌های روند آف در محاسبات

چه می‌کنید؟	چه وقت انجام می‌دهید	مثال‌ها
ROUND DOWN	اگر بعد از علامه اعشاریه عدد مهم نهایی 0، 1، 2، 3 و 4 باشد.	30.24 30.2 طور نوشته می‌شود
ROUND DOWN	اگر بعد از علامه اعشاریه یک عدد و بعد از آن 5 باشد و عدد مخالف صفر دیگر را نه داشته باشد.	32.25 32.2 طور نوشته می‌شود.
ROUND UP	اگر بعد از علامه اعشاریه عدد مهم نهایی 6، 7، 8 یا 9 باشد	22.49 22.5 طور نوشته می‌شود.
ROUND UP	هر گاه بعد از علامه اعشاری عدد مهم نهایی 5 و بعد از آن عدد مخالف صفر باشد.	54.7511 54.8 طور نوشته می‌شود.
ROUND UP	اگر بعد از علامه اعشاریه، یکی از اعداد 5، 6، 7، 8 و 9 و بعد از آن 5 باشد، و عدد دیگر مخالف صفر را نه داشته باشد.	54.75 54.8 طور نوشته می‌شود. 79.3500 79.4 طور نوشته می‌شود.

### 2-3: سیستم واحدها SI

اگر از شما پرسیده شود که یک شی (طور مثال موتور) را دیدید؟ این پرسش در عکس‌العمل شما کدام پرسش‌های آنی را ایجاد خواهد کرد؟ و یا کدام پرسش‌های فوری را با خود خواهد داشت؟ در مورد آن فکر نمایید.

در عکس‌العمل شما شاید پرسش‌هایی مانند کجا؟ کدام موتور؟ و چه وقت ایجاد گردد. البته که در این جا به کجا طول جواب می‌دهد و به کدام موتور کتله و بالاخره به چه وقت زمان یا وقت جواب می‌دهد.

**بحث اول در مورد کجا:** در این جا موقعیت یک شی معلوم می شود و برای تعیین موقعیت اندازه کردن طول لازم می باشد. برای اندازه کردن طول به یک واحد اساسی ضرورت می باشد و این واحد متر است. طول یک متر فاصله یی است که نور آن را در  $(3.33564095 \times 10^{-9})$  ثانیه طی می نماید.

چون در امور روزانه برای اندازه کردن فاصله های بزرگ (فاصله ستاره ها) و هم چنان فاصله های کوچک (فاصله بین اتم ها) ضرورت می باشد، بنابراین واحداث بزرگ و کوچک نسبت به واحد اساسی وجود دارد که در دروس گذشته تحت عنوان اجزا واضعاف متر آن را مطالعه کرده اید.

**بحث دوم در مورد سوال کدام موتر:** در این مورد شاید مقصد این باشد که آیا این موتر کلان است یا کوچک برای اندازه کردن بزرگ (کلان) و کوچک باید کتله یک جسم اندازه گردد.

کیلوگرام واحد کتله است. مقدار مواد داخل یک جسم را کتله می گویند، یعنی کتله مقدار موادی است که جسم از آن تشکیل شده است. یک کیلوگرام مساوی به کتله 0.001 متر مکعب آب است. کتله یک کیلوگرام از الیاژ پلاتینیوم- ایریدیوم ساخته شده است که تحت شرایط خاص در پاریس نگهداشته می شود. کیلوگرام نیز واحداث بزرگ و کوچک نسبت به خود دارد که برای اندازه کردن کتله های بزرگ و کوچک به کار برده می شوند.

**بحث سوم در مورد چه وقت:** وقت یک کمیت دیگر فیزیکی است که یک بخش مهم معرفت را بیان می نماید. تشخیص مستقیم وقت و تعریف آن تا اندازه یی مشکل است. مگر گفته می توانیم که همه حوادث در یک وقت (زمان) صورت می گیرد و وقت یک کمیت متمادی، برگشت ناپذیر و یک بعدی است.

وقت را اندازه کرده می توانیم و واحد اساسی وقت یک ثانیه است. یک ثانیه مساوی به  $0.000011574 = \left(\frac{1}{60}\right) \left(\frac{1}{60}\right) \left(\frac{1}{24}\right)$  یک شبانه روز متوسط آفتابی می باشد، و به صورت دقیق وقت یک ثانیه برابر به 9192631770 زمان پیریود موج منتشره اتم سیزیوم





می‌باشد.

برعلاوه واحداث اساسی طول، کتله و وقت، چار واحداث اساسی دیگر نیز در فزیک وجود دارد که عبارت از امپیر (واحد جریان برق)، کلوین (واحد درجه حرارت ترمودینامیکی)، مول (واحد تعداد ذرات ابتدائی در یک شی) و کندیل (واحد شدت نوری) می‌باشد. و تعریفات مختصر آن‌ها قرار ذیل است:

**امپیر:** جریان ثابت یک امپیر عبارت از جریانی است که هر گاه در بین دو سیم‌هادی بی نهایت طویل با مقطع خیلی کوچک (قابل صرف نظر) در خلا به فاصله یک متر از هم‌دیگر واقع باشند. در هر متر سیم‌ها قوه  $2 \times 10^{-7}$  نیوتن را ایجاد نماید.

**کلوین:** کلوین عبارت از واحد درجه حرارت ترمودینامیکی است. درجه کلوین به اساس  $\frac{1}{273.16}$  درجه حرارت ترمودینامیکی سه‌گانه آب از 273.16 قسمت، یک حصه آن است، یا  $\frac{1}{273.16}$  حصه این درجه حرارت می‌باشد. مقدار این درجه یعنی درجه کلوین مساوی به مقدار درجه سانتی‌گرید می‌باشد.

**مول:** در یک سیستم، یک مول عبارت از مقدار موادی است که تعداد ذرات ابتدایی آن مساوی به تعداد اتم‌های 0.012kg کاربن 12 ( $C^{12}$ ) باشد. وقتی که از مول سخن می‌گوییم، باید که از ذرات ابتدایی مانند اتم‌ها، مالیکول‌ها، آیون‌ها، الکترون‌ها و یا ذرات دیگر طور مشخص یاد گردد.

کندیل: کندیل عبارت از شدت روشنایی است که هر گاه از یک منبع، شعاع یک رنگ با فریکونسسی  $540 \times 10^{12}$  هرتز در جهت معلوم پخش گردد و در این جهت در هر ستیرادیان زاویه،  $\frac{1}{683}$  وات شدت روشنایی را به وجود آورد. باید گفته شود که 7 نوع واحداث ذکر شده با یک‌دیگر متقابلاً رابطه نه دارند. یک تعداد کمیت‌های دیگری وجود دارند که واحداث آن‌ها به نام واحداث اشتقاقی یاد می‌شوند و از این واحداث اساسی از طریق معادلات مقداری تعریف شده اند، در سیستم SI واحداث اشتقاقی را در جدول ذیل مشاهده کرده می‌توانیم:

کمیت فزیکى	واحد واسم خاص آن	کمیت فزیکى	واحد واسم خاص آن
قوه	نیون (kg m/s <sup>2</sup> )	مساحت	متر مربع m <sup>2</sup>
فریکونیسی	هرتز s <sup>-1</sup>	حجم	متر مکعب m <sup>3</sup>
فشار (STRESS)	پاسکال $\frac{N}{m^2}$	سرعت	متر بر ثانیه m/s
انرژی، کار، مقدار حرارت	ژول (kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	کثافت	کیلوگرام فی متر مکعب kg/m <sup>3</sup>
قدرت	وات (kg m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> )	حجم مخصوص	متر مکعب فی کیلوگرام m <sup>3</sup> /kg
چارج برقی	کولمب C	کثافت جریان	امپیر فی متر مربع A/m <sup>2</sup>
تفاوت پوتانسيل برقی (قوه محرکه برقی)	ولت $\frac{W}{A} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	شدت ساحه مقناطیسی	امپیر فی متر A/m
ظرفیت	فاراد (m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>4</sup> · A <sup>2</sup> )	مقدار تمرکزیت یک ماده	مول فی متر مکعب mol/m <sup>3</sup>
مقاومت برقی	اوم $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	قدرت روشنی	کندیلا فی متر مربع cd/m <sup>2</sup>
درجه سانتی گرید	C°	فلکس مقناطیسی	ویبر (W <sub>b</sub> ) = مترع × تسلا (m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup> )
شدت روشن	کندیلا cd	شدت فلکس مقناطیسی	تسلا (Kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup> )
زاویه مسطحه	رادیان m · m <sup>-1</sup>	اندکشن (القا) (L)	واحد $H = \frac{1v \cdot I}{A}$ = هنری (m <sup>2</sup> kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-2</sup> )

در یک تعداد کشورها به طور مشخص در کشورهایی که به لسان انگلیسی صحبت می‌نمایند، عوض سیستم SI واحدها دیگر به کار برده می‌شوند. طور مثال عوض متر از فوت یا انچ استفاده می‌نمایند، عوض کیلوگرام از سلگ کار می‌گیرند و عوض تن از پوند استفاده می‌کنند. این واحدها با واحدها SI طور ذیل رابطه دارند.

$$\begin{aligned}
 \text{طول} \quad & 6.21 \times 10^{-4} \text{ mile} = 3.28 \text{ ft} = 39.4 \text{ in} = 1 \text{ m} \\
 \text{مساحت} \quad & 1.55 \times 10^3 \text{ in}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 1 \text{ m}^2 \quad 91.44 \text{ cm} = 0.9144 \text{ m} = 1 \text{ yard} \\
 \text{حجم} \quad & 10^3 \text{ liters} = 6.1 \times 10^4 \text{ in}^3 = 35.3 \text{ ft}^3 = 1 \text{ m}^3 \\
 \text{کته} \quad & 1 \text{ slug} = 14.59 \text{ Kg} \\
 \text{وزن} \quad & 1 \text{ Lb} = 4.45 \text{ N} \Rightarrow 1 \text{ N} = \frac{1}{4.45} \text{ Lb} = 0.2247 \text{ Lb} \\
 \text{وقت} \quad & 1 \text{ year} = 365.24 \text{ day} = 8.76 \times 10^3 \text{ hr} = 5.26 \times 10^5 \text{ min} = 3.156 \times 10^7 \text{ s} \\
 \text{کثافت} \quad & 1 \text{ kg} / \text{m}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ g} / \text{m}^3 = 1.94 \times 10^{-3} \text{ slug} / \text{ft}^3 \\
 \text{سرعت} \quad & 1 \text{ m} / \text{s} = 3.28 \text{ ft} / \text{s} = 2.24 \frac{\text{miles}}{\text{hr}} = 3.60 \frac{\text{Km}}{\text{hr}} \\
 \text{تعجيل} \quad & 1 \text{ m} / \text{s}^2 = 3.281 \text{ ft} / \text{s}^2 = 3.60 \frac{\text{km} / \text{hr}}{\text{s}} \\
 \text{قوة} \quad & \begin{cases} 1 \text{ N} = 10^5 \text{ dynes} = 0.225 \text{ lb} \\ 1 \text{ liter} = 4.45 \text{ N} = 16 \text{ ounces} \end{cases} \\
 \text{فشار} \quad & 1 \text{ atmosphere (atm)} = 1.013 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1013 \text{ milibar} = 14.7 \text{ lb} / \text{in}^2 \\
 & = 2.12 \times 10^3 \text{ lb} / \text{ft}^2 = 760 \text{ cm of Hg}
 \end{aligned}$$

## سوالات

1 - به نظر شما برای مقادیر ذیل کدام یک از واحدها را یک واحد مناسب می‌دانید؟

الف: وقتی که برای دیدن یک CD لازم است  
ب: برای کته یک موتر تیز رفتار

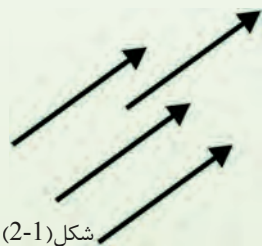
ج: برای طول یک میدان فوتبال  
 د: برای اندازه کردن قطر یک غوری  
 هـ: برای وقت یک سمستر مکتب شما  
 و: فاصله بین خانه و مکتب شما  
 ز: برای کتله بدن شما  
 ح: برای اندازه کردن قد شما

## وکتوری سکالر:

در فزیک کمیات به دو نوع اند که عبارت از کمیات وکتوری و سکالری می باشد. کمیت وکتوری عبارت از آن کمیت فزیکی است که علاوه بر مقدار، توسط جهت نیز مشخص می شود. طور مثال، برای توضیح مکمل یک قوه بالای یک جسم، باید جهت قوه عامل و یک عدد، که مقدار قوه را نشان می دهد، هر دو مشخص گردد و توسط علامه  $\rightarrow$  (نشان داده می شود که به نام وکتور یاد می گردد. سکالر تنها مقدار دارد و دارای جهت نمی باشد. بعضی مثال های کمیت سکالری عبارت از کتله، کثافت، چارج برقی، انرژی، درجه حرارت، مساحت و وقت می باشد.

## بعضی خواص وکتور:

دو وکتور مساوی: دو وکتور A و B وکتورهای مساوی اند در صورتی که آن ها دارای مقادیر (طول) مساوی و هم جهت باشند. یعنی A و B باهم مساوی اند. آن ها تنها در صورتی که دارای عین جهت باشند. به طور مثال، تمام وکتورهای که در شکل نشان داده شده اند باهم مساوی اند، حتا اگر دارای نقاط آغاز مختلف هم باشند. این خاصیت بیان می نماید که یک وکتور با خودش مساوی است، در حقیقت یک وکتور موازی به خودش حرکت کرده می تواند.



شکل (1-2)

## جمع کردن دو وکتور:

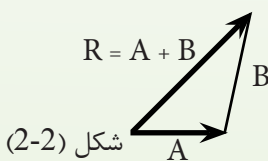
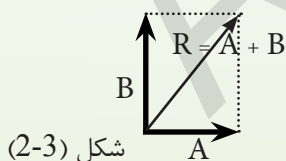
هر چند در این مورد در صنف یازدهم به تفصیل بیشتر مطالعه خواهید کرد، با آن هم در این صنف در حد ضرورت موضوعات را به طور فشرده توضیح می داریم:  
 زمانی که دو یا بیشتر وکتورها باهم جمع می شوند، باید تمام وکتورها دارای واحداث



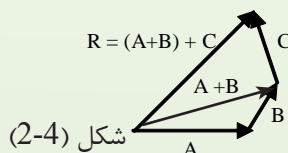
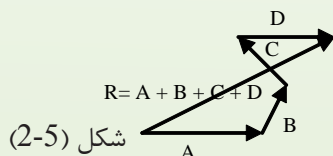
مشابه و در یک سیستم باشند. به طور مثال بی معنی خواهد بود که اگر وکتور سرعت را با وکتور تغییر مکان جمع نماییم زیرا آن‌ها کمیات مختلف فیزیکی اند. قواعد جمع کردن وکتورها توسط طریقه‌های هندسی بیان می‌شود. برای جمع کردن وکتور  $B$  با وکتور  $A$  نخست وکتور  $A$  را بالای کاغذ گراف رسم می‌نماییم و بعداً وکتور  $B$  را طوری رسم می‌کنیم که آغاز آن بالای انجام وکتور  $A$  باشد. چنان‌چه در شکل ذیل نشان داده شده است، وکتور محصله عبارت از  $(R=A+B)$  می‌باشد، که از آغاز وکتور  $A$  الی انجام وکتور  $B$  رسم می‌گردد. این طریقه به نام طریقه جمع کردن مثلثی وکتورها یاد می‌شود. یک طریقه دیگر جمع کردن گرافیکی دو وکتور که به نام قاعده متوازی الاضلاع یاد می‌شود در شکل (2-3) نشان داده شده است. در این ساختمان آغاز وکتورهای  $A$  و  $B$  یک نقطه بوده و وکتور محصله  $R$ ، قطر متوازی الاضلاع را تشکیل می‌دهد که وکتورهای  $A$  و  $B$  اضلاع آن می‌باشد. وقتی که دو وکتور را جمع می‌نماییم، مجموعه آن به طریقه جمع کردن ارتباط نه دارد. این حالت را می‌توانیم از ساختمان هندسی مشاهده نماییم، که به نام قانون تبدیلی در عملیه جمع کردن یاد می‌شود، یعنی:  $(A+B=B+A)$

هر گاه سه یا بیشتر وکتورها را با هم جمع کنیم، مجموعه شان مربوط به ترتیبی نمی‌باشد که در آن وکتورها به صورت جداگانه با هم جمع می‌شوند. ثبوت هندسی این سخن برای سه وکتور در شکل (2-4) داده شده است. این به نام قانون اتحادی در عملیه جمع یاد

می‌شود، یعنی:  $A + (B + C) = (A + B) + C$



هم‌چنان می‌توانیم ساختمان هندسی را برای جمع کردن بیشتر از سه وکتور نیز به کار ببریم. این حالت برای چهار وکتور در شکل (2-5) نشان داده شده است.





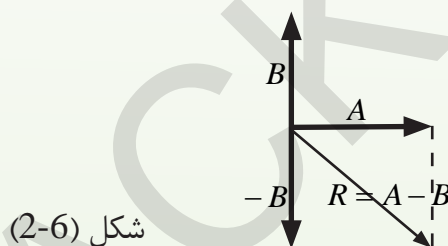
$R = A + B + C + D$  (وکتور محصله) این محصله وکتوری است که کثیرالاضلاع را تکمیل می‌نماید. به عبارت دیگر،  $R$  عبارت از وکتوری است که از آغاز وکتور اولی الی انجام وکتور نهایی رسم می‌شود. باز هم ترتیب جمع کردن مهم نیست.

**وکتور منفی:** وکتور منفی وکتور  $A$  عبارت از وکتوری است که هر گاه با  $A$  جمع شود نتیجه آن رقم صفر حاصل می‌گردد. یعنی  $\vec{A} + (-\vec{A}) = 0$  وکتورهای  $A$  و  $-A$  مقادیر مشابه دارند، مگر انجام‌های شان در جهت‌های مخالف واقع اند.

تفریق کردن وکتورها: در عملیه تفریق کردن وکتورها، از تعریف وکتور منفی استفاده می‌نماییم. عملیه  $A - B$  را طوری تعریف می‌نماییم که در حقیقت وکتور  $-B$  با وکتور  $A$  جمع شده است، یعنی:  $(A - B) = A + (-B)$

ساختمان هندسی برای تفریق کردن دو وکتور در شکل (2-6) نشان داده شده است.

$$A - B = A + (-B) \dots\dots\dots$$



شکل (2-6)

ضرب یک سکالر با یک وکتور: اگر با وکتور  $A$  یک کمیت مثبت سکالری  $m$  ضرب گردد، حاصل ضرب  $mA$  وکتوری است که دارای جهت مشابه به  $A$  و مقدار  $mA$  می‌باشد، و اگر  $m$  یک کمیت منفی باشد، وکتور  $mA$  دارای جهت مخالف  $A$  می‌باشد.

## 2-4: اشتباه در اندازه‌گیری

هر کار تجربی از اشتباه خالی نمی‌باشد، مگر مهم این است که این اشتباه به کوچک‌ترین حد برسد تا یک نتیجه صحیح حاصل گردد.

گاهی انسان‌ها آله اندازه‌گیری را غلط می‌خوانند و گاهی هم ثبت (نتیجه) را غلط می‌نمایند و بالاخره سبب اشتباه می‌گردند.

اشتباه یا به وسیله انسان‌ها به وجود می‌آید و یا ذریعه وسایل اندازه‌گیری ایجاد می‌شود.

اشتباهی که توسط انسان‌ها به وجود می‌آید، ذریعۀ تکرار زیاد اصلاح شده می‌تواند، گاه گاه انسان‌ها برای اندازه کردن یک شی از روش‌های مختلف استفاده می‌نمایند. این نوع اشتباه را به نام اشتباه میتودی یاد می‌نماید و این اشتباه زمانی اصلاح می‌گردد که یک میتود معیاری به وجود آید. طور مثال، وقتی که ذریعۀ یک خط کش طول را اندازه می‌نماییم، پس در وقت خواندن باید دید خود را طور عمودی و مستقیم حفظ نماییم و اگر در وقت خواندن از یک طرف و یا طرف دیگر برایش نگاه کنیم اشتباه به میان می‌آید. اشتباهی که ذریعۀ آلۀ اندازه‌گیری به وجود می‌آید، به نام اشتباه ابزاری (Instrumental error) یاد می‌شود، و هر زمانی که این آلۀ مورد استفاده قرار می‌گیرد این اشتباه همراهی می‌باشد. این نوع اشتباه یک جنبه می‌باشد، به این معنی که اگر اندازه‌گیری توسط این آلۀ صورت بگیرد و یک کمیت فیزیکی را بیشتر نشان بدهد، پس همیشه آن را زیاد نشان خواهد داد. طور مثال، اگر سرعت حرکت یک ساعت زیاد باشد همیشه وقت را پیشتر نشان می‌دهد و اگر فرضاً حرکت آن کند باشد، همیشه وقت را به عقب نشان می‌دهد. وسایلی که در لابراتوار مورد استفاده قرار می‌گیرد باید همیشه طور درست کار نمایند و اگر چنین نباشد، پس همیشه در اندازه‌گیری اشتباه به وجود می‌آورد. دیده خواهید بود گاه گاه ترازویی که در لابراتوار مورد استفاده قرار می‌گیرد و دسته آن درست کار نکند سبب اشتباه می‌گردد.

### سوالات

- 1 - به صورت عمومی اشتباه یا توسط ..... و یا ذریعۀ ..... به وجود می‌آید.
- 2 - اشتباه میتود به وسیلۀ ایجاد ..... اصلاح شده می‌تواند.
- 3 - اشتباهی که به سبب نقص آلۀ به وجود می‌آید ..... یاد می‌شود.
- 4 - هر کار تجربی از ..... خالی نمی‌باشد، مگر باید به ..... حالت خود آورده شود.

### 2-5: تحلیل و تجزیه ابعاد

مقادیر کمیات فیزیکی باید توسط واحداثی نشان داده شود که در مطابقت با بعد آن کمیت باشد. طور مثال، اندازه طول نمی‌تواند توسط کیلوگرام نشان داده شود زیرا که واحد کیلوگرام برای ارایه بُعد کتله می‌باشد. بسیار مهم است که مطمئن شویم مقادیر توسط واحداثی نشان داده شده است که مطابقت به بعد مربوط نماید.

یک تکنیک خیلی عالی که به صورت عمومی در حل سوالات فزیک از اشتباه جلوگیری می‌نماید این است که در جواب سوال، واحداث درست باشد و دیده شود که در مطابقت به ابعاد به کار برده شده باشد. مسئله مهم دیگر این است که نه تنها باید واحداث با ابعاد در مطابقت باشد، بلکه عین واحد باید به کار برده شود. غرض روشنی بیشتر موضوع، مثال ذیل را در نظر می‌گیریم:

دو شاگرد مساحت یک اتاق را دریافت می‌نمایند. یک شاگرد طول را توسط متر و شاگرد دیگر عرض را به سانتی متر پیدا می‌کند، یعنی:  $20,35m$  و  $1250cm$  مگر زمانی که آن‌ها مساحت را دریافت می‌نمایند، طول را در عرض ضرب می‌کنند. توضیح و بیان این واحد جواب یعنی به  $(m \cdot cm)$  خیلی مشکل است. ولی اگر هر دو شاگرد طول و عرض را از جنس متر دریافت نمایند، یعنی  $20.35m$  و  $12.5m$  و بعداً برای پیدا کردن مساحت سطح، طول و عرض را با هم ضرب نمایند، جواب از جنس  $m^2$  حاصل خواهد شد و توضیح و بیان این جواب خیلی آسان است.

$$\begin{array}{l} \text{وضاحت دارد} \quad \left\{ \begin{array}{l} 20.35m \\ \times 12.5m \\ \hline 254.375m^2 \end{array} \right. \quad \text{وضاحت ندارد} \quad \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot 35m \\ \times 12.50cm \\ \hline 25437.5m \times cm? \end{array} \right. \end{array}$$

با وجود این هم اگر اندازه‌گیری توسط واحداث مختلف صورت گرفته باشد، چنانچه در مثال فوق یک اندازه‌گیری توسط  $m$  و دیگر آن توسط  $cm$  انجام شده است، مگر می‌تواند این‌ها با آسانی به یکدیگر تبدیل گردند. زیرا که  $m$  و  $cm$  هر دو واحداث طول اند. این را نیز باید به خاطر داشته باشیم که هر گاه واحداث از سیستم‌های مختلف مثلاً متر (meters) و فت (fetes) داده شده باشند، آن را نیز باید قبل از این که به حل کردن سوال آغاز نماییم، واحداث را به یکدیگر تبدیل نماییم و در یک سیستم بیاوریم.

مثال: کتله یک بکتریای مخصوص  $2.0fg$  (فمتوگرام) است. این مقدار را به  $gr$  و  $kg$  دریافت نماییم، (در کتاب فزیک درمورد واحداث جدول داده شده است).

(a) اگر خواسته باشیم این کتله را به  $g$  نشان دهیم، با استفاده از جدول چنین عمل

$$\text{می‌کنیم: } 2.0fg \left( \frac{1 \times 10^{-15}g}{1fg} \right) = 2.0 \times 10^{-15}g$$

(b) به عین ترتیب می‌توانیم با استفاده از جدول، گرام را به کیلوگرام این‌طور تبدیل

نماییم:

$$2.0 \times 10^{-15}g \left( \frac{1kg}{1 \times 10^3g} \right) = 2.0 \times 10^{-18}kg$$



### سوال:

اگر یک قوه را که توسط نیوتن یا  $Kg\ m/s^2$  ارایه شده باشد بالای سرعت تقسیم نمایید، جواب آن کدام واحد را می‌دهد؟

### سوالات اخیر فصل

- 1 - واحد طول در سیستم SI عبارت است از:  
a. انج c. متر  
b. فت d. کیلو متر
- 2 - یک سال نوری عبارت از فاصله‌یی است که نور آن را در زمان یک سال طی می‌نماید و قیمت عددی آن  $9500000000000\ km$  می‌باشد، این فاصله چند متر است؟  
a.  $9.5 \times 10^{10}\ m$  b.  $9.5 \times 10^{12}\ m$   
c.  $9.5 \times 10^{14}\ m$  d.  $9.5 \times 10^{18}\ m$
- 3 - اگر در اندازه‌گیری یک طول نظر خود را طور مستقیم به اندازه‌گیری خود حفظ نه نمایید، اندازه‌گیری شما از کدام جانب متاثر خواهد گردید.  
a. اندازه‌گیری شما کمتر دقیق خواهد بود.  
b. اندازه‌گیری شما کمتر صحت خواهد داشت.  
c. در اندازه‌گیری شما تعداد کمتر ارقام قابل ارزش موجود خواهد بود.  
d. در اندازه‌گیری شما توسط آله اندازه‌گیری اشتباه موجود خواهد بود.
- 4 - اگر در یک اندازه‌گیری، طول یک پینسل را توسط واحد سانتی متر گزارش بدهید، چند رقم قابل ارزش را خواهید داشت؟
- 5 - برای یک معادله صحیح فیزیکی کدام یک از جملات ذیل درست است؟  
a. هر دو طرف معادله باید دارای عین متحولین باشند؟  
b. به هر دو طرف معادله باید متحولین موجود باشند نه اعداد.  
c. به هر دو طرف معادله باید عین ابعاد (کمیات فیزیکی) موجود باشد.  
d. به هر دو طرف باید اعداد موجود باشد نه متحولین.

6 - در مقادیر ذیل چند رقم با ارزش وجود دارد؟

a.  $300000000 m/s$       b.  $3.00 \times 10^8 m/s$

c.  $25.030 C^\circ$       d.  $0.006070 C^\circ$

e.  $1.004 j$       f.  $1.30520 MHz$

7 - سرعت نور  $2,99792458 \times 10^8 m/s$  شناخته شده است. سرعت نور را به طریقه‌های ذیل نشان دهید.

(a) توسط سه رقم با ارزش.

(b) توسط پنج رقم با ارزش.

(c) توسط هفت رقم با ارزش.

8 - در مقادیر ذیل چند رقم با ارزش وجود دارد؟

a.  $78.9 \pm 0.2 m$       b.  $3.788 \times 10^9 s$

c.  $2.46 \times 10^6 Kg$       d.  $0.0032 mm$

9 - پیروی یک رقاصه ساده (که دارای بعد واحد وقت است) توسط معادله ذیل داده شده است:  $T = 2\pi \sqrt{l/g}$

در این معادله  $l$  طول رقاصه و  $T$  تعجیل جاذبه زمین است. آیا این معادله از نظر ابعاد درست است؟

10 - وسیله تحلیل ابعاد همان بعد را نشان دهید که در نتیجه تقسیم فاصله بالای سرعت حاصل می‌شود.

11 - حاصل جمع ذیل را بدست آرید و نتیجه را توسط متر نشان دهید. قوانین ارقام قابل ارزش را پیروی نمایید.

$$(25.873 km) + (1024 m) + (3.0 cm) = ?$$





## نور و خواص آن

شما در هنگام روز اشیای اطراف خود را می بینید، ولی در شب که تاریکی می باشد چیزی را دیده نمی توانید. این چرا؟ در جواب حتمی می گوئید که در هنگام روز به خاطری اشیاء را می بینیم که زمین توسط آفتاب روشن می شود. مگر در شب که تاریکی می باشد، هیچ چیزی معلوم نمی شود و اگر مهتاب باشد، اشیاء قسمأً روشن دیده می شوند. از این جا واضح می گردد که نور سبب دیدن اشیاء می گردد، بنابراین گفته می توانیم که نور عامل طبیعی است که اشیاء را قابل رویت می سازد، و اگر نور نباشد هیچ چیز دیده نمی شود. بنابراین سوال به وجود می آید که نور چیست؟ نور چگونه انتشار می نماید؟ نور به کدام سرعت انتشار می نماید؟ عمل متقابل نور با ماده چگونه است؟ چون در نتیجه عمل متقابل نور با ماده انعکاس نیز صورت می گیرد، پس سوالات مطرح می گردد، که انعکاس نور چیست؟ قوانین انعکاس کدام ها اند؟ و آشکار است که بعضی اجسام نور را به صورت منظم منعکس می نمایند که این نوع اجسام آینه ها نامیده می شوند، پس سوال می شود که آینه ها چگونه اجسامی اند؟ چند نوع اند؟ تصویر در آینه ها چگونه تشکیل می گردد؟ معادلات آینه چگونه اند و چطور حاصل می شوند؟ به این سوالات و سوالات مشابه به آن می توانید با مطالعه این فصل، جواب ارایه نمایید. هم چنان بعضی فعالیت ها نیز به همین رابطه اجرا می گردد، و به مقصد آموزش بهتر و آسان تر فعالیت هایی توسط شاگردان و یا معلم در صنف انجام می شود. مگر آن تجاربی که برای حاصل نمودن یک کمیت انجام می شود، در لابراتوارها توسط شاگردان با رهنمائی های لازم اجرا می گردد، و همین طور برای درک این موضوع در اخیر فصل سوال ها با جواب های کوتاه طرح شده است.



## خواص نور و انعکاس

اکثریت مردم در مورد حالت ظاهری نور فکر می کنند مانند، جلا و سفیدی نور که توسط منبع نور یا آفتاب تولید می شود. با وجود این که در مورد نور مثال های دیگری نیز وجود دارد. طور مثال، هرگاه شما یک پارچه شیشه سبز یا پلاستیک را در مقابل نور سفید قرار دهید، شما نور سبز را می بینید. این حادثه برای رنگ های نور نیز صدق می نماید. ولی چشمان ما هفت رنگ را تشخیص کرده می توانند که عبارتند از: رنگ های سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش. که بعد از عبور نور سفید یا نور آفتاب از یک منشور رنگ های متذکره حاصل می گردد.

خاصیت دیگر نور عبارت از انعکاس است. به خاطر درک مفهوم انعکاس فرض نمایید که شما موهایی سرتان را اصلاح می کنید و آرزو دارید، بدانید که عقب سر شما چگونه معلوم می شود. شما می توانید این کار به ظاهر ناممکن را با استفاده از دو آئینه که نور را از قسمت عقب سر شما به طرف چشمان تان جهت می دهد انجام دهید. چنان چه قبلاً گفته شد، جهت دادن دوباره برای نور توسط آئینه ها خاصیت اساسی عمل متقابل نور با ماده را نشان می دهد. در یک ماده منظم مانند هوا، آب یا خلا، نور به امتداد خط مستقیم انتشار می یابد که این هم یک خاصیت نور است. اگر نور با مواد مختلف برخورد نماید، مسیر آن تغییر می نماید. ولی اگر ماده مکدر (تاریک) مانند سطح میز چوبی که صیقلی باشد، نور از آن عبور نخواهد کرد. مگر یک قسمت نور جذب گردیده و باقیمانده آن دوباره منعکس می شود. این تغییر جهت نور یا منعکس شدن آن به نام انعکاس یاد می گردد. تمامی اجسام یک قسمت نور وارده را جذب می کنند و باقیمانده آن را منعکس می نماید. در یک ماده شفاف و نیمه شفاف، نور جذب شده نیز مسیر خود را تغییر می دهد که این حادثه را به نام انکسار یاد می نماید، که این هم یک خاصیت مهم نور است.

### سوالات

1. رنگ سفید متشکل از کدام رنگ ها است.
2. چشمان ما چند نوع رنگ ها را تشخیص کرده می توانند.
3. خواص نور کدام ها و انعکاس چیست؟

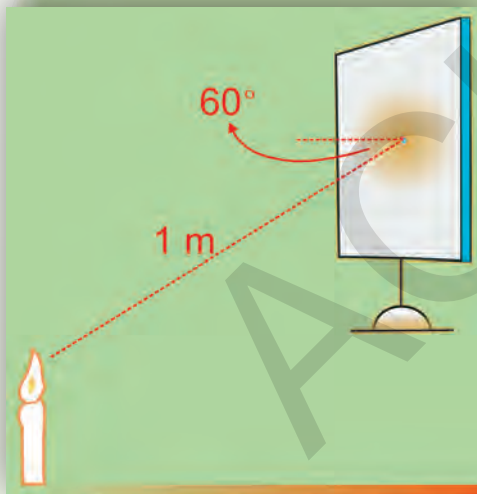
### 3-1: انتشار نور

در وقت آفتاب بر آمد، آن قسمت زمین که به طرف آفتاب واقع است روشن می‌شود. در هنگام شب ما همان چراغ روشن را می‌بینیم که از ما به فاصله زیاد قرار دارد. این که از آفتاب نور به زمین می‌رسد و یا نور چراغ به چشمان ما می‌رسد و آن را می‌بینیم، علت آن این است که از اشیای متذکره نور انتشار می‌یابد و از هوای آزاد عبور می‌نماید. محیطی که نور از آن عبور کرده می‌تواند به نام محیط شفاف یاد می‌شود، و محیطی که از آن نور عبور کرده نمی‌تواند به نام محیط غیر شفاف یاد می‌گردد.

**به پرسش‌ها ذیل جواب بدهید:**

1. چرا از طرف بیرون، اشیای داخل یک بکس فلزی یا چوبی دیده نمی‌شود؟
2. نام‌های چند ماده شفاف و غیر شفاف را بگیرید که شما می‌شناسید.

### فعالیت



چون قبلاً از آفتاب و چراغ به‌حیث منابع نور یادآوری شد، این بهتر خواهد بود که منبع وسیع و منبع نقطه‌یی نور را بشناسیم.  
مواد مورد ضرورت:  
روشنی آفتاب یا چراغ دستی و یا یک شمع روشن، مقوای کاغذی و سوزن.

شکل (3-1)

### طرز العمل:

توسط سوزن در مقوای کاغذی سوراخ کوچکی را تشکیل بدهید و آن را در مقابل آفتاب یا چراغ دستی و یا شمع روشن قرار دهید. شما خواهید دید که نور بعد از عبور از سوراخ کوچک منتشر می‌گردد. چراغ دستی و شمع روشن به نام منبع وسیع نور یاد می‌شوند و سوراخ مقوای کاغذی که به‌حیث یک منبع کوچک نور عمل می‌نماید به نام منبع نقطه‌یی نور یاد می‌گردد. ولی هر گاه چراغ دستی یا شمع روشن از فاصله‌یی دیده شود که ابعاد چراغ دستی یا شمع با این فاصله قابل مقایسه نباشد، یعنی ابعاد آن به مقایسه فاصله دید قابل نظر باشد. پس چراغ دستی و شمع روشن نیز مانند منابع نقطه‌یی دیده می‌شوند.

### 3-1-1: بسته نوری

برای این که بدانیم نور چگونه انتشار می نماید، نخست باید بسته نوری و اشعه نوری را بشناسیم.



در شکل (3-2) ذیل شما مسیر نور را در وقتی می بینید که نور از درز بین دروازه و دیوار عبور می کند مسیری نوری که از درز عبور می کند، به روی زمین یک بسته نوری را نشان می دهد. بسته نوری، که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعه یاد می شود. در حقیقت گفته می توانیم که مجموعه چندین اشعه نوری، یک دسته نوری را تشکیل می دهد. با مشاهده دسته نوری می توانیم مسیر نور را تشخیص دهیم.

شکل (3-2)

#### فعالیت

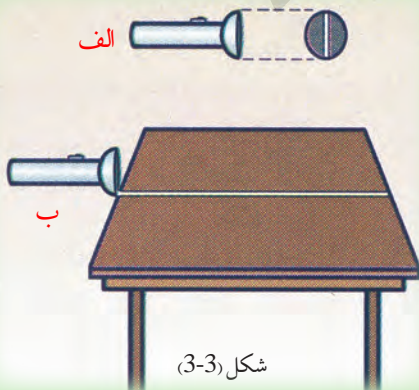
هدف: مشاهده دسته نوری و به اساس آن، تشخیص مسیر نور.

مواد مورد ضرورت:

چراغ دستی، مقوای کاغذی نسبتاً ضخیم، پرکار، قیچی، چاقو، سکاچتپ

#### طرز العمل:

1. از مقوای کاغذی به اندازه شیشه چراغ دستی دایره‌ای را قطع نمایید.
2. در مقوای یک درز مطابق شکل (3-3) ذیل با عرض یک الی دو ملی متر تشکیل دهید.



شکل (3-3)

3. مقوا را بروی شیشه چراغ دستی طوری نصب نمایید که آن را به صورت مکمل بپوشاند و از اطراف آن نور بیرون نه گردد.
4. در محلی که خیلی روشن نباشد چراغ دستی را به کنار میز قرار دهید.
5. چراغ دستی را روشن نمایید، شما به روی میز بسته نوری را خواهید دید.

## 3-1-2: انتشار نور به خط مستقیم

انتشار مستقیم الخط نور را طی اجرای فعالیت ذیل مطالعه می‌نماییم.

### فعّالیت

#### مواد مورد ضرورت:

شمع، گوگرد، چند مقوای کاغذی، چاقو

#### طرز العمل:

1. شمع را روی میز ایستاده کرده و آن را روشن نمایید.
  2. توسط چاقو در قسمت وسط دو مقوای یک درز کوچک به وجود آورید.
  3. هر سه مقوای را در مقابل شمع روشن طوری قرار دهید که دو مقوای درز دار در جلو و مقوای سوم در عقب باشد.
  4. مشاهدات خود را انجام دهید و بگویید که مقوای درز دار چگونه واقع شوند تا نور بالای مقوای سوم وارد گردد و در کدام حالت نور بالای آن وارد نمی‌شود.
- بالای مشاهدات خویش بحث نمایید. بالاخره به این نتیجه می‌رسید که نور به خط مستقیم انتشار می‌یابد.

## 3-1-2: سرعت نور

قبلاً مطالعه نمودیم که نور آفتاب به زمین می‌رسد و زمین را روشن می‌نماید، در شب نور چراغ دستی سبب رویت اشیا می‌گردد. نتیجه می‌شود که نور در یک محل از یک منبع پخش می‌گردد و روشنی آن به فاصله‌های زیاد می‌رسد و اشیا را قابل رویت می‌سازد، پس لازم است بدانیم که نور به کدام سرعت پخش می‌گردد.

در زمانه‌های قدیم که تخنیک زیاد انکشاف نه کرده بود، کوشش‌های تعیین سرعت نور ناکام گردیده بودند. زیرا سرعت نور یگانه سرعت بزرگ است. مگر زمانی که تخنیک انکشاف نمود خصوصاً در قرن بیستم، سرعت نور به دقت بهتری تعیین گردید. در وسط قرن بیستم اشتباه تجربی از 0.001 فی صد نیز کاهش یافت. سرعت قبول شده نور در خلا  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$  می‌باشد. سرعت نور در هوا نسبت به این قیمت اندک کوچک‌تر یعنی  $2.99709 \times 10^8 \text{ m/s}$  است. در این جا در محاسبات برای هر دو حالت قیمت  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  را به کار می‌برند.

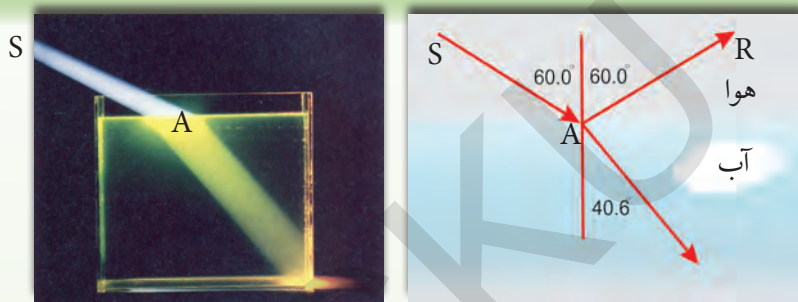


## 3-2: عمل متقابل بین نور و ماده

برای این که چگونگی عمل متقابل بین نور و ماده را درک نماییم فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم.

### فعالیت

مواد مورد ضرورت: یک ظرف شیشه‌یی، چراغ دستی، پودر تباشیر.



شکل (3-4)

### طرز العمل

فعالیت در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا گردد. ظرف شیشه‌یی را مملو از آب نموده و پودر تباشیر را در آن مخلوط نمایید و آن را بالای میز بگذارید. چراغ دستی را روشن کرده و نور آن را به‌طور مثال در امتداد SA به سطح آب وارد نمایید. مشاهدات خویش را با هم صنفان تان شریک سازید. شما به کمک غبار تباشیر در اتاق و ذرات تباشیر در آب مشاهده خواهید کرد که: اشعه SA بعد از ورود بالای سطح آب به دو قسمت تقسیم می‌گردد. یک قسمت آن در امتداد AR برگشت کرده و در هوا منتشر می‌گردد. درین حالت گفته می‌شود که نور منعکس گردیده است. اشعه SA را اشعه وارده و اشعه AR را اشعه منعکسه می‌گویند. قسمت دیگر آن داخل آب می‌گردد، مگر مسیر آن تغییر می‌نماید. این حالت را انکسار می‌گویند که بعداً مطالعه خواهید گردید.





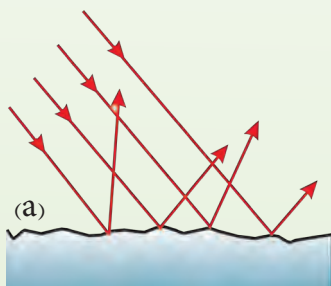
شکل (3-5)

### 3-3: انعکاس

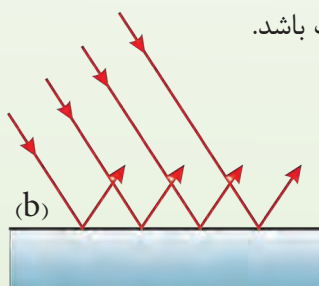
می‌دانیم که مهتاب خودش نور ندارد، پس چرا در هنگام شب سطح آن روشن معلوم می‌شود؟ و یا اگر در هنگام شب به اتاقی داخل شوید که در آن جا هیچ روشنی نباشد. آیا اشیای داخل اتاق را می‌بینید؟ ولی اگر چراغی را در آن روشن نمایید درین صورت چگونه؟ واضح است که

خواهید گفت درین حالت هر چیز را می‌بینیم، پس علت آن چیست؟ زمانی که چراغی در اتاق روشن گردد، به سبب انتشار نور در اتاق و برگشت آن از سطح اشیاء و رسیدن آن به چشمان ما اشیاء دیده می‌شود. در شکل (3-5) برگشت نور از سطح اشیاء نشان داده شده است.

درین حالت نور یک مرتبه از سطح شی برگشت کرده است. بعضی اوقات طوری واقع می‌شود که یک شی به وسیله دو مرتبه برگشت نور دیده شود، این موضوع قبلاً در دیدن عقب سر تان بیان شده است. این که چگونه نور از یک سطح منعکس می‌گردد، مربوط به همواری سطح می‌باشد. زمانی که نور از یک سطح ناهموار یا چوب صیقل ناعکاس می‌نماید در بسیاری جهات منعکس می‌گردد، چنانچه در شکل (3-6a) نشان داده شده است. این چنین انعکاس به نام انعکاس غیر منظم یاد می‌شود. هر گاه نور از یک سطح هموار جلا دار مانند آئینه یا سطح آب یک حوض منعکس گردد، انعکاس تنها در یک جهت صورت می‌گیرد، چنانچه در شکل (3-6b) نشان داده شده است که این نوع انعکاس را انعکاس منظم گویند. سطح هموار سطحی را گویند که تغییرات انحنا در آن با مقایسه طول موج نور وارده کوچک باشد.



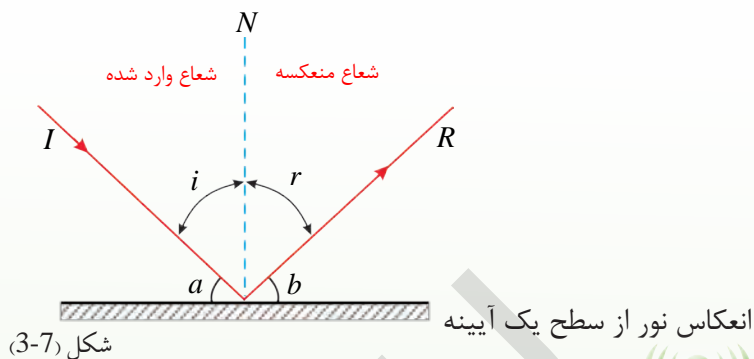
شکل (3-6)



a) انعکاس غیر منظم نور عبارت از انعکاس در بسیاری جهات می‌باشد.

b) انعکاس منظم نور عبارت از انعکاس تنها در یک جهت می‌باشد.

در شکل (3-7) ذیل اشعه وارده، اشعه منعکسه، خط عمود بالای سطح و زاویای وراده و منعکسه نشان داده شده اند.



### فعالیت

هدف: مطالعه رابطه بین زاویه وارده و زاویه منعکسه.

مواد مورد ضرورت:

مقوای ضخیم، نقاله، آئینه کوچک، چراغ دستی

### طرز العمل:

شاگردان را به گروه‌ها تقسیم نمایید. و به ایشان رهنمایی نمایید که مراحل ذیل را انجام دهند.

1. روی یک مقوای نسبتاً ضخیم و کاملاً هموار مطابق شکل (3-8) یک نقاله را رسم نمایید.

2. آئینه را

روی میز

بگذارید.

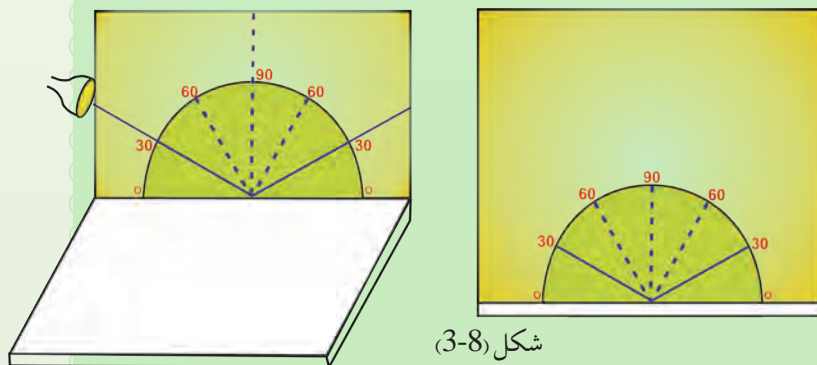
3. مقوا را

بالای سطح

آئینه عمود

و به کنار آن

نصب نمایید.



4. چراغ دستی را روشن کرده و نور آن را تحت یک زاویه معین بالای آینه وارد نمایید، طوری که نور منعکسه بالای سطح دیده شود.
5. در این حالت اندازه زاویه منعکسه را که بالای نقاله آشکار می گردد با زاویه وارده مقایسه نمایید.
6. مشاهدات خویش با یکدیگر شریک نمایید.
7. فعالیت را برای زوایائی که در شکل الف مشخص گردیده است انجام دهید. اگر فعالیت را به دقت انجام داده باشید، به این نتیجه می رسید که زاویه وارده و زاویه منعکسه با یکدیگر مساوی اند.
- اگر چراغ دستی را طوری بگیرید که اشعه وارده بالای نقاله نباشد، اشعه منعکسه نیز انجام نخواهد بود.

### 3-3-1: قوانین انعکاس

از فعالیت های فوق نتایج ذیل به دست می آید که به نام قوانین انعکاس یاد می شود:

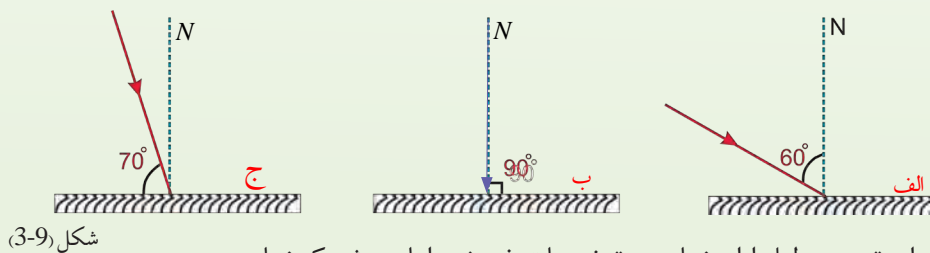
الف: اشعه وارده، اشعه منعکسه و خط عمود یا نارمل بالای همان نقطه آینه که نور بالای آن وارد می گردد و به  $N$  نشان داده می شود، در یک مستوی واقع اند.

ب: زاویه وارده و زاویه منعکسه با یکدیگر مساوی اند، یعنی:

(زاویه منعکسه)  $i = r$  (زاویه وارده)

### فعالیت

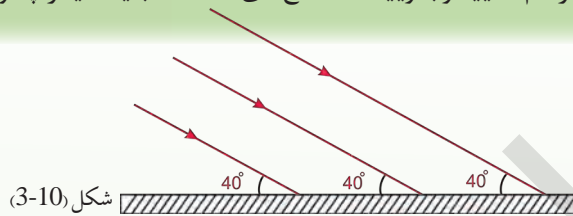
در اشکال ذیل (3-9 الف، ب و ج) برای زاویه وارده هر سطح صیقلی، زاویه منعکسه و اشعه منعکسه آن را رسم نمایید.



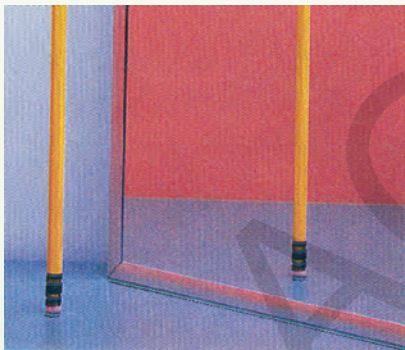
برای ترسیم دلیل ارایه نمایید و توضیحات خویش را با هم شریک نمایید.

## فعالیت

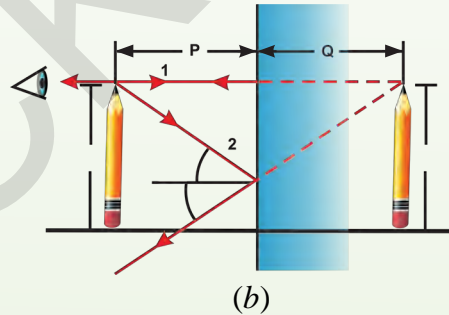
1. در شکل (3-10)، زاویای منعکسه هر اشعه وارده را تعیین نمایید.
2. زاویای مسکور با یکدیگر چگونه اند؟ و چرا؟
3. شعاع‌های منعکسه را رسم نمایید و بگویید که شعاع‌های منعکسه با یکدیگر چگونه اند؟ و چرا؟



## آینه‌های مستوی



(a)



اندازه و موقعیت یک تصویر مجازی که در آینه مستوی تشکیل می‌گردد

شکل (3-11)

شما در شکل چه را می‌بینید؟ پنسل را در آینه چگونه می‌بینید؟ تصویر پنسل در آینه به کدام نام یاد می‌شود؟ کدام تصویر را مجازی می‌گویند؟

واضح است که شما می‌گویید یک پنسل را در پیشروی آینه ایستاده کرده‌اند. این کدام نوع آینه است؟ این یک آینه مستوی است و آینه مستوی ساده‌ترین آینه‌ها است. هر گاه یک شی مانند پنسل در پیشروی یک آینه مستوی به یک فاصله، عمود قرار داده شود از هر نقطه آن اشعه نوری بالای آینه وارد می‌شود و از سطح آینه منعکس می‌گردد. مشاهدی که به آینه نگاه می‌کند طوری برایش معلوم می‌شود که این اشعه از آن طرف آینه، از یک محل منشأ گرفته است. مناسب است که گفته شود که



تصویر شی در عقب آئینه در همین محل واقع است، زیرا طوری معلوم می‌شود که نور از این نقطه منشأ گرفته است. اگر فاصله شی از آئینه را به (p) و فاصله تصویر از آئینه را به (q) نشان بدهیم با هم دیگر مساوی اند. هم چنین تصویر شی از نظر بزرگی مساوی به اصل شی می‌باشد.

تصویری که توسط شعاع‌های تشکیل شده باشد که فکر می‌شود از عقب آئینه از نقطه تصویر منشأ گرفته است، به نام تصویر مجازی یاد می‌شود. چنانچه در شکل (3-11a) فوق نشان داده شده است، آئینه مستوی همیشه تصویر مجازی تشکیل می‌دهد، و طوری معلوم می‌شود که در عقب سطح آئینه واقع است. مهم این است که تصویر مجازی را بالای پرده یا جسم دیگر فزیک‌ی نشان داده نمی‌توانیم.

### حال به پرسش‌های ذیل جواب دهید:

آیا می‌توانید در مورد موقعیت تصویر آن پنسل پیش‌گویی نمایید که در پیشروی آئینه مستوی قرار دارد؟ و به کدام طریق می‌توانید. تصویر آن را دریافت نمایید؟  
به این هردو پرسش توسط دیاگرام شعاعی که موقعیت تصویر را نشان می‌دهد، جواب گفته می‌توانیم.

طریقه دیاگرام شعاعی در شکل فوق (3-11b) نشان داده شده است. چنانچه شما می‌بینید در تصویر یک پنسل ایستاده در پیشروی یک آئینه مستوی توسط یک ترسیم هندسی ساده در عقب آئینه دریافت شده است. برای دریافت تصویر پنسل، نخست موقعیت و وضعیت آئینه را وهم‌چنان موقعیت پنسل را رسم نمایید. در هنگام ترسیم، فاصله شی را از آئینه توسط p و فاصله تصویر را از آئینه توسط q نشان دهید. به خاطر آسانی موضوع تنها نوک پنسل را در نظر بگیرید.

به خاطر این که موقعیت تصویر نوک پنسل را تعیین نمایید، شما در دیاگرام خود از این نقطه دو اشعه را رسم نمایید. اشعه اولی را طوری رسم نمایید که از نوک پنسل بالای سطح آئینه عمود باشد. چون این اشعه با عمود بالای سطح آئینه (نارمل) زاویه صفر درجه را تشکیل می‌دهد، پس زاویه انعکاس نیز صفر درجه می‌باشد.

بنابراین اشعه باید واپس روی خودش منعکس گردد. در شکل فوق این اشعه توسط عدد 1 نشانی شده است، و هر دو جهت آن ذریعه وکتورها نشان داده شده است. اشعه دوم را از نوک پنسل بالای سطح آئینه طوری رسم نمایید که این مرتبه بالای سطح آئینه عمود نباشد بلکه با عمود بالای سطح، زاویه  $\theta$  را تشکیل بدهد. در شکل فوق اشعه دوم توسط عدد 2 نشان داده شده است. اشعه منعکسه را طوری رسم نمایید که بعد از انعکاس از آئینه با نارمل، زاویه  $\theta'$  تشکیل بدهد. زاویه  $\theta$  با زاویه  $\theta'$  مساوی می‌باشد.





بعداً هر اشعه منعکسه را در عقب آئینه امتداد دهید تا یک‌دیگر را قطع نمایند. زمان که این اشعه را رسم می‌نمایید از خطوط نقطه چین استفاده نمایید. تا این شعاع‌ها از اشعه حقیقی که در پیشروی آئینه توسط خطوط ضخیم نشان داده شده‌اند، تمیز گردند. نقطه تقاطع این خطوط نقطه چین در عقب آئینه، تصویر است که درین حالت تصویر، نوک پنسل را تشکیل می‌دهد به این ترتیب شما می‌توانید تصویر هر نقطه قسمت‌های دیگر پنسل را ترسیم و تصویر مکمل مجازی پنسل را دریافت نمایید. گفتنی است که فاصله تصویر در عقب آئینه مساوی به فاصله پنسل از آئینه است ( $p = q$ ). هم‌چنان طول یا ارتفاع ( $h$ ) شی مساوی به ارتفاع ( $h'$ ) تصویر می‌باشد.

دیگرام شعاعی برای دریافت تصویر هر شی که در مقابل آئینه مستوی قرار داشته باشد به کار برده می‌شود. تصویر تشکیل شده توسط آئینه مستوی بالای مشاهدی که در پیشروی آئینه واقع باشد معکوس (متناظر) معلوم می‌شود. شما می‌توانید این اثر را با گذاشتن یک پارچه تحریر شده در پیشروی آئینه ببینید، چنان‌چه در شکل (3-12) نشان داده شده است. در آئینه هر حرف معکوس دیده می‌شود. هم‌چنان شما دیده می‌توانید که حرف و تصویر منعکسه آن نسبت به آئینه عین زاویه را تشکیل می‌دهد.



شکل (3-12)

### آئینه‌های متلاقی

تا این جا با آئینه‌های مستوی و چگونگی تصویر در آن‌ها آشنا شدید. حال پرسش به وجود می‌آید که هرگاه دو آئینه مستوی با یک‌دیگر یک زاویه را تشکیل بدهند و یک اشعه بالای یک آئینه وارد گردد، چه واقع می‌شود؟



به پرسش با ذکر یک مثال جواب می‌دهیم:

### مثال:

دو آئینه  $M_1$  و  $M_2$  را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل زاویه  $120^\circ$  را با یکدیگر تشکیل می‌دهند. یک اشعه بالای آئینه  $M_1$  طوری وارد می‌شود که با عمود بالای آئینه زاویه  $65^\circ$  را تشکیل می‌دهد. جهت اشعه را بعد از انعکاس از آئینه  $M_2$  دریافت نمایید.

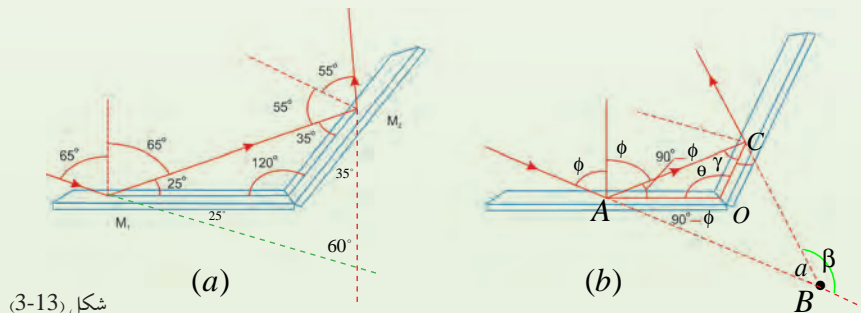
### حل:

شکل (3-13) به درک این حالت کمک می‌کند. اشعه وارده از آئینه اولی منعکس می‌گردد و اشعه منعکسه به طرف آئینه دومی پخش می‌گردد. در آن جا توسط آئینه دومی منعکس می‌شود. بنابراین عمل متقابل اشعه با هر دو آئینه عبارت از انعکاسات ساده است. برای تحلیل مسأله از قانون انعکاس استفاده می‌نماییم. می‌دانیم که اشعه منعکسه اولی با عمود زاویه  $65^\circ$  را تشکیل می‌دهد. از این جا اشعه با افق زاویه  $90^\circ - 65^\circ = 25^\circ$  را تشکیل می‌دهد.

در مثلثی که توسط اشعه منعکسه اولی و دو آئینه تشکیل می‌گردد، دیده می‌شود که اشعه منعکسه اولی با آئینه  $M_2$  زاویه  $35^\circ$  را تشکیل می‌دهد، (زیرا مجموعه زوایای داخلی هر مثلث  $180^\circ$  می‌باشد). بنابراین این اشعه با عمود بالای آئینه  $M_2$  زاویه  $55^\circ$  را تشکیل می‌دهد. به اساس قانون انعکاس اشعه منعکسه دوم با عمود بالای آئینه  $M_2$ ، زاویه  $55^\circ$  را تشکیل می‌دهد.

### بیاید که تغییرات زاویه بین آئینه‌ها را مطالعه نماییم.

هر گاه اشعه وارده و اشعه منعکسه خروجی در شکل (3-13a) به عقب آئینه امتداد داده شود، آن‌ها یکدیگر را تحت زاویه  $60^\circ$  قطع می‌نمایند، زیرا که تغییر مجموعی در جهت اشعه



شکل (3-13)

نوری  $120^\circ$  می‌باشد، و این برابر به زاویه بین آینه‌ها می‌باشد. اگر زاویه بین آینه‌ها تغییر نماید چه واقع می‌شود؟ اما تغییر مجموعی در جهت اشعه نوری همیشه برابر با زاویه بین آینه‌ها می‌باشد.

جواب: تشکیل یک بیان عمومی محض به اساس یک قیمت (دیتا) همیشه قابل اعتماد نمی‌باشد. پس بیاید که تغییر جهت اشعه نوری را برای یک حالت عمومی مطالعه نماییم. شکل (3-13b) یک زاویه اختیاری  $\theta$  را بین آینه‌ها نشان می‌دهد. اشعه وارده بالای آینه به زاویه  $\phi$  که در سطح آینه با نارمل تشکیل می‌دهد، وارد می‌شود. به اساس قانون انعکاس و مجموعه زوایای داخلی یک مثلث زاویه  $\gamma$  عبارت است از:

$$\hat{\gamma} = 180^\circ - (90^\circ - \phi) - \theta = 90^\circ + \phi - \theta$$

در شکل (3-13b) با در نظر داشت مثلث  $\triangle ABC$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$\alpha = 180^\circ - 2\gamma - 2(90^\circ - \phi)$$

$$\alpha + 2\gamma + 2(90^\circ - \phi) = 180^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 2\gamma - 180^\circ + 2\phi$$

$$\alpha = 2(\phi - \gamma)$$

$$\alpha = -2\gamma + 2\phi$$

تغییر جهت اشعه عبارت از زاویه  $\beta$  می‌باشد، که قیمت آن با  $180^\circ - \alpha$  مساوی است

$$\beta = 180^\circ - \alpha = 180 - 2(\phi - \gamma) \Rightarrow \gamma = 90 + \phi - \theta$$

$$= 180 - 2[\phi - (90^\circ + \phi - \theta)]$$

$$= 180 + 180 - 2\phi + 2\phi - 2\theta$$

$$\beta = 360 - 2\theta$$

گفتنی است که  $\beta$  با  $\theta$  مساوی نیست. برای  $\theta = 120^\circ$ ،  $\beta = 120^\circ$  حاصل می‌شود، که مساوی به زاویه بین آینه‌ها می‌باشد. ولی این تنها برای این حالت خاص صدق می‌نماید. طور مثال هرگاه  $\theta = 90^\circ$  باشد،  $\beta = 180^\circ$  حاصل می‌شود. در این حالت نور واپس بالای نور وارده منعکس می‌گردد. تا حال زاویه بین اشعه وارده و اشعه خروجی منعکسه را در آینه‌های متلاقی مطالعه کردیم.

هرگاه در بین آینه‌های متلاقی یک شی واقع گردد، تصاویر آن چگونه تشکیل می‌شود؟ این پرسش را نیز طی یک مثال توضیح می‌نماییم.

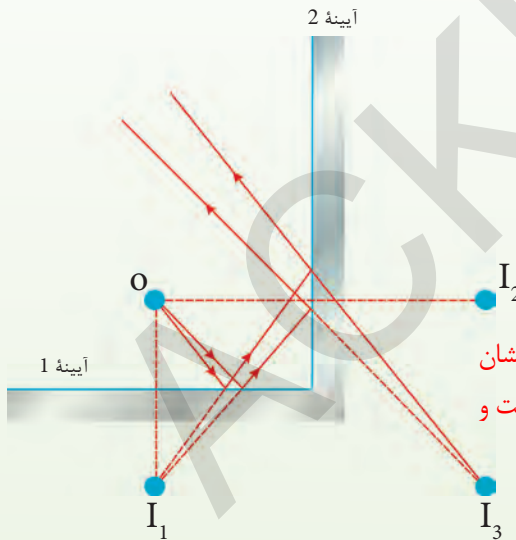


### مثال:

دو آئینه مستوی را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (3-14) ذیل یکی بالای دیگر عمود بوده و یک شی در نقطه O مقابل هر دو آئینه واقع باشد. در این حالت تعداد زیادی تصاویر تشکیل می‌گردد. محل‌های این تصاویر را تعیین می‌نماییم.

### حل:

تصویر شی در آئینه 1،  $I_1$  و در آئینه 2 تصویر آن  $I_2$  است. و هم‌چنان تصویر سوم تشکیل می‌گردد. این تصویر سوم عبارت از تصویر  $I_1$  در آئینه 2 یا تصویر  $I_2$  در آئینه 1 می‌باشد. یعنی تصویر  $I_1$  یا  $I_2$  برای  $I_3$  حیثیت شی را دارد. گفتنی است که برای تشکیل تصویر در این حالت بعد از این که اشعه شی را ترک نمایید، دو مرتبه منعکس می‌گردد.



شکل (3-14) شی را بین دو آئینه نشان می‌دهد که  $90^\circ$  با یکدیگر تشکیل داده است و سه تصویر را تشکیل می‌دهد.

هر گاه از نقطه متلاقی آئینه‌ها دایره‌یی را رسم نماییم، در عمل دیده می‌شود که هر سه تصویر و خود شی بالای دایره محیط واقع می‌شوند. پس مناسب است که بنویسیم  $\frac{360}{90} = 4$  این که بالای محیط دایره یکی آن خود جسم است. پس برای تعداد تصاویر می‌توانیم بنویسیم که  $3 = \frac{360}{90} - 1$ . در این جا 3 تعداد تصاویر و  $90^\circ$  زاویه بین آئینه‌ها است. بنابر این به صورت عمومی برای آئینه‌های متلاقی می‌توانیم بنویسیم که:

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

$n$ ، تعداد تصاویر و  $\alpha$  زاویه بین آئینه‌های متلاقی است.

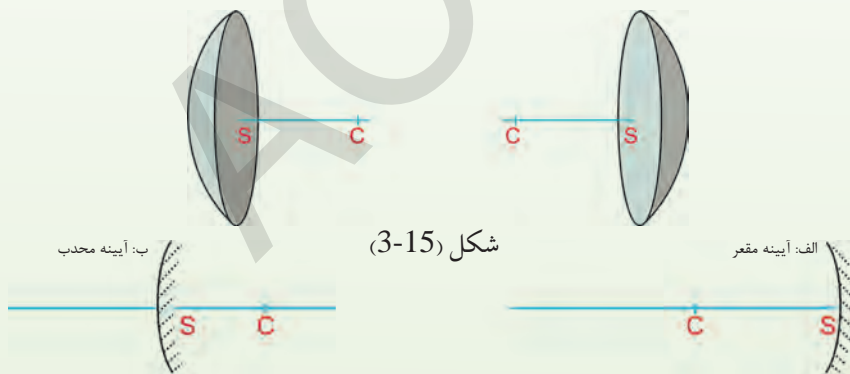
### 3-4: آینه‌های کروی

آینه‌های مستوی را شناختید و با چگونگی تشکیل تصویر در آن‌ها آشنا شدید. در بعضی تجارب علمی از آینه‌های نوع دیگر نیز استفاده می‌شود که به نام آینه‌های کروی یاد می‌شوند. آینه‌های کروی چنان‌چه از نام آن هویدا است، شکل یک قسمت کره را دارند، یعنی تمام نقاط آینه از یک نقطه که به نام مرکز آینه (وهم مرکز کره که آینه یک قسمت آن است) یاد می‌شود، عین فاصله را دارند.

#### 3-4-1: آینه‌های مقعر و محدب

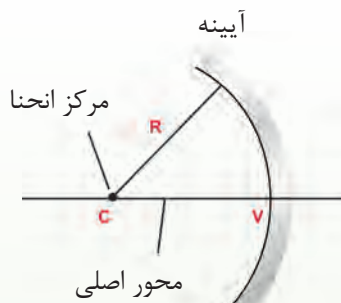
هر گاه سطح داخلی آینه کروی منعکس کننده باشد آن را به نام آینه مقعر و اگر سطح خارجی آن منعکس کننده باشد به نام آینه محدب یاد می‌شود. این هر دو نوع آینه‌ها در شکل (3-15) نشان داده شده است.

این که کدام طرف این آینه‌ها منعکس کننده است، آینه‌های کروی به دو گروه تقسیم می‌شوند که به نام آینه مقعر و آینه محدب یاد می‌شود.

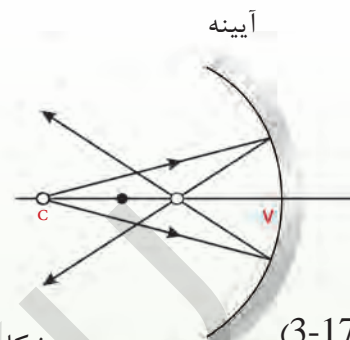


شکل (3-16) یک آینه مقعر را نشان می‌دهد، در این آینه نور توسط سطح داخلی آینه منعکس می‌گردد. شعاع انحنای آینه R و مرکز انحنای آن C است. نقطه V عبارت از مرکز قسمت کروی است، و خطی که از C و عبور می‌کند به نام محور اصلی آینه یاد می‌شود.

قانون انعکاس در مورد آئینه‌های کروی نیز صدق می‌نماید. یعنی اگر در همان نقطه آئینه کروی که نور وارد می‌شود عمودی بالای سطح رسم گردد، زوایای وارده و منعکسه مشخص می‌شود. در این جا نیز زوایای وارده و منعکسه باهم مساوی اند شکل (3-17).



شکل (3-16)



شکل (3-17)

### فعالیت

هدف: شناخت محراق و فاصله محراقی آئینه مقعر.

مواد مورد ضرورت:

آئینه مقعر، یک ورق کاغذ

### طرز العمل:

1. آئینه مقعر را در مقابل آفتاب قرار دهید.
2. ورق کاغذ را در مقابل آئینه طوری جابه جا نمایید تا کوچک‌ترین دایره روشن به روی صفحه کاغذ نمایان گردد. توجه نمایید که ورقه کاغذ را باید طوری قرار دهید تا مانع رسیدن اشعه آفتاب به آئینه نه گردد. ورقه کاغذ را طوری حفظ نمایید که دایره روشن روی صفحه کاغذ کوچک‌ترین اندازه و روشن‌ترین حالت را دارا باشد. محل تشکیل دایره روشن به نام محراق اصلی آئینه یاد می‌شود.

فاصله از محراق الی آئینه به نام فاصله محراقی آئینه یاد می‌شود. در آئینه‌های مقعر محراق حقیقی است. از اندازه کردن فاصله محراقی معلوم شده است که این فاصله نصف فاصله از مرکز انحنا الی آئینه می‌باشد. یعنی فاصله محراقی نصف شعاع آئینه است. اگر فاصله محراقی



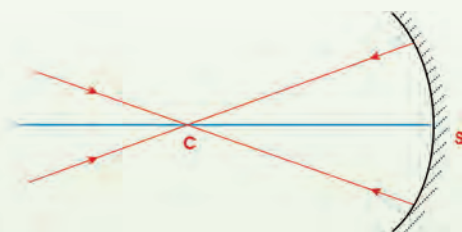
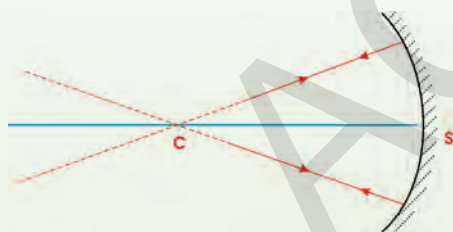
$f$  و شعاع آینه  $r$  باشد پس داریم که:

$$f = \frac{r}{2}$$

تا این جا دانستیم که در آینه‌های کروی قانون انعکاس صدق می‌نماید. هم‌چنان محور اصلی، شعاع انحناء، مرکز انحناء، محراق و فاصلهٔ محراقی آینهٔ مقعر را شناختیم. حال در یک آینهٔ مقعر اشعهٔ وارده و منعکسه را رسم می‌نمایم.

الف) اشعه‌یی که از مرکز آینهٔ مقعر عبور کرده و بالای آینه وارد گردد و یا طوری بالای آینه وارد گردد که امتداد آن از مرکز آینه عبور نماید، بالای مسیر اولی خویش منعکس می‌گردد.

زیرا این اشعه بالای آینه عمود می‌باشد، یعنی  $\hat{i} = \hat{r} = 0$  (هر خطی که از مرکز کره عبور می‌نماید بالای کره عمود می‌باشد). در اشکال (3-18 الف، ب) این نوع شعاع‌ها در آینهٔ مقعر نشان داده شده است. (نقطهٔ  $C$  مرکز انحنای آینه است).



شکل (3-18)

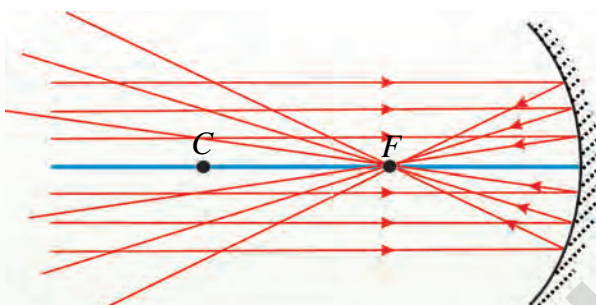
ب، اشعه‌یی که در امتداد مرکز بالای آینهٔ مقعر بتابد بالای مسیر اولی خود منعکس می‌گردد

الف، اشعه‌یی که از مرکز عبور کرده و بالای آینه وارد گردد بالای مسیر اولی خودش منعکس می‌شود.

ب: در فعالیت قبلی با در نظر داشت این که شعاع آفتاب از فاصلهٔ بی نهایت بالای آینهٔ مقعر می‌تابد، تمام آن موازی با محور اصلی می‌باشد، نتیجه می‌شود که: هر گاه شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای آینهٔ مقعر بتابد، شعاع منعکسهٔ آن از یک نقطهٔ بالای محور اصلی که به نام محراق یاد می‌شود عبور می‌نمایند.

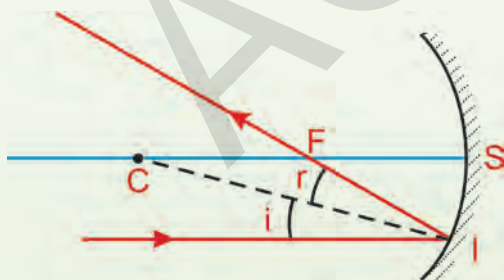


شکل (3-19) اشعه وارده و منعکسه را در یک آئینه مقعر نشان می‌دهد. به این ترتیب هر اشعه‌یی که موازی با محور اصلی بالای آئینه مقعر بتابد، اشعه منعکسه آن از محراق آئینه عبور می‌نماید.



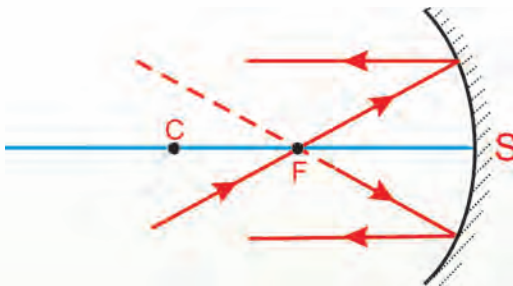
شکل (3-19) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آئینه مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق اصلی عبور می‌نماید

در شکل ذیل (3-20) یک اشعه موازی با محور اصلی و اشعه منعکسه آن نشان داده شده است. چنانچه ذکر گردید در این آئینه نیز قانون انعکاس صدق می‌نماید. یعنی هر گاه بالای سطح آئینه در نقطه I نور وارد شده و خط عمود (IC) رسم گردد، دیده می‌شود که زاویه وارده و زاویه منعکسه با یکدیگر مساوی اند.



شکل (3-20) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آئینه مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق آئینه عبور می‌نماید

ج: شکل ذیل (3-21) نشان می‌دهد که هر گاه اشعه وارده از محراق عبور کرده و بالای آئینه مقعر بتابد، و یا طوری وارد گردد که امتداد آن از محراق عبور نماید، در چنین حالتها اشعه منعکسه آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد.



شکل (3-21) قبل از این که به اساس  
معلومات فوق تصویر یک شی را در  
آیینه مقعر توسط ترسیم دریافت  
نماییم، به پرسش‌های ذیل پاسخ  
دهید.

آیا شما تصویر یک شمع روشن را در  
آیینه مقعر دیده آید؟  
این چگونه تصویر خواهد بود؟

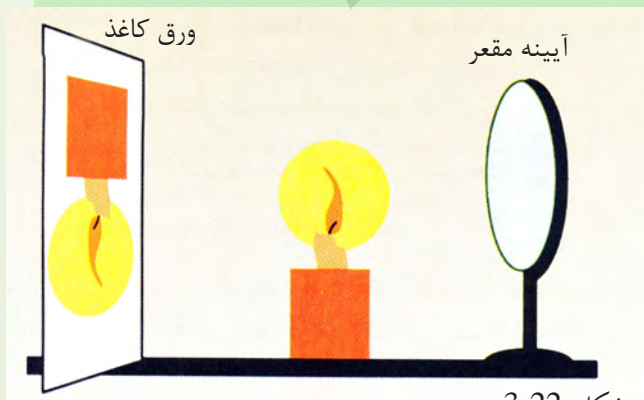
### فعالیت

مواد مورد ضرورت:

هدف: دیدن تصویر یک شمع روشن در آیینه مقعر.  
آیینه مقعر با پایه، شمع، گوگرد، یک ورق کاغذ

### طرز العمل:

1. فعالیت باید در اتاق نسبتاً تاریک انجام شود.
2. چنان چه در فعالیت قبلی ذکر گردید، محل محراق اصلی را تعیین و فاصله آن را  
الی آیینه اندازه نمایید.
3. آیینه را بالای پایه نصب نمایید، شمع را روشن کرده و در فاصله بین محراق اصلی و  
مرکز آیینه در مقابل آیینه قرار دهید. ورق کاغذ را طوری جابه‌جا نمایید تا بالای کاغذ، تصویر  
روشن و واضح شمع دیده شود.



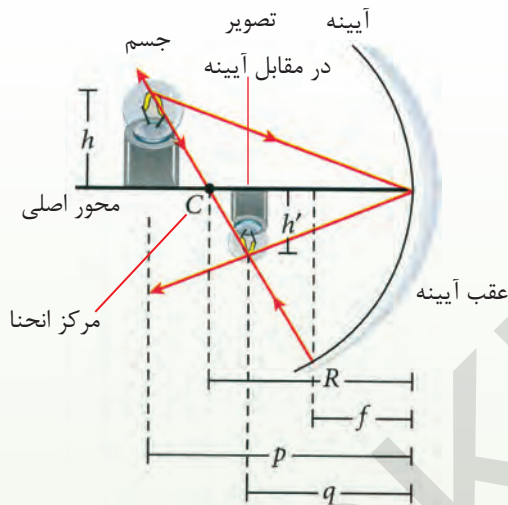
شکل (3-22)

متوجه باشید که ورق کاغذ مانع  
رسیدن نور از آیینه نگردد.

4. شمع روشن را در فاصله  
بین محراق و مرکز آیینه در  
محل‌های مختلف قرار دهید و  
در هر محل تصویر آن را به روی  
صفحه کاغذ مشاهده نمایید و  
نتیجه را در گزارشی بنویسید  
که شما آن را تهیه می‌نمایید.

## 3-4-2: تصویر در آینه‌های کروی

**الف:** ابتداء در آینهٔ مقعر تشکیل تصویر یک شمع روشن را به وسیلهٔ ترسیم مطالعه می‌نماییم شکل زیر را می‌بینیم:



شکل (3-23)

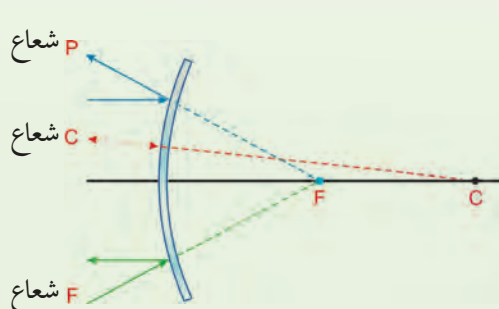
دریافت تصویر یک شمع روشن  
توسط ترسیم در آینهٔ مقعر.

چنانچه در شکل بالا نشان داده شده است، شمع روشن خارج از مرکز انحنا آینهٔ مقعر گذاشته شده است قاعدهٔ شمع در محور اصلی آینه واقع شده است.

## ب: آینهٔ کروی محدب

آینهٔ کروی محدب عبارت از یک قسمت کره‌یی است که سطح داخلی آن جیوه شده و سطح خارجی محدب آن منعکس کننده باشد. این نوع آینه را آینهٔ متباعد نیز می‌گویند؛ زیرا شعاع‌های وارده، بعد از انعکاس از یکدیگر فاصله می‌گیرند و چنین معلوم می‌شود که گویا در عقب آینه از یک نقطه منشأ گرفته باشند.

بنابر این تصویر حاصل شده همیشه مجازی و فاصلهٔ تصویر منفی می‌باشد. زیرا سطح

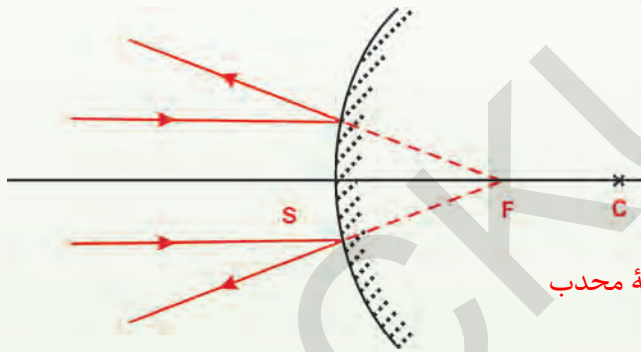


انعکاس دهندهٔ آینه در جهت مخالف شعاع انحنا قرار دارد، هم چنین فاصلهٔ محراقی آینهٔ کروی محدب نیز منفی است. نقطهٔ محراقی و مرکز انحنا در عقب سطح آینه قرار دارد.

شکل (3-24)

## محرّاق آئینهٔ محدب

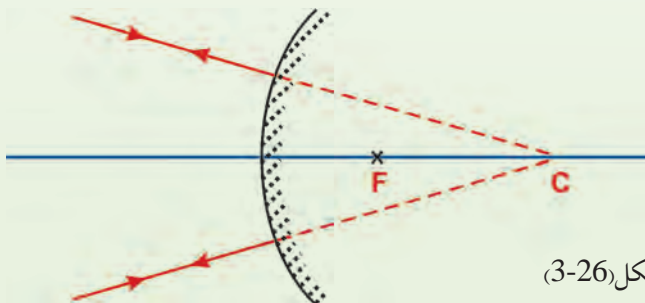
هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آئینهٔ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شعاع منعکسهٔ آن در عقب آئینه از یک نقطهٔ بالای محور اصلی عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محرّاق آئینهٔ محدب یاد می‌کنند. محرّاق آئینهٔ محدب مجازی است. فاصله از محرّاق آئینه الی آئینه را فاصلهٔ محرّاقی می‌گویند. در آئینه‌های محدب نیز فاصلهٔ محرّاقی، نصف شعاع، یعنی  $(f = \frac{r}{2})$  می‌باشد. شکل ذیل (3-25) شعاع واردهٔ موازی با محور اصلی بالای آئینهٔ محدب و چگونگی انعکاس آن را نشان می‌دهد.



شکل (3-25) محرّاق آئینهٔ محدب

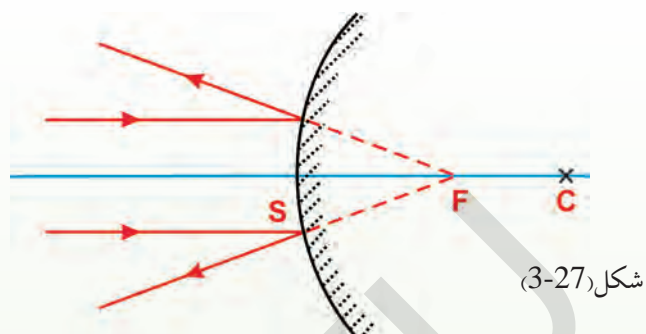
## ترسیم اشعهٔ منعکسه در آئینهٔ محدب

الف) اشعه‌یی که بالای آئینهٔ محدب طوری بتابد که امتداد آن در عقب آئینه از مرکز آئینه عبور نماید، بالای خود اشعه منعکس می‌گردد. در شکل (3-26) شعاع‌هایی نشان داده شده است که در امتداد مرکز آئینه بالای آئینه می‌تابند.

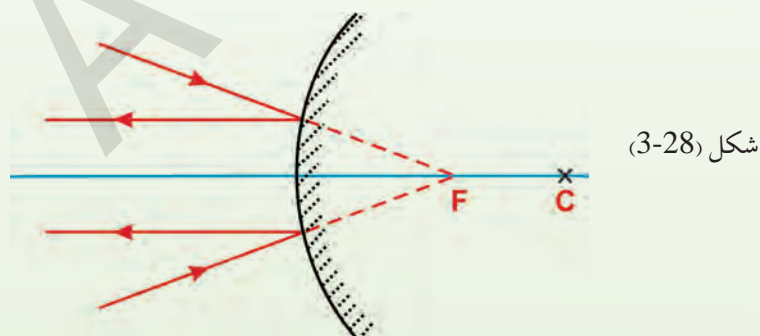


شکل (3-26)

ب) اشعه‌ای که موازی با محور اصلی بالای آیینۀ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد اشعه‌ی منعکسه آن از محراق مجازی آیینۀ محدب (در عقب آیینۀ) عبور می‌نماید.



ج) هرگاه امتداد شعاع‌های وارده از محراق عبور نماید، شعاع‌های منعکسه آن‌ها موازی با محور اصلی می‌باشد. این نوع شعاع‌ها در شکل (3-28) نشان داده شده‌اند.

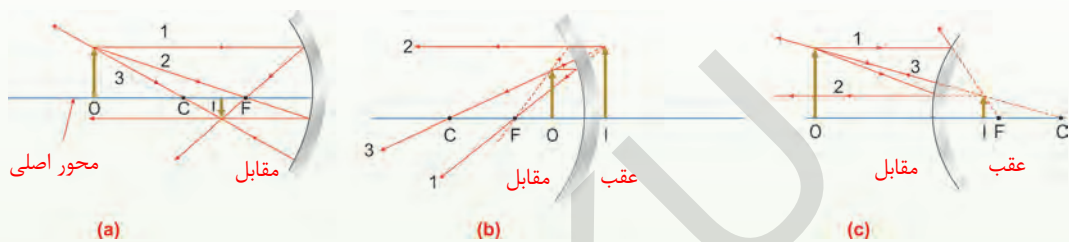


حال که در هر دو نوع آیینۀ کروی با شعاع‌های وارده و چگونگی شعاع منعکسه مربوط آن‌ها آشنا شدید، بیایید که با استفاده از این دانش در آیینۀ‌های متذکره تصویر یکی شی را توسط ترسیم تشکیل بدهیم.



### 3-4-3: تشکیل تصویر در آینه‌های کروی

توسط ترسیم شعاع‌ها می‌توانیم محل و اندازه تصاویر را طور مناسب دریافت نماییم. این ساختمان گرافیکی، طبیعت تصویر را نشان می‌دهد. برای ترسیم لازم است که محل شی (موقعیت)، محراق آینه و مرکز انحنا را بشناسیم. بعداً برای دریافت محل تصویر سه اشعه اساسی را از شی رسم می‌نماییم، چنان‌چه در مثال‌های شکل (3-29) نشان داده شده است.



شکل (3-29) ساختن تصویر در آینه‌های کروی

(a) هر گاه شی در محلی واقع باشد که مرکز انحنا بین شی و سطح آینه مقعر واقع باشد، تصویر حقیقی، معکوس و کوچک‌تر از اصل شی می‌باشد.

(b) هر گاه شی بین محراق و سطح آینه مقعر واقع باشد، تصویر مجازی، راسته و بزرگ‌تر از اصل شی می‌باشد.

(c) هر گاه شی در پیشروی آینه محدب واقع باشد، تصویر مجازی، راسته و کوچک‌تر از اصل شی می‌باشد.

این شعاع‌ها تماماً به طور نمونه از عین نقطه شی آغاز می‌نماید و ترسیم صورت می‌گیرد. می‌توانیم بالای شی هر نقطه دلخواه را انتخاب نماییم. در این جا برای آسانی کار نوک جسم را انتخاب کرده ایم. برای آینه مقعر اشکال  $(3-29a)$  را مشاهده نمایید، شعاع‌های اساسی ذیل را رسم می‌نماییم:

اشعه اول را از نوک جسم موازی با محور اصلی رسم می‌نماییم که منعکسه آن از محراق F عبور می‌کند.

اشعه دوم از نوک جسم رسم شده، از محراق عبور می‌نماید و موازی با محور اصلی منعکس می‌گردد.

اشعهٔ سوم از نوک جسم رسم، از مرکز انحنای (C) گذشته و بالای خود اشعه منعکس می‌شود.

از جملهٔ این شعاع‌ها تقاطع دو اشعه، محل تصویر را تعیین می‌نماید و اشعهٔ سوم برای ملاحظهٔ این ساختمان به کار برده می‌شود. فاصله‌یی که برای نقطهٔ تصویر از آئینه به این ترتیب حاصل می‌شود، مساوی با قیمتی است که توسط محاسبه بدست می‌آید. هر گاه شی به آئینهٔ مقعر خیلی نزدیک شود چه واقع می‌شود؟ زمانی که در شکل (3-29a) شی به محراق نزدیک شود تصویر حقیقی، معکوس و به طرف چپ حرکت می‌کند.

وقتی که شی در محراق واقع شود، تصویر به طرف لایتناهی می‌رود. زمانی که شی بین محراق و سطح آئینه واقع گردد، چنانچه در شکل (3-29b) نشان داده شده است، تصویر مجازی، راسته و بزرگ می‌باشد. طور مثال هر گاه روی شما به آئینه نسبت به محراق نزدیک واقع شود، شما تصویر روی خود را راسته و بزرگ خواهید دید.

برای تشکیل تصویر در آئینه‌های محدب سه شعاع اساسی ذیل را در نظر می‌گیریم:  
اشعهٔ اول را از نوک جسم موازی به محور اصلی رسم کرده و از آئینه طوری منعکس می‌گردد که امتداد آن از محراق F عبور می‌کند.

اشعهٔ دوم را از نوک جسم به عقب آئینه به طرف محراق طوری رسم می‌نماییم که با محور اصلی موازی منعکس می‌گردد.

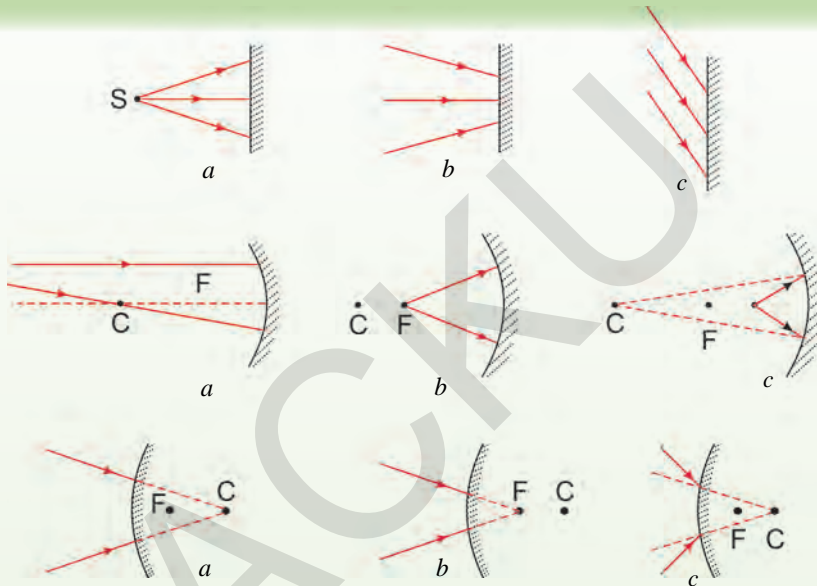
اشعهٔ سوم را از نوک جسم به عقب آئینه به طرف مرکز آئینه طوری رسم می‌نماییم که به مسیر اشعه واپس منعکس می‌گردد.

در آئینهٔ محدب تصویر یک شی همیشه مجازی، راسته و نسبت به اصل شی کوچک‌تر می‌باشد چنانچه در شکل (3-29c) نشان داده شده است. در این حالت زمانی که فاصلهٔ جسم یعنی شی به آئینه نزدیک می‌شود تصویر مجازی بزرگ شده و از محراق به طرف آئینه می‌رود.

### فعالیت

شما دیاگرام‌های دیگری را تشکیل بدهید و نشان دهید که در آئینه‌های محدب موقعیت تصویر نسبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید.  
هم‌چنان نشان دهید که در آئینه‌های مقعر موقعیت تصویر نسبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید.

الف) مطابق شکل (3-30)، ذیل اشعه نوری بالای آینه‌ها می‌تابد. با استفاده از قانون انعکاس نور در هر یک از اشکال ذیل مسیر اشعه منعکسه را رسم نمایید.



شکل (3-30)

ب) با استفاده از نتایج قسمت الف فوق جدول ذیل را تکمیل نمایید.

شعاع منکسه			نوع آینه
موازی	متباعد	مقارب	a
			b
			c
			a
			b
			c
			a
			b
			c
			a
			b
			c

### 3-5: معادلات آینه‌ها

در شکل (3-31a) مشاهده می‌نمایید که فاصله شی، فاصله تصویر از آینه و شعاع انحنای آینه با یکدیگر رابطه دارند هرگاه فاصله شی از آینه و شعاع انحنای آینه را بشناسیم، می‌توانیم پیشگویی نماییم که تصویر در کجا تشکیل می‌شود. هم‌چنان می‌توانیم با شناخت فاصله شی و فاصله تصویر از آینه، شعاع انحنای آینه را دریافت نماییم. معادله ذیل که رابطه بین فاصله شی  $P$ ، فاصله تصویر  $q$  و شعاع انحنای  $R$  را نشان می‌دهد، به نام

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

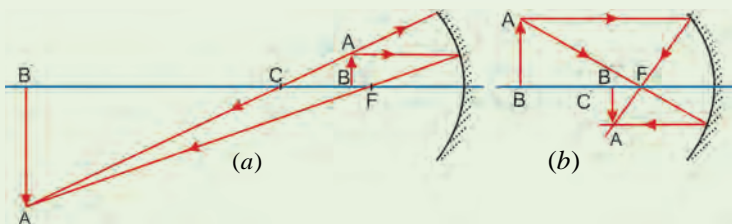
اگر فاصله موقعیت یک شمع از آینه خیلی زیاد باشد، پس فاصله شی  $P$  به مقایسه  $R$  خیلی بزرگ بوده و  $\frac{1}{P}$  تقریباً صفر می‌شود. در این حالت  $q$  تقریباً مساوی به  $\frac{R}{2}$  گردیده، بنابراین تصویر در فاصله نصف بین مرکز انحنای و سطح آینه تشکیل می‌شود. چنان‌چه در اشکال (a و 3-31b) نشان داده شده است که تصویر، شکل کوچک (تقریباً نقطه‌یی) را داشته و این محل به نام محراق یاد می‌شود که توسط حرف  $F$  نشان داده می‌شود.

هرگاه منبع نوری در محراق واقع باشد، شعاع منعکسه آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد و تصویر تشکیل نمی‌شود. یعنی منبع نوری که از آینه به فاصله خیلی زیاد واقع باشد، شعاع‌های منتشره آن با یکدیگر موازی بوده و در این حالت تصویر در محراق تشکیل می‌گردد و فاصله این تصویر به نام فاصله محراقی یاد می‌شود که توسط  $f$  نشان داده می‌شود. چون در آینه‌های کروی فاصله محراقی مساوی به نصف شعاع انحنای است، پس معادله، آینه

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{2f}$$

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

$$\frac{1}{\text{فاصله شی}} + \frac{1}{\text{فاصله تصویر}} = \frac{1}{\text{فاصله محراقی}} \quad \text{یعنی:}$$



شکل (3-31)

در وقت استفاده از معادله آینه باید برای سه متحولین علامات مناسبی به کار برده شود. برای این مقصد آن جانب را که اشعه نوری به آن طرف منعکس شده و تصاویر حقیقی تشکیل می‌گردد به نام جانب پیشروی آینه یاد می‌شود. جانب دیگر آینه که در آن جا شعاع نوری وجود ندارد و تصاویر مجازی تشکیل می‌شوند به نام جانب عقب آینه یاد می‌شود. هر گاه یک فاصله از مرکز آینه الی هر نقطه دیگری که در پیشروی آینه واقع باشد اندازه گردد، فاصله شی و تصویر علامه‌های مثبت دارند. برای تصاویری که در عقب آینه تشکیل می‌شوند، فاصله‌ها علامه‌های منفی را دارا می‌باشند. چون سطح صیقلی آینه مقعر به طرف پیشروی آینه واقع است، بنابراین فاصله محراقی آن همیشه دارای علامه مثبت می‌باشد. هر گاه شی و تصویر هر دو بالای محور اصلی واقع باشند، اگر به طرف بالا باشد دارای علامه مثبت و اگر به طرف پایین باشد دارای علامه منفی می‌باشد.

### سوالات

1. اگر منبع نوری در محراق واقع باشد شعاع منعکسه آن از آینه چگونه انتشار می‌یابد؟
2. در وقت استفاده از معادله آینه کدام فواصل مثبت و کدام فواصل منفی در نظر گرفته می‌شود؟
3. فاصله محراقی با شعاع انحنای آینه چگونه رابطه دارد؟
4. هر گاه شی و تصویر به طرف بالای محور اصلی یا طرف پایین آن واقع باشند، دارای کدام علایم خواهند بود؟

### 3-5-1: ثبوت هندسی معادله آینه

قبلاً گفته شد که بین فاصله شی، فاصله تصویر و شعاع انحنای رابطه‌ی وجود دارد که به نام معادله آینه یاد می‌شود و شکل ذیل را دارد:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots (1)$$

این رابطه را می‌توانیم با استفاده از طریقه ترسیم هندسی برای پیدا کردن تصویر یک شی در آینه کروی مقعر ثبوت نماییم. برای این مقصد شکل را در نظر می‌گیریم و مطابق به قرار داد فاصله شی از نقطه V آینه را P و فاصله تصویر را q و هم‌چنان شعاع انحنای آینه را توسط R نشان می‌دهیم. شکل (3-32) دو شعاع را نشان می‌دهد که از نوک شی پخش می‌گردد. یک شعاع از مرکز انحنای آینه (C) عبور کرده، بالای سطح آینه طور عمود می‌تابد و واپس بالای خود شعاع منعکس می‌گردد. اشعه دوم بالای مرکز آینه (نقطه V) می‌تابد و مطابق به قانون انعکاس چنان‌چه در شکل نشان داده شده است منعکس می‌شود. تصویر این نقطه در محلی تشکیل می‌گردد که این شعاع‌ها یک‌دیگر را قطع می‌نمایند. در شکل (3-32) با استفاده از مثلث ABV می‌توانیم بنویسیم که  $tg\theta = \frac{h}{p} = \frac{AB}{Bv}$  و از مثلث ABV می‌توانیم بنویسیم که  $tg\theta' = \frac{A'B'}{IV} = -\frac{h'}{q}$  علامه منفی به خاطر این است که تصویر معکوس می‌باشد. بنابراین  $h'$  نیز منفی می‌باشد. چون  $\theta = \theta'$  است پس یک طرف این دو رابطه باهم مساوی می‌شوند و می‌توانیم بنویسیم که:  $\frac{h}{p} = \frac{h'}{q}$

و یا

$$\frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \dots\dots\dots (2)$$

هم‌چنان در شکل (3-32) بروی دو مثلث‌های که دارای زاویه‌های متشابه می‌باشند،

$$tg\alpha = \frac{h}{P-R} \quad \text{می‌توانیم بنویسیم که:}$$

و:

$$tg\alpha = -\frac{h'}{R-q}$$





از روابط فوق می‌توانیم بنویسیم که:

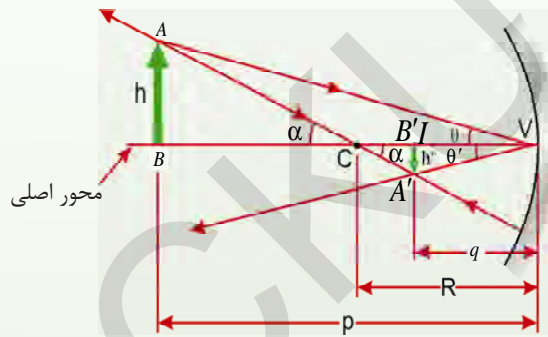
$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{P-R} \dots\dots\dots (3)$$

از مقایسه معادلات 2 و 3 داریم که:  $\frac{R-q}{P-R} = \frac{q}{P}$

$$pR - pq = qp - qR \Rightarrow pR + qR = 2pq$$

اطراف را به  $pqR$  تقسیم نموده داریم:  $\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots (4)$

چنانچه قبلاً نیز ذکر گردید، این افاده به نام معادله آینه یاد می‌شود.



شکل (3-32)

تصویر تشکیل شده توسط آینه کروی مقعر درحالی که شی (0) خارج از مرکز انحنا واقع باشد این ترسیم هندسی برای ثبوت معادله آینه به کار برده شده است

به اساس معلومات قبلی که فاصله محراقی به اندازه نصف شعاع انحنا است، پس معادله (4)

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (5)$$

برای مقایسه کردن یک آینه با آینه دیگر از  $f$  استفاده می‌شود.

آیا فاصله محراقی تابع مواد تشکیل دهنده آینه می‌باشد؟

نه خیر، زیرا تصویر در نتیجه شعاع منعکسه از سطح آینه تشکیل می‌شود و هم‌چنان از رابطه  $f = \frac{R}{2}$  واضح می‌گردد که فاصله محراقی تنها تابع شعاع انحنا می‌باشد، نه ماده‌یی که آینه را تشکیل می‌دهد.

## 2-5-3: تطبیقات

### الف: محاسبه فاصله تصویر در آینه مقعر:

آیا در آینه مقعر فاصله تصویر مربوط به فاصله جسم می باشد؟  
در آینه مقعر تصویر حقیقی می باشد یا مجازی؟  
چگونه می توانیم بدانیم که تصویر حقیقی است یا مجازی؟  
چنانچه قبلاً در مورد تصویر یک شی در آینه مقعر دیدیم، واضح می گردد که در آینه مقعر، فاصله تصویر از آینه تابع فاصله شی از آینه است. در بعضی حالات فاصله تصویر از آینه نسبت به فاصله شی از آینه زیاد تر و در بعضی حالات کوچک تر می باشد. در بعضی حالات تصویر حقیقی بوده و در یک حالت مجازی می باشد.  
هر گاه فاصله شی از آینه (p) و فاصله محراقی (f) معلوم و فاصله از آینه (q) معلوم نباشد، در معادله  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  عوض p و f قیمت های شانرا وضع کرده و قیمت q را محاسبه می نماییم. بعد از محاسبه اگر قیمت حاصل شده برای q عدد مثبت باشد، تصویر حقیقی است و اگر قیمت حاصل شده منفی باشد تصویر مجازی است. هر گاه فاصله تصویر از آینه معلوم و تصویر مجازی باشد، درین حالت این فاصله را با علامه منفی عوض q می نویسیم.

### فعالیت

به خاطر صحت معادله آینه فعالیت ذیل را انجام می دهیم:

مواد مورد ضرورت:

آینه مقعر با پایه، شمع، گوگرد، یک ورق کاغذ

### طرز العمل:

محراق آینه مقعر را دریافت و فاصله آن را الی آینه اندازه نمایید. بعداً با اندازه کردن فاصله جسم از آینه و فاصله تصویر از آینه، صحت معادله آینه را تجربه نمایید و نتیجه آن را باهم صنفان خود شریک سازید.

### مثال:

یک شی از آئینه مقعر به فاصله 20 سانتی متر واقع است. اگر شعاع آئینه 30 سانتی متر باشد، فاصله تصویر را از آئینه و چگونگی تصویر را تعیین نمایید.

$$\text{حل:} \quad f = \frac{R}{2} = \frac{30}{2} = 15\text{cm} , \quad p = 20\text{cm}$$

$$\text{به اساس معادله آئینه:} \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{4-3}{60}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{60} \Rightarrow q = 60\text{cm}$$

فاصله تصویر از آئینه: چون  $q$  مثبت است بنابراین تصویر حقیقی می باشد.

### مثال:

یک شی از آئینه مقعری به فاصله 12 سانتی متر واقع است. فاصله محراقی آئینه 24 سانتی است. فاصله تصویر از آئینه، نوع تصویر و فاصله شی را از تصویر دریافت نمایید.

$$\text{حل:} \quad p = 12\text{cm} , \quad f = 24\text{cm} , \quad q = ?$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12} + \frac{1}{q} = \frac{1}{24}$$

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

$$q = -24\text{cm} \quad \text{فاصله تصویر از آئینه:}$$

چون  $q$  منفی است پس تصویر مجازی می باشد.

$$\begin{aligned} \text{فاصله تصویر از جسم} \quad P + q &= 12 + 24 \\ &= 36\text{cm} \end{aligned}$$

### مثال:

یک شی را از آئینه به فاصله 9 سانتی متر قرار می‌دهیم. آئینه از این شی تصویر مجازی می‌دهد که به فاصله 12 سانتی متر در عقب آئینه واقع می‌باشد. شعاع آئینه را محاسبه نمایید.

### حل:

چون تصویر مجازی است، باید در معادله عوض  $q$  قیمت آن را با علامه منفی وضع نماییم.

$$P = 9\text{cm} , q = -12\text{cm} , R = ?$$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} : \frac{1}{9} - \frac{1}{12} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{4-3}{36} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{36} = \frac{1}{f}$$

$$f = 36\text{cm} , R = 2f = 72\text{cm}$$

### ب) محاسبه فاصله تصویر از آئینه محدب

برای آئینه محدب نیز معادله  $\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  صدق می‌نماید. مگر از این که در آئینه محدب محراق مجازی است، بنابراین در وقت محاسبه برای فاصله محراقی علامه منفی می‌نویسیم. اگر فاصله تصویر از آئینه معلوم نباشد، در معادله فوق عوض  $p$  و  $f$  قیمت‌های عددی آن‌ها را مینویسیم و  $q$  را محاسبه می‌نماییم. و اگر فاصله تصویر ( $q$ ) الی آئینه معلوم باشد، چون در آئینه محدب تصویر مجازی می‌باشد. این فاصله را با علامه منفی در رابطه فوق وضع می‌کنیم.

### مثال:

یک شی از آئینه محدبی به فاصله 20 سانتی متر واقع است. اگر شعاع انحنای آئینه محدب 10 سانتی متر باشد فاصله تصویر از آئینه را معلوم نمایید.

**حل:**  $P = 20\text{cm} , R = 10\text{cm} \Rightarrow f = \frac{R}{2} = 5\text{cm} , q = ?$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{-5}$$

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{5} - \frac{1}{20} = \frac{-4-1}{20} \Rightarrow \frac{1}{q} = -\frac{5}{20} \Rightarrow \frac{1}{q} = -\frac{1}{4}$$

$$q = -4\text{cm}$$

فاصله تصویر از آئینه:

علامه منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

### 3-5-3: بزرگ‌نمایی

این‌که تصویر به نسبت اصل شی به کدام اندازه بزرگ است به نام بزرگ‌نمایی یاد می‌شود. نسبت طول تصویر ( $A'B'$ ) بر طول شی ( $AB$ ) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن را توسط حرف  $m$  نشان می‌دهند.

$$m = \frac{A'B'}{AB}$$

بزرگ‌نمایی نشان می‌دهد که طول تصویر چند برابر طول شی است. برای هر دو نوع آینه‌های کروی می‌توانیم بنویسیم که:

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \dots\dots\dots 6$$

یعنی نسبت طول تصویر بر طول شی مساوی به نسبت فاصله تصویر از آینه بر فاصله شی از آینه است. در رابطه فوق علامه‌های  $p$  و  $q$  مثبت می‌باشد.

#### مثال 1:

1. از آینه مقعری که دارای فاصله محراقی 12 سانتی متر باشد یک شی به کدام فاصله واقع گردد تا تصویر حقیقی آن از آینه به فاصله 36 سانتی متر تشکیل گردد؟ هر گاه طول شی 4 سانتی متر باشد طول تصویر را در این حالت دریافت نمایید.

**حل:**  $P = ?$  ,  $q = 36\text{cm}$  ,  $f = 12\text{cm}$  ,  $AB = 4\text{cm}$  ,  $A'B' = ?$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{36} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{12} - \frac{1}{36} = \frac{3-1}{36} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{2}{36} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{18}$$

فاصله جسم از آینه:  $p = 18\text{cm}$

طول تصویر:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{4} = \frac{36}{18} \Rightarrow \frac{A'B'}{4} = \frac{2}{1} \Rightarrow A'B' = 8\text{cm}$$

## مثال دوم:

2. یک شی را که دارای طول 5 سانتی متر است از آئینه محدب به فاصله 15 سانتی متر قرار میدهیم، تصویر مجازی آن از آئینه به فاصله 6 سانتی متر تشکیل می‌گردد. فاصله محراقی آئینه و طول تصویر را محاسبه نمایید.

**حل:**  $P = 15\text{cm}$  ,  $q = -6\text{cm}$  ,  $AB = 5\text{cm}$  ,  $f = ?$  ,  $A'B' = ?$

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

$$\frac{1}{15} - \frac{1}{6} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{2-5}{30} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{3}{30} = -\frac{1}{10}$$

$$f = -10\text{cm}$$

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{A'B'}{5} = \frac{6}{15} \Rightarrow \frac{A'B'}{5} = \frac{2}{5} \Rightarrow A'B' = 2\text{cm}$$

تصویر سراسرسته، مجازی و در عقب آئینه تشکیل می‌گردد.

3. یک شی در مرکز آئینه مقعری قرار دارد که دارای فاصله محراقی 6 سانتی متر می‌باشد. محل تصویر، نوع تصویر و بزرگ‌نمایی آن را محاسبه نمایید و تصویر آن را رسم کنید.

## حل:

چون شی در مرکز آئینه قرار دارد، پس فاصله آن الی آئینه به اندازه شعاع آئینه یا دو برابر فاصله محراقی است. یعنی:

$$f = 6\text{cm} , P = 2f = 2 \times 6 = 12\text{cm} , q = ? , m = ?$$

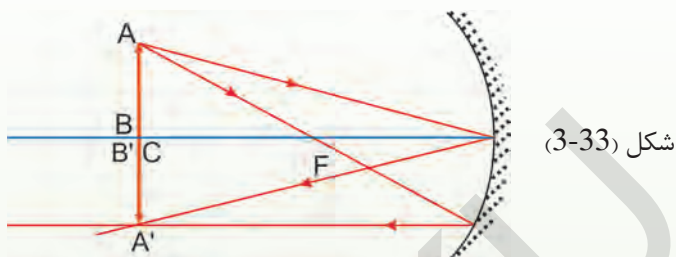
$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{12} + \frac{1}{q} = \frac{1}{6} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{6} - \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{2-1}{12} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{12} \Rightarrow q = 12\text{cm}$$

چون  $q$  مثبت است بنابراین تصویر حقیقی می‌باشد.  
 دیده می‌شود که  $q = p$  است، از این جا معلوم می‌شود که هر گاه شی در مرکز آینه  
 واقع گردد، تصویر آن در مرکز تشکیل می‌گردد:  $m = \frac{q}{p} = \frac{12}{12}$

از محاسبه بزرگنمایی واضح می‌شود که درین حالت طول تصویر برابر با طول شی می‌باشد.



شکل (3-33)

**مثال چهارم:** یک شی از آینه کروی به فاصله 12 سانتی متر قرار دارد. هر گاه بزرگنمایی آینه در این حالت  $\frac{1}{3}$  و تصویر در عقب آینه واقع باشد. نوع تصویر، نوعیت آینه و فاصله محراقی آن را دریافت نمایید.

**حل:**

چون تصویر در عقب آینه واقع است. پس تصویر مجازی می‌باشد. بزرگنمایی از یک کوچک‌تر است، یعنی طول تصویر مجازی نسبت به طول شی کوچک‌تر می‌باشد، نتیجه می‌شود که آینه محدب است (در آینه مقعر طول تصویر مجازی نسبت به طول شی زیاد می‌باشد).

$$P = 12\text{cm}, m = \frac{1}{3}, q = ?, f = ?$$

$$m = \frac{q}{p} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{q}{12} \Rightarrow 3q = 12 \Rightarrow q = 4\text{cm}$$

چون تصویر مجازی است، پس باید در معادله،  $q = -4\text{cm}$  وضع گردد.

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{12} - \frac{1}{4} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1-3}{12} = -\frac{2}{12}$$

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{6} \Rightarrow f = -6\text{cm}$$

علامه منفی برای  $f$  نیز نشان می‌دهد که آینه محدب است.



## خلاصه فصل

- چشمان ما شش رنگ را تشخیص می‌دهد که عبارت اند از:  
رنگ سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، و بنفش. با عبور دادن نور سفید یعنی نور آفتاب از یک منشور رنگ‌های فوق حاصل می‌گردد.
- مسیر نوری که از یک درز عبور می‌نماید، به‌روی زمین یک بسته نوری را نشان می‌دهد. بسته نوری که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعه نوری یاد می‌شود. در حقیقت گفته می‌توانیم که مجموعه اشعه نوری بسته نوری را تشکیل می‌دهد.
- در نتیجه تابیدن نور بالای یک ماده، یک قسمت نور توسط ماده جذب و قسمت باقیمانده آن واپس برگردانیده می‌شود.
- 1 - نور وارده، نور منعکسه و خط عمود بالای همان نقطه آینه که نور بالای آن وارد می‌گردد، در یک مستوی واقع اند.
- 2 - زاویه وارده و زاویه منعکسه با یک‌دیگر مساوی می‌باشد.
- آینه مستوی ساده ترین آینه‌یی است که همیشه تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد.
- تعداد تصاویر در آینه‌های متلاقی توسط فورمول ذیل حاصل می‌گردد.

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

- در این جا  $n$ ، تعداد تصاویر،  $\alpha$  زاویه بین آینه‌ها است.
- آینه‌های کروی شکل یک قسمت کره را دارا است. یعنی تمام نقاط آینه از یک نقطه‌یی که به نام مرکز آینه یاد می‌شود عین فاصله را دارند.
  - هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آینه مقعر وارد گردد، طوری منعکس می‌گردد که در پیشروی آینه بالای محور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق اصلی آینه مقعر یاد می‌کنند.

- هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینۀ محدب وارد گردد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شعاع منعکسه در عقب آیینۀ بالای محور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق آیینۀ محدب یاد می‌کنند، محراق آیینۀ محدب مجازی می‌باشد.  
معادله آیینۀ عبارت است از:

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

در این جا:

$p$  فاصله شی از آیینۀ،  $q$  فاصله تصویر از آیینۀ و  $f$  فاصله محراقی آیینۀ می‌باشند.  
نسبت طول تصویر ( $AB$ ) بر طول شی ( $A'B'$ ) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن را توسط حرف  $m$  نشان می‌دهند.

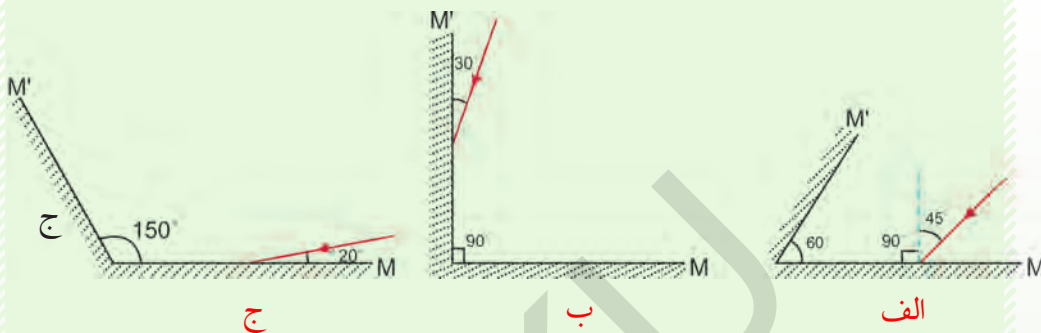
$$m = \frac{A'B'}{AB}$$

یا:  $m = \frac{q}{p}$  است.



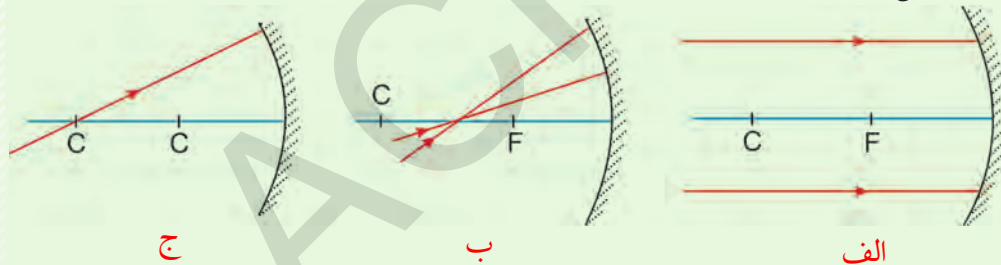
## سوالات اخير فصل

1. در اشکال ذیل مسیر اشعه نوری را در دو آینه  $M$  و  $M'$  تکمیل نمایید.

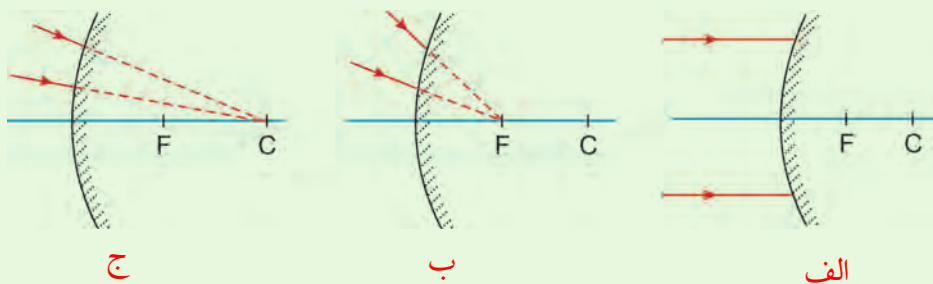


2. در اشکال ذیل مسیر اشعه نوری را بعد از تابیدن بالای آینه توسط رسم

تکمیل نمایید.



3. در اشکال ذیل برای اشعه وارده، اشعه منعکسه را رسم نمایید.



4. شخصی در پیشروی آئینهٔ مستوی ایستاده است.

الف) هر گاه این شخص به اندازهٔ 50 سانتی متر به آئینه نزدیک شود به تصویر خود چند سانتی متر نزدیک می‌شود؟

ب) اگر این شخص به موقعیت خود باشد و آئینه به اندازهٔ 10 سانتی از آن دور گردد، تصویر آن نسبت به حالت اول چقدر تغییر می‌کند؟

5. هر گاه جسمی از یک آئینه به فاصله‌های 10 سانتی متر و 5 سانتی متر واقع با شد، تصویر و بزرگ‌نمایی آن را دریافت نمایید. آیا تصویر حقیقی است یا مجازی؟ آیا تصاویر راسته می‌باشد یا معکوس؟ به خاطر تایید نتیجه، دیاگرام هر حالت را ترسیم نمایید.

6. فاصلهٔ محراقی یک آئینهٔ مقعر 33 سانتی متر است. هر گاه جسمی در پیشروی آئینه به فاصلهٔ 93 سانتی متر واقع باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی تصویر را پیدا نمایید و آن را محاسبه نمایید. آیا تصویر حقیقی است یا مجازی؟ آیا تصویر راسته است یا معکوس؟ با ترسیم دیاگرام نشان دهید که تصویر به کجا تشکیل می‌شود و بزرگی آن را نسبت به شی دریافت نمایید؟

7. یک قلم از آئینهٔ کروی مقعری به فاصلهٔ 11 سانتی متر قرار دارد و از آئینه به فاصلهٔ 13.2 سانتی متر تصویر حقیقی را تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ محراقی آئینه و بزرگ‌نمایی آئینه را محاسبه نمایید؟ اگر جسم از آئینه به فاصلهٔ 72 سانتی متر قرار گیرد، محل جدید تصویر را محاسبه نمایید؟ بزرگ‌نمایی جدید تصویر را حساب کنید؟ آیا تصویر جدید حقیقی است یا مجازی؟ به خاطر صحیح نشان دادن نتایج، دیاگرام (نمودار) آن را رسم نمایید؟

8. تصویر یک پنسل در عقب آئینهٔ محدب به فاصلهٔ 23 سانتی متر از آئینه تشکیل می‌شود و 1.7 سانتی متر طول دارد. اگر فاصلهٔ محراقی آئینه 46 سانتی متر باشد، موقعیت پنسل را در پیشروی آئینه و بزرگ‌نمایی تصویر را دریافت نمایید؟



آیا تصویر مجازی است یا حقیقی؟ آیا تصویر راسته است یا معکوس؟ طول پنسل را دریافت نمایید.

9. آئینه محدبی که دارای فاصله محراقی 0.25 متر است، تصویر موتوری را در عقب آئینه به فاصله 0.24 متر تشکیل می‌دهد که طول آن 0.08 متر می‌باشد. بزرگ‌نمایی تصویر، موقعیت و ارتفاع موتر را دریافت نمایید. آیا تصویر حقیقی است یا مجازی؟ آیا تصویر راسته است یا معکوس؟

10. آئینه کروی محدبی دارای شعاع انحنای 6 سانتی متر است. اگر یک شی به فاصله 10.5 سانتی متر از آئینه قرار داشته باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی آن را محاسبه نمایید. آیا تصویر حقیقی است یا مجازی؟ آیا تصویر راسته است یا معکوس؟ سوالات ذیل را بخوانید، به هر سوال چار جواب داده شده است. جواب صحیح آن را دریافت و نشانی نمایید.

1. یک بندل شعاع نوری به طور موازی بالای آئینه مستوی می‌تابد. این بندل شعاع بعد از انعکاس از آئینه:

- (a) تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد. (b) تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.  
(c) تصویر تشکیل نمی‌دهد. (d) دو تصویر حقیقی و یک تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

2. برای این که از یک آئینه مقعر و یک منبع نوری شعاع موازی تشکیل بدهیم. منبع نوری به کدام فاصله در پیشروی آئینه مقعر گذاشته شود؟

3. تصویر تشکیل شده توسط آئینه مستوی دارای یکی از خواص ذیل نمی‌باشد:

- (a) حقیقی است (b) مجازی است (c) جسم با تصویر مشابه می‌باشد.  
(d) فاصله جسم و تصویر از آئینه برابر اند.

4. اجسامی که از آن‌ها نور عبور نمی‌کند، به نام:

- (a) شفاف (b) نیمه شفاف (c) کدر (d) شفاف و نیمه شفاف یاد می‌شود.



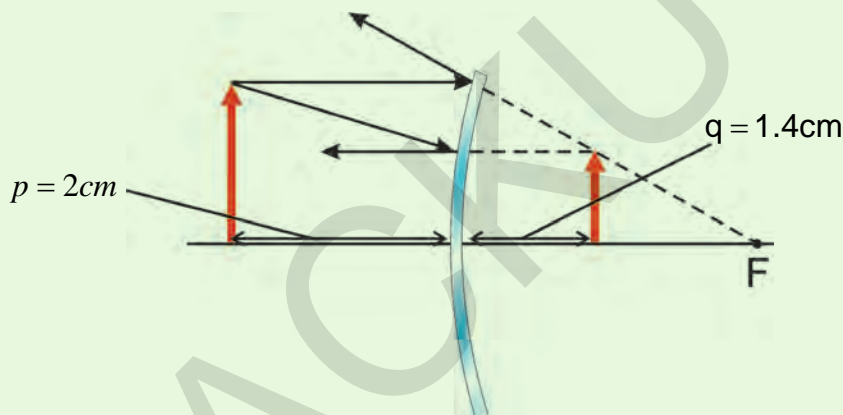
5. اگر اشعه وارده بالای آیینة مستوی با عمود بالای آیینة، زاویه  $45^\circ$  را تشکیل بدهد، اشعه منعکسه کدام زاویه را تشکیل می‌دهد؟

(a)  $25^\circ$  (b)  $60^\circ$  (c)  $45^\circ$  (d)  $90^\circ$

6. برای دریافت فاصله محراقی یک آیینة کروی کدام معادله صحیح است.

(a)  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{q}$  (b)  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$  (c)  $\frac{1}{p} = \frac{1}{f} + \frac{1}{q}$  (d)  $\frac{1}{q} = \frac{1}{f} + \frac{1}{p}$

7. الف) به خاطر ارایه جوابات بر سوالات ذیل از دیاگرام (نمودار) ذیل استفاده نمایید.



(ب) در دیاگرام (نمودار) کدام نوع آیینة نشان داده شده است؟  
 (a) مستوی (b) محدب  
 (c) مقعر (d) از ترسیم معلومات مکمل قابل دسترس نمی‌باشد.

8. توسط آیینة محدب کدام نوع تصویر تشکیل می‌شود؟  
 (a) مجازی راسته و کوچک (b) حقیقی، معکوس و کوچک  
 (c) مجازی، راسته و بزرگ (d) حقیقی، معکوس و بزرگ

## انکسار

در فصل گذشته دیدیم که نور در یک محیط شفاف به خط مستقیم منتشر می‌گردد. هم‌چنان با قوانین انعکاس نور نیز آشنا شدیم و واضح گردید که انعکاس نور سبب رویت اشیا می‌گردد. حال پرسش به‌وجود می‌آید: که هر گاه نور از یک محیط شفاف داخل محیط شفاف دیگر می‌شود، آیا باز هم به خط مستقیم انتشار می‌کند؟ یک تجربه ساده این کار این است که شما یک قسمت قلم پنسل را داخل گیلای مملو از آب نمایید. اگر این عمل را انجام دهید، چه چیز را خواهید دید؟

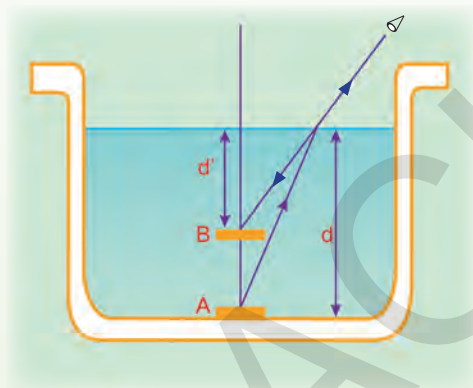
واضح است که شما می‌گویید پنسل در آب شکسته معلوم می‌شود. اگر اشعه نوری از هوا در یک ظرف شیشه‌ای بالای آب طوری وارد گردد که عمود بالای سطح آب باشد و بعداً به این اشعه از یک طرف ظرف بنگرید، چه فکر میکنید آیا مسیر اشعه نوری در آب تغییر کرده خواهد بود یا خیر؟ اگر در مسیر نور تغییر رخ می‌دهد پس این واقعه به‌نام چه یاد می‌شود؟ این واقعه تابع کدام قوانین است؟ یا این که شما در آسمان، رنگین کمان (کمان رستم) را دیده خواهید بود، آیا گفته می‌توانید که سبب تشکیل رنگین کمان چیست؟ به این پرسش‌ها بعد از حاصل کردن معلومات در مورد انکسار جواب داده می‌توانید که این همه فقط در نتیجه همان عمل نور واقع می‌شود وقتی که نور از یک محیط شفاف داخل محیط شفاف دیگری شود که چگونگی آن در همین فصل مطالعه می‌گردد. هم‌چنان منشور و واقعات اپتیکی (دیداری) را که با انکسار یک‌جا می‌باشد مطالعه خواهید کرد. شما خواهید دانست که آلات اپتیکی (دیداری) چگونه کار می‌کنند. این همان مباحثی است که در اخیر این فصل با آن آشنا خواهید شد.





#### 4-1: انکسار چیست؟

چنانچه قبلاً نیز یاد آوری گردیده است، زمانی که یک قلم پنسل را داخل آب نماییم، شکسته معلوم می‌شود. چرا؟ حال به خاطر توضیح این موضوع فعالیتی را انجام می‌دهیم. در بین یک ظرف خالی یک سکه را بگذارید و آن را از امتداد کنار ظرف طور مثال از نقطه O بنگرید. شما سکه را نخواهید دید. ولی اگر اندکی سر خود را بالا نمایید سکه را دیده می‌توانید. عوض این که سر خود را بالا کنید در ظرف به آهسته‌گی آب بریزید. در این حالت شما می‌توانید سکه را ببینید. (4-1) علت دیدن سکه این است که شعاع سکه حین عبور از آب به هوا انکسار می‌نماید و سکه عوض نقطه A در نقطه B دیده می‌شود.



شکل (4-1) مشاهده سکه در آب

#### فعالیت

هدف: شناخت انکسار

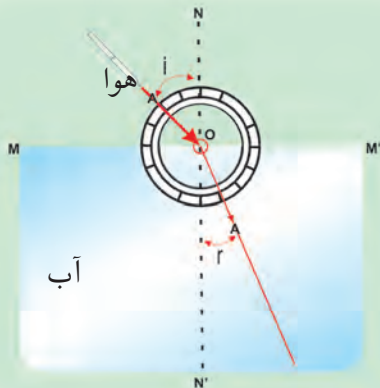
مواد مورد ضرورت:

کاغذ مقوای قیچی، تخته چوبی، پرکار، پنسل، خط کش

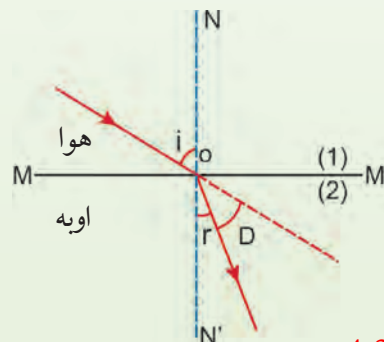


## طرز العمل:

1. در کاغذ مقوا، دایره‌یی با مرکز  $O$  رسم نمایید.
  2. در دایره دو خط مستقیم را طوری رسم نمایید که در نقطه  $O$  یکی بالای دیگر عمود باشند، و به این ترتیب دایره را به چهار حصه مساوی تقسیم نمائید.
  3. دایره را بالای یک تخته نصب نمایید.
  4. تخته را الی خط مستقیم افقی داخل آب نمائید تا این که نصف دایره داخل آب و نصف دیگر آن خارج از آب باشد.
  5. در نقطه  $A$  محیط همان نصف دایره که داخل آب است یک سنجاق را داخل نمایید.
  6. یک سنجاق را در نقطه  $O$  داخل نمایید.
  7. هم‌چنان یک سنجاق را در نقطه  $A'$  محیط نصف دایره‌یی که خارج از آب است داخل نمایید. حال که به سنجاق‌های نقاط  $A$  و  $B$  بنگرید هر سه سنجاق در امتداد یک خط مستقیم دیده می‌شوند.
  8. تخته را از آب بیرون نمایید.
  9. نقطه  $A$  را با  $A'$  وصل نمایید. در این حالت خواهید دید که سنجاق‌ها در بالای یک خط مستقیم واقع نیستند (شکل 2-4).
- از فعالیت نتیجه گرفته می‌شود که:
- هر گاه نور از یک محیط شفاف (آب) به صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر (هوا) گردد، مسیر آن تغییر می‌نماید.
- این واقعه به نام انکسار نور یاد می‌شود (شکل 3-4)



شکل (2-4)



شکل (3-4)

در فعالیت فوق اشعه نوری از آب داخل هوا می‌گردد. اشعه AO را اشعه وارده و اشعه OA' را اشعه منکسره می‌گویند.

خط عمود NN' را بالای سطح جدایی در محیط شفاف به نام خط نارمل یاد می‌نمایند. زاویه بین نارمل و شعاع وارده را به نام زاویه وارده (i)، و زاویه بین اشعه منکسره و خط NN' را زاویه منکسره (r) می‌نامند.

زمانی که نور از یک محیط شفاف داخل محیط شفاف دیگر می‌شود، بین زاویه وارده و زاویه منکسره چگونه رابطه وجود دارد؟ نسبت ساین‌های زاویه وارده و زاویه منکسره به نام چه یاد می‌شود؟ برای دریافت جوابات به این پرسش‌ها فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم.

### فعالیت

هدف: در یافت ضریب انکسار بین دو محیط.

#### مواد مورد ضرورت:

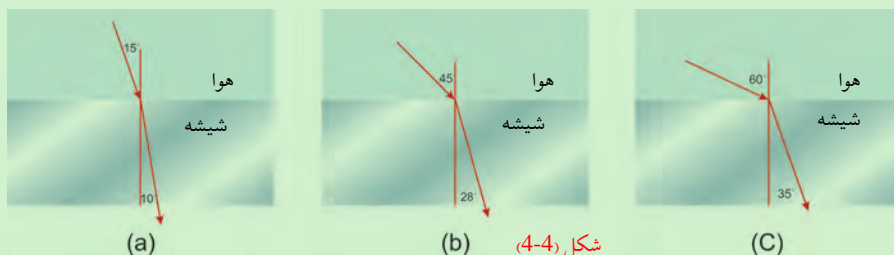
مواد فعالیت قبلی به این تفاوت که در این حالت مقوای دایروی درجه بندی شده است.

### طرز العمل:

در این فعالیت نور از یک محیط شفاف رقیق مانند هوا داخل محیط شفاف غلیظ مانند شیشه می‌گردد. زوایای وارده و منکسره را در حالات مختلف اندازه می‌نماییم. طور مثال در شکل ذیل در سه حالت این زوایا اندازه گردیده و در یک جدول تحریر شده است.

$\hat{i}$	$\sin i$	$\hat{r}$	$\sin r$	$\frac{\sin i}{\sin r}$
15°	0.26	10°	0.17	1.53
45°	0.71	28°	0.45	1.51
60°	0.86	35°	0.57	1.5





دیده می‌شود که با بزرگ شدن زاویه وارده زاویه منکسره نیز بزرگ می‌شود، مگر  $\frac{\sin i}{\sin r}$  در همه حالات ثابت باقی می‌ماند. این قیمت ثابت را به نام ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول یاد می‌کنند و آن را چنین مینویسند.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$$

این نسبت، ضریب انکسار نسبی بین دو محیط را نشان می‌دهد و به نام قانون سنل یاد می‌شود.

رابطه فوق را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم:  $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ . تجارب نشان داده است که ضریب انکسار شیشه نسبت به هوا  $n_{2,1} = 1,5$  است. هر گاه نور از شیشه داخل هوا گردد، در این حالت:  $\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{n_{2,1}} = n_{1,2}$  یعنی: در این صورت  $i$  زاویه وارده و  $r$  زاویه منکسره خواهد بود. برای ثبوت قانون سنل با استفاده از نظریه هیوگنز فرض می‌کنیم که در یک لحظه، اشعه اولی (1) مطابق شکل (4-5) بالای سطح جدایی دو محیط در نقطه (A) وارد می‌شود. لحظه‌یی بعد اشعه دومی (2) بالای سطح در نقطه C وارد می‌شود. در این مدت اشعه وارده در نقطه (A) به مسیر (D) انکسار می‌کند.

در همین مدت اشعه دومی (2) از نقطه (B) گذشته و به مسیر (C) حرکت می‌کند. به این اساس این دو شعاع در دو محیط مختلف حرکت نموده، فواصل مختلف را طی می‌کنند. اشعه که در نقطه (A) وارد گردیده، فاصله  $(AD = V_2 \cdot \Delta t)$  را طی می‌کنند. در این جا  $(V_2)$  سرعت اشعه در محیط دوم است. فاصله‌یی که اشعه (2) در محیط اول از نقطه (B) تا نقطه (C) طی می‌کنند  $(BC = V_1 \cdot \Delta t)$  است که در این جا  $V_1$  سرعت

اشعه، در محیط اول است.

از مثلث‌های  $\triangle ABC$  و  $\triangle ADC$  دریافت می‌نماییم که:

$$\sin \theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{V_1 \cdot \Delta t}{AC} \dots (I)$$

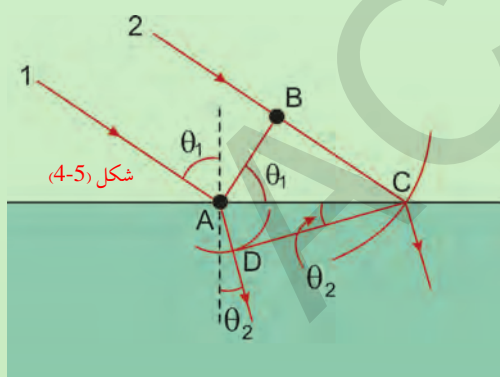
و

$$\sin \theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{V_2 \cdot \Delta t}{AC} \dots (II)$$

هر گاه معادله (I) را به معادله (II) تقسیم نماییم حاصل می‌کنیم که:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2} = n$$

چون می‌دانیم که:  $\frac{C}{V} = n$  است، پس می‌توانیم بنویسیم  $n = \frac{\text{سرعت نور در خلا}}{\text{سرعت نور در محیط}} = \frac{C}{V}$  که:  $V_1 = \frac{C}{n_1}$  و  $V_2 = \frac{C}{n_2}$  به این اساس:



$$\sin \theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{V_1 \Delta t}{AC}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{V_2 \Delta t}{AC}$$

و این رابطه فقط همان قانون سنل برای انکسار است که آن را قبلاً معرفی نمودیم.

**سوال:** قوانین انکسار کدام‌ها اند؟

**جواب:** در روشنی تجارب فوق، قوانین انکسار را طور ذیل توضیح می‌نماییم:

## 4-1-1: قوانین انکسار

با استفاده از نتایج تجارب فوق قوانین انکسار را طور ذیل بیان می‌نماییم:

1. نور وارده، نارمل و نور منکسره در یک مستوی واقع اند.
2. برای شعاعی که از یک محیط شفاف (محیط A) وارد محیط شفاف دیگر (محیط B) می‌گردد، نسبت ساین (sin) زاویه وارده بر ساین (sin) زاویه منکسره یک مقدار ثابت است. این مقدار ثابت را ضریب انکسار محیط A نسبت به محیط B می‌گویند و آن را توسط حرف n نشان می‌دهند. ضریب انکسار n تابع نوعیت هر دو محیط‌هایی است که نور از یکی آن وارد دیگری می‌شود. ضریب انکسار یک محیط را نسبت به خلا (یا به صورت تقریبی هوا) به نام ضریب انکسار مطلقه یاد می‌نمایند یعنی:

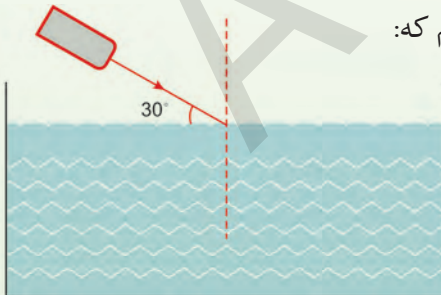
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \dots (1) \quad \text{در هوا} \quad \text{در محیط شفاف} \quad \text{(ضریب انکسار مطلقه محیط)}$$

### مثال:

شعاع نوری مطابق شکل ذیل که زاویه  $30^\circ$  را با افق تشکیل می‌دهد، بالای سطح آب وارد می‌گردد. اگر ضریب انکسار آب 1.33 باشد، زاویه انکسار را محاسبه نمایید.

**حل:** مطابق به شکل،  $\hat{i} = 60^\circ$  است.

با استفاده از قانون انکسار می‌توانیم بنویسیم که:



$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \Rightarrow \frac{\sin 60^\circ}{\sin r} = 1.33$$

$$\sin r = \frac{\sin 60^\circ}{1.33} = 0.65$$

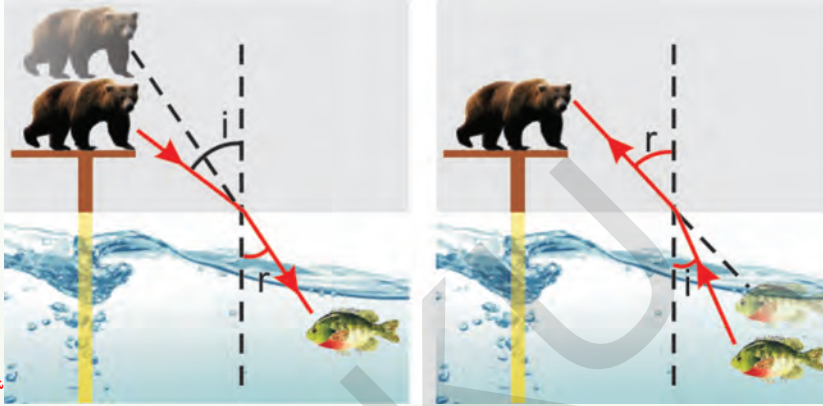
$$\hat{r} = 40.5$$

### فعالیت

هرگاه نور از یک محیط شفاف که دارای ضریب انکسار  $n_1$  باشد وارد محیط شفاف دیگری که ضریب انکسار آن  $n_2$  است داخل گردد، در حالی که  $n_1 > n_2$  باشد، رابطه (4-1) را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

## عمق ظاهری و واقعی

آیا در شکل ذیل، یک خرس، ماهی را در آب در محل حقیقی خود می‌بیند؟  
و هم‌چنان، آیا ماهی که در آب است خرس را در محل حقیقی اش می‌بیند؟



شکل (4-7)

(a) برای خرسی که بالای یک پایه قرار دارد یک ماهی در آب نسبت به محل حقیقی آن نزدیک به سطح آب معلوم می‌شود.  
(b) برای ماهی در آب، خرسی که بالای پایه موقعیت دارد نسبت به سطح آب به فاصله بیشتر معلوم می‌شود.

چنان‌چه در شکل دیده می‌شود، ماهی برای خرس از محل واقعی آن بلند تر یعنی نزدیک به سطح آب معلوم می‌شود، و خرس توسط ماهی از محل واقعی آن به فاصله بیشتر یعنی دور تر از سطح آب دیده می‌شود. شما می‌دانید که زمانی که نور از یک محیط شفاف وارد محیط شفاف دیگر می‌گردد، در سطح مشترک دو محیط انکسار می‌نماید و به همین سبب است که ماهی توسط خرس بلندتر و خرس توسط ماهی دور دیده می‌شود.

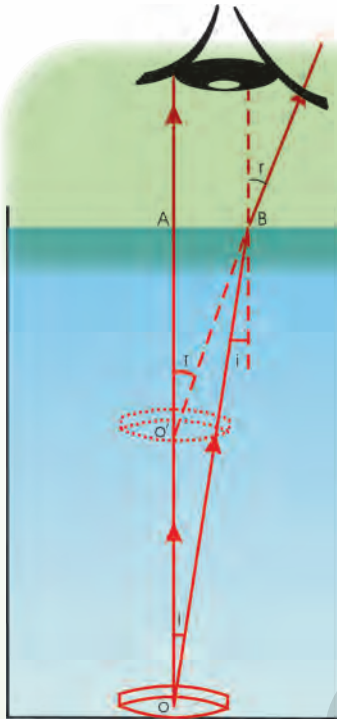
## فعالیت

اقلاً با ترسیم دو شعاع از یک نقطه نشان دهید که چرا ماهی توسط خرس نزدیک به سطح آب و خرس توسط ماهی به فاصله بیشتر یعنی دورتر از سطح آب دیده می‌شود.





## فعالیت



شکل (4-8) دیدن سکه از یک  
سطح پر از آب

در شکل (4-8) موقعیت یک سکه را در ظرف مملو از آب نشان دهید.

دو شعاع را از نقطه O که به سطح آب وارد می شود رسم می نماییم. اشعه OA بدون انکسار داخل هوا می گردد. مگر اشعه OB در سطح جدایی دو محیط انکسار نموده و از عمود بالای سطح آب فاصله می گیرد  $r > i$ . با استفاده از قوانین انکسار و در نظر داشت

زوایای وارده و منکسره می توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} \dots\dots\dots I$$

با توجه به شکل واضح می گردد که زاویه  $\hat{AOB}$  مساوی به زاویه وارده  $\hat{i}$  و زاویه  $\hat{AO'B}$  با زاویه منکسره مساوی می باشد.

به اساس تعریف ساین در مثلث های قائم الزویه  $\hat{AOB}$  و  $\hat{AO'B}$  می توانیم بنویسیم که:

$$\sin i = \frac{AB}{OB}$$

$$\sin r = \frac{AB}{O'B}$$

در نتیجه داریم که:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{O'B}{OB}$$

اگر زاویه منکسره  $r$  به اندازه کافی کوچک باشد، یعنی بتوانیم به سکه طور عمودی ببینیم، پس  $O'B = O'A$  و  $OB = OA$  می باشد.

از این جا داریم که :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{O'A}{OA}$$

با در نظر داشت رابطه (1) می توانیم بنویسیم که:

$$\frac{O'A}{OA} = \frac{1}{n}$$

$$O'A = \frac{OA}{n} = \text{عمق ظاهری} \quad \text{پس:}$$

و یا

$$(2) \dots\dots\dots = \frac{\text{عمق واقعی}}{\text{ضریب انکسار محیط شفاف}} = \text{عمق ظاهری}$$

**مثال:**

عمق ظاهری یک حوض 1.5m متر است. اگر ضریب انکسار آب 1.3 باشد، عمق واقعی حوض رامحاسبه نمایید.

**حل:**

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

$$1.5 = \frac{OA}{1.3}$$

$$OA = 1.95m$$

در این جا  $O'A$  عمق ظاهری و  $OA$  عمق واقعی حوض می باشد.

## 4-1-2. مسیر نور در یک تیغه متوازی السطوح

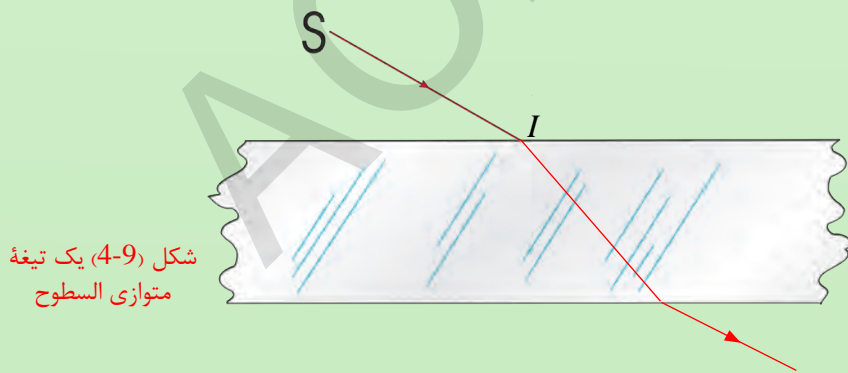
### فعّالیت

مواد مورد ضرورت:

یک تیغه (متوازی السطوح)، منبع تولید کننده یک اشعه باریک نور، مقوا، خط کش،  
پنسل و پنسل پاک

### طرز العمل:

1. مطابق شکل ذیل (4-9) یک تیغه متوازی السطوح را بالای مقوا بگذارید و یک اشعه باریک نور را طوری بالای این تیغه متوازی السطوح وارد نمایید که مسیر نور بالای مقوا دیده شود. مسیر نور وارده  $SI$  را بالای این محیط شفاف و میسر نور خروجی از این محیط را رسم نمایید.
2. نور وارده بالای شیشه و نور خروجی از شیشه چگونه با هم دیگر واقع می شوند.



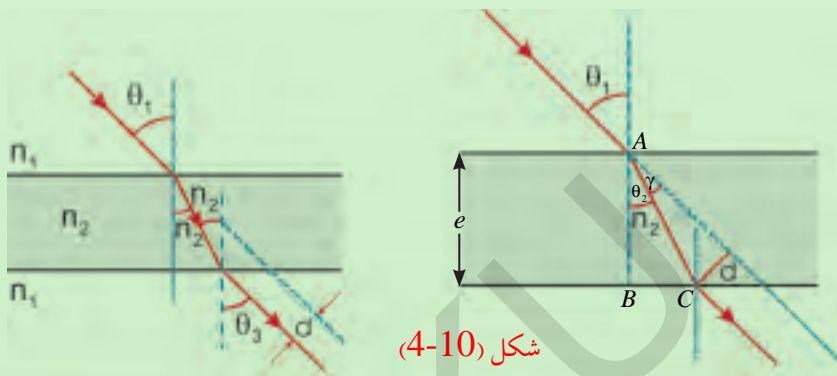
شکل (4-9) یک تیغه  
متوازی السطوح

در نتیجه ترسیم، شما خواهید دید که نور خروجی از تیغه متوازی السطوح نسبت به نور وارده به اندازه فاصله  $d$  تغییر مکان کرده است. فورمول مربوطه این تغییر مکان را پیدا می نماییم.

برای این مقصد اشعه نوری را در نظر می گیریم که مطابق شکل (4-10a) از محیط 1 با ضریب انکسار  $n_1$  به محیط 2 که دارای ضخامت  $e$  و ضریب انکسار  $n_2$  است. وارد می گردد.

برای محیط اول با استفاده از قانون انکسار سنل می‌توانیم بنویسیم که :

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin\theta_1 \dots\dots\dots (1)$$



شکل (4-10)

(a) زمانی که اشعه نوری از یک تیغه متوازی السطوح عبور می‌نماید، اشعه خروجی از تیغه، موازی با اشعه ورودی می‌باشد، بنابراین  $\theta_1 = \theta_3$  می‌باشد.

(b) در داخل تیغه متوازی السطوح بزرگ‌نمایی مساحت مسیر نوری قرار دارد.

هم‌چنان برای سطح تحتانی تیغه می‌توانیم بنویسیم که :

$$\sin\theta_3 = \frac{n_2}{n_1} \sin\theta_2 \dots\dots\dots (2)$$

با وضع کردن معادله (1) در معادله (2) حاصل می‌نماییم که :

$$\sin\theta_3 = \frac{n_2}{n_1} \left( \frac{n_1}{n_2} \sin\theta_1 \right) = \sin\theta_1$$

بنابر این  $\theta_3 = \theta_1$  می‌باشد و تیغه جهت نور را تغییر نمی‌دهد. مگر نور خروجی از آن با نور وارده موازی و به فاصله  $d$  تغییر مکان می‌نماید، چنان‌چه در شکل (4-10b) نشان داده شده است. اگر ضخامت تیغه دو برابر گردد، کدام تغییر به‌وجود می‌آید و چه واقع می‌شود؟ آیا فاصله تغییر مکان بین اشعه خروجی و وارده نیز دو برابر می‌شود؟

برای حل این موضوع بزرگ‌نمایی مساحت مسیر نوری را در داخل تیغه مطالعه می‌نماییم. در شکل،  $a$  وتر دو مثلث قائم الزاویه را نشان می‌دهد. از مثلث  $\triangle ABC$  می‌توانیم بنویسیم که :

$$a = \frac{e}{\cos \theta_2}$$

و با استفاده از مثلث  $\triangle ACD$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$d = a \sin \gamma = a \sin(\theta_1 - \theta_2)$$

از ترکیب این دو معادله حاصل می‌نماییم که:

$$d = \frac{e}{\cos \theta_2} \sin(\theta_1 - \theta_2)$$

درجه زاویه وارده داده شده  $\theta_1$  و زاویه منکسره  $\theta_2$  تنها توسط ضریب انکسار تعیین می‌گردد، بنابراین فاصله تغییر مکان ( $d$ ) متناسب با  $e$  می‌باشد. اگر ضخامت تیغه دو برابر شود، تغییر مکان اشعه نیز دو برابر می‌شود.

### سوالات

1. شعاع نور از شیشه ضخیم داخل هوا می‌شود. هر گاه ضریب انکسار شیشه 1.52 و زاویه انکسار آن  $45^\circ$  باشد. زاویه وارده را معلوم کنید.
- 2- شعاع نور از یک شیشه ضخیم با ضریب انکسار 1.6 داخل هوا می‌شود. هر گاه زاویه وارده  $15^\circ$  باشد، زاویه انکسار را دریافت نمایید.

3- انعکاس و انکسار چه فرق دارند، توسط شکل نشان دهید.

- 4- هر گاه زاویه وارده ( $i = 90^\circ$ ) باشد، با استفاده از فورمول  $n = \frac{\sin i}{\sin r}$  ثبوت نمایید که:  $\sin r = \frac{1}{n}$  است.

- 5- شعاع نور تحت زاویه  $45^\circ$  بالای یک ظرف پر از گلسیرین وارد می‌شود.  
 هر گاه زاویه منکسره  $29^\circ$  باشد، ضریب انکسار گلسیرین را دریافت نمایید.  
 6- ضریب انکسار پترول  $1.50$  است، سرعت نور در پترول را دریافت نمایید.

### مثال‌ها:

1 - اشعه نوری که دارای طول موج (نانومتر  $550nm$ ) باشد در هوا حرکت کرده و بالای یک ماده شفاف ضخیم وارد می‌گردد. اشعه وارده با نارمل زاویه  $40^\circ.0$  را تشکیل می‌دهد و اشعه منکسره با نارمل زاویه  $26^\circ.0$  را می‌سازد، درین حالت ضریب انکسار ماده را دریافت نمایید.

**حل:** با استفاده از قانون سنل و در نظر داشت این که در هوا  $n = 1.00$  می‌باشد داریم که:

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

$$n_2 = \frac{n_1 \sin \theta_1}{\sin \theta_2} = (1.00) \frac{\sin 40^\circ.0}{\sin 26^\circ.0}$$

$$n_2 = \frac{0.643}{0.438} = 1.47 \quad \text{ضریب انکسار ماده}$$

2 - اشعه نوری که دارای طول موج  $589nm$  است در هوا حرکت کرده و بالای یک شیشه ضخیم وارد می‌گردد طوری که با نارمل زاویه  $30^\circ.0$  را تشکیل می‌دهد، دراین صورت زاویه انکسار را در شیشه دریافت نمایید؟

**حل:** از قانون سنل برای انکسار حاصل می‌شود که:

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$

چون برای هوا،  $n_1 = 1$  و برای شیشه  $n_2 = 1.52$  است، پس

$$\sin \theta_2 = \frac{(1.00)}{(1.52)} \sin 30^\circ = 0.329$$

این زاویه نسبت به زاویه وارده کوچک‌تر است، یعنی اشعه منکسره به نارمل نزدیک می‌شود.

## 4-2: زاویه بحرانی

قبلاً دیدیم که هر گاه نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق گردد (طور مثال از آب داخل هوا شود)، شعاع منکسره نسبت به نارمل فاصله می‌گیرد، و زاویه منکسره نسبت به زاویه وارده بزرگ‌تر می‌شود. اگر زاویه منکسره به  $90^\circ$  برسد یعنی که اشعه منکسره مماس با سطح جدائی دو محیط باشد، در این حالت زاویه وارده را زاویه حدی یا بحرانی می‌گویند. در شکل (4-11) زاویه حدی یا بحرانی نشان داده شده است.

### مثال:

زاویه بحرانی را برای سطح جدائی دو محیط آب - هوا در صورتی دریافت نمائید که ضریب انکسار آب 1.33 باشد.

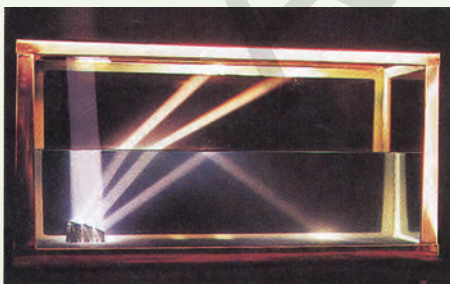
**حل:**  $n_i = 1.33$  ،  $n_r = 1.00$

قیمت مجهول:  $\theta_c = ?$

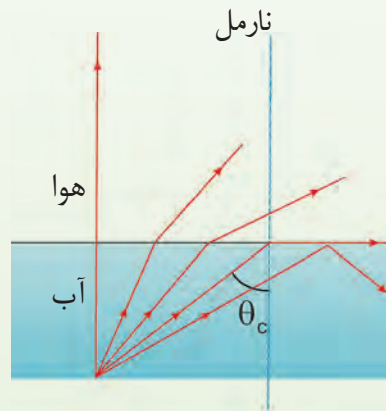
برای دریافت زاویه بحرانی داریم که:

$$\sin \theta_c = \frac{n_r}{n_i} = \frac{1}{1.33} \quad \text{در این جا } \theta_i = \theta_c \text{ ، } \theta_r = 90^\circ \text{ بوده پس}$$

$$\theta_c = 48.6^\circ$$



(a)



(b)

شکل (4-11) در زاویه بحرانی  $\theta_c$  اشعه نور ی منکسره مماس با سطح جدائی دو محیط می‌باشد.

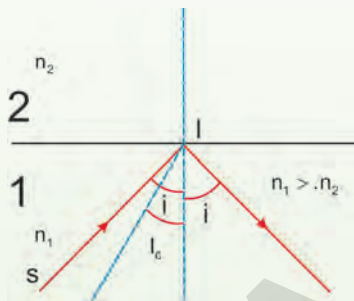


## سوال:

اگر زاویه وارده نسبت به زاویه بحرانی بزرگتر شود چه واقع می‌شود؟  
به این پرسش تحت عنوان انعکاس کلی جواب ارایه می‌گردد.

### 1-2-4: انعکاس کلی

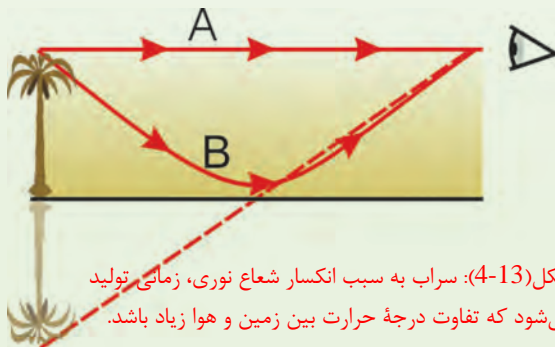
اگر اشعه نوری از محیط غلیظ طوری وارد محیط رقیق شود که زاویه وارده بزرگتر از زاویه بحرانی یعنی ( $\theta_i > \theta_c$ ) شود، در این حالت اشعه وارده از محیط اولی خود خارج نمی‌شود و سطح جدایی دو محیط به‌حیث یک آیینۀ مستوی عمل می‌کند و اشعه وارده را دو باره به محیط اولی منعکس می‌سازد. این حادثه را به‌نام انعکاس کلی یاد می‌نمایند و در شکل ذیل (4-12) نشان داده شده است.



شکل (4-12): اشعه SI به زاویه بزرگتر از زاویه حدی بالای سطح جدایی دو محیط وارد شده و در نتیجه، انعکاس کلی واقع گردیده است.

## سراب:

اگر در روزهای گرم تابستان در صحراهای بزرگ یا سرک‌های آسفالت شده شاهرها، سفر داشته باشید، البته واقعی را خواهید دید که به‌نام سراب یاد می‌شود، که آن را طور ذیل توضیح می‌نماییم:



شکل (4-13): سراب به سبب انکسار شعاع نوری، زمانی تولید می‌شود که تفاوت درجه حرارت بین زمین و هوا زیاد باشد.

وقتی که در روزهای گرم تابستان سطح زمین گرم می‌شود، درجه حرارت طبقات هوای نزدیک به آن نسبت به اقشار بالاتر بلند شده و در نتیجه کثافت آن کم و ضریب انکسار آن کوچک می‌گردد. بنابر این طبقات هوا در ارتفاعات مختلف دارای کثافت‌های گوناگون و ضریب انکسار متنوع می‌باشند.

این اثر می‌تواند یک تصویری مطابق شکل (13-4) به وجود آورد. در این حالت یک مشاهده یک درخت را از دو مسیر مختلف می‌بیند.

یک اشعه به چشمان مشاهده از طریق مسیر مستقیم A می‌رسد، و چشمان از همین مسیر، درخت را به صورت نورمال می‌بیند. اشعه دوم از طریق مسیر B به چشمان می‌رسد، این اشعه اولاً به طرف زمین می‌رود و بعداً در نتیجه انکسار شکسته و بالاخره به سبب این اشعه است که مشاهده، یک تصویر معکوس درخت را می‌بیند. در این حالت طبقات هوای نزدیک به زمین که نور را منعکس می‌نماید مانند سطح آب دیده می‌شود.

7- در زیر ستون‌های A و B سوال‌ها و جوابات مانند ذیل نوشته شده است:

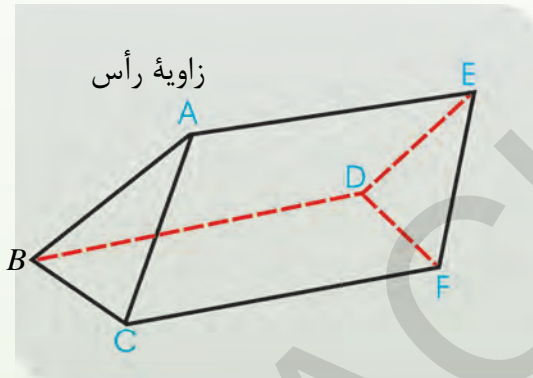
برای تکمیل درست عبارت، حروف مناسب را از ستون B انتخاب و به مقابل شماره مربوط در ستون A قرار دهید:

B	A
(a) وقتی واقع می‌شود که اشعه منکسره مماس با	1. انکسار
سطح جدایی دو محیط باشد و زاویه منکسره، به $90^\circ$ برسد.	2. سرآب
(b) زاویه وارده و زاویه منکسره با هم مساوی	3. زاویه بحرانی
است.	4. انعکاس کلی
(c) در روزهای گرم تابستان صورت می‌گیرد.	
(d) عبارت از تغییر در مسیر نور است.	
(e) در روزهای بارانی دیده می‌شود.	
(f) وقتی واقع می‌شود که زاویه وارده از زاویه حدی یا بحرانی بزرگ‌تر باشد.	

## 2-2-4: منشور

در توضیح خاصیت نور گفته شد که نور سفید در حقیقت ترکیبی از هفت رنگ مختلف است. حال پرسش به وجود می آید که چگونه می توانیم بدانیم که اشعه سفید ترکیبی از هفت رنگ اشعه می باشد؟  
 طور ذیل توضیح می نماییم:

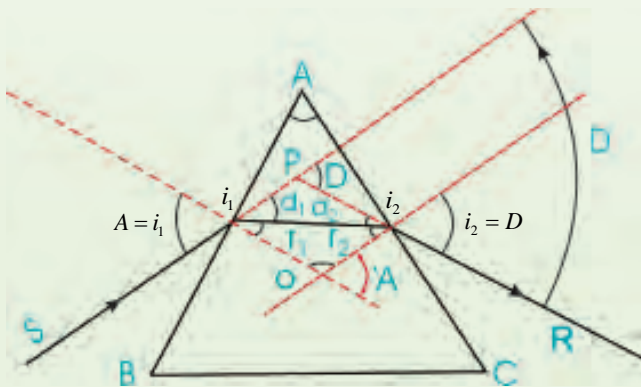
منشور عبارت از جسم شفاف است که توسط دو سطح غیر موازی که با یکدیگر زاویه دو وجهی را تشکیل بدهند محدود شده است. خط مشترک این دو سطح ( $AE$ ) عبارت از خطی می باشد که



به نام ضلع انکسار یاد می شود. سطح  $CBDF$  در مقابل این زاویه واقع است، به نام قاعده منشور یاد می شود. زاویه  $BAC$  که توسط دو سطح غیر موازی تشکیل می گردد، به نام زاویه رأس منشور یاد می شود. این زاویه را زاویه انکسار منشور نیز می گویند، شکل (4-14).

شکل (4-14) یک منشور را نشان می دهد. اگر نور سفید وارد منشور گردد، نور آبی نسبت به نور رنگ سرخ بیشتر منکسر می گردد و منشور، نور سفید را به اجزای مختلف تجزیه می نماید.

زاویه ای که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی از منشور حاصل می شود، به نام زاویه انحراف یاد شده که در این جا توسط  $D$  نشان داده شده است. زاویه انحراف مربوط به زاویه رأس، ضریب انکسار منشور و زوایای ورودی و خروجی منشور می باشد، شکل (4-15).



شکل (4-15) نمایش زاویه انحراف در منشور

از شکل (4-15) دیده می‌شود که زوایای  $\hat{i}_1$  و  $A$  باهم مساوی اند زیرا اضلاع آن‌ها دو به دو باهم عمود اند، و هم‌چنان زوایای  $D$  و  $\hat{i}_2$  قرار متواقیه باهم مساوی اند، پس می‌توان نوشت:

$$D = \hat{i}_2 \text{ و } A = \hat{i}_1$$

از جمع کردن هر دو حالت معادلات:  $D + A = i_1 + i_2$

$$D = i_1 + i_2 - A \text{ و یا}$$

و در صورت انحراف اصغری باید  $i_1 = i_2$  و  $r_1 = r_2$  باشد

یعنی در یک منشور، زاویه انحراف  $D$  زمانی اصغری می‌باشد که زاویه ورودی مساوی به زاویه خروجی شود. پس داریم که:

$$D_m = 2i - A$$

$$D_m + A = 2i$$

$$i = \frac{D_m + A}{2} \quad \text{یا}$$

چون  $A = r_1 + r_2$  و  $r_1 = r_2 = r$  است پس  $A = 2r$  یا  $r = \frac{A}{2}$

اگر قیمت‌های  $i_1$  و  $r_1$  را در رابطه  $\sin i_1 = n \sin r_1$  و ضعی نماییم، می‌توانیم بنویسیم که :

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{D_m + A}{2}}{\sin A/2} = \frac{\sin 1/2(D_m + A)}{\sin A/2}$$

با استفاده از رابطه فوق، ضریب انکسار جسم شفاف را می‌توانیم اندازه نماییم. اگر زاویه منشور کوچک باشد، زاویه انحراف اصغری نیز کوچک می‌باشد و می‌توانیم عوض  $\sin$  زاویه خود زاویه را بنویسیم. بنابراین داریم که :

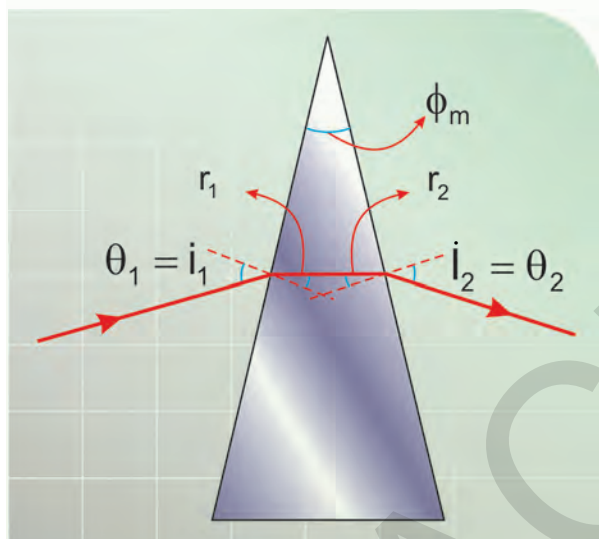
$$n = \frac{1/2(D_m + A)}{A/2}$$

$$n = \frac{D_m + A}{A} \Rightarrow D_m = A(n - 1)$$

### مثال:

قبلاً دیدیم که زاویه انحراف اصغری ( $D_m$ ) در یک منشور زمانی صورت می‌گیرد که اشعه نوری بالای منشور تحت زاویه  $\theta_1$  وارد و بعد از انکسار در منشور از وجه دیگر منشور به عین زاویه خارج گردد، چنان‌چه در شکل ذیل (4-16) نشان داده شده است شما ضریب انکسار را برای ماده منشور دریافت نمائید.

$$\theta_2 = \frac{\phi}{2} \quad \text{از گذشته می‌دانیم که:}$$



شکل (4-16)

**حل:** درحالی که در این جا  $\phi$  زاویه رأس منشور است و برای انحراف اصغری داریم:

$$\theta_1 = \theta_2 + \alpha = \frac{\phi}{2} + \frac{D_m}{2} = \frac{\phi + D_m}{2}$$

با درنظر داشت این که  $n = 1$  است، زیرا محیط اول هوا می‌باشد، از قانون سنل داریم که:

$$\sin \theta_1 = n \sin \theta_2$$

$$\sin\left(\frac{\phi + D_m}{2}\right) = n \sin(\phi/2)$$

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\phi + D_m}{2}\right)}{\sin \phi/2}$$

از این جا با داشتن زاویه رأس منشور ( $\phi$ ) و اندازه کردن  $D_m$  می‌توانیم ضریب انکسار ماده منشور را محاسبه نماییم.

### 4-3: تجزیه نور

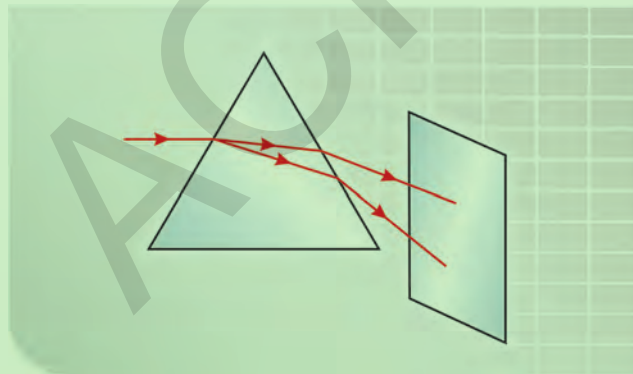
#### فعالیت

هدف: تجزیه نور

مواد مورد ضرورت: منبع نور، منشور، ورق سفید کاغذ

#### طرح‌العمل:

تجربه در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا گردد. نور را بالای یک صفحه منشور وارد نمائید. در جانب دیگر منشور، در مقابل نور خروجی ورق سفید کاغذ را قرار دهید. اگر تجربه را به دقت انجام دهید، بروی صفحه کاغذ، نورهای رنگارنگ را مشاهده خواهید کرد. در شکل ذیل طریقه اجرای تجربه نشان داده شده است.



شکل (4-16)

الف: نام این رنگ‌ها را به ترتیب بنویسید.

ب: از این تجربه چه نتیجه می‌گیرید؟

### 1-3-4: تجزیه نور چیست؟

تجربه فوق یک خاصیت مهم ضریب انکسار را نشان می‌دهد و آن این که ضریب انکسار هر شی تابع طول موج است. قانون سنل نشان می‌دهد که نوری که دارای طول‌های موج مختلف باشد در بین ماده انکسار کننده، به زوایای مختلف انکسار می‌نماید. این حادثه را تجزیه نور می‌گویند. ضریب انکسار با تزايد طول موج کاهش می‌یابد. طور مثال زمانی که نور آبی  $\lambda = 470\text{nm}$  و نور سرخ  $\lambda = 6500\text{nm}$  از بین ماده انکسار دهنده عبور می‌نمایند، نور آبی نسبت به نور سرخ بیشتر انکسار می‌نماید.

### فعالیت

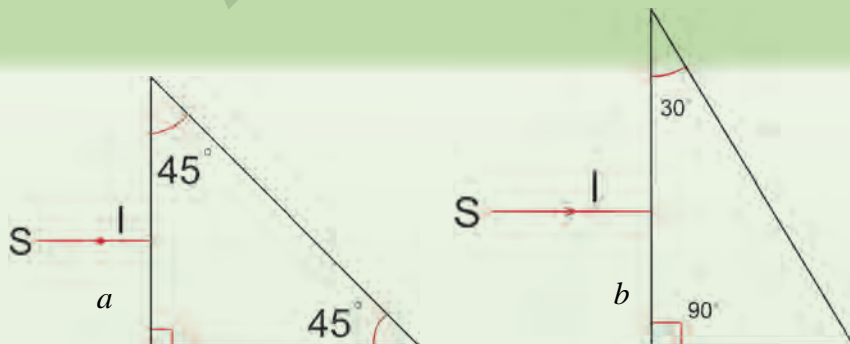
1 - در شکل (4-17a) ذیل مقطع یک منشور قائم‌الزاویه متساوی‌الساقین داده شده است. زاویه حدى این منشور  $45^\circ$  است. اشعه نور یک رنگ بالای صفحه منشور طور عمود وارد می‌گردد.

الف: مسیر این اشعه نوری را الى صفحه دیگر منشور ترسیم نمایید.

ب: زاویه انتشار اشعه نوری را در داخل منشور معلوم نمایید.

این زاویه را با زاویه حدى منشور مقایسه نمایید و مسیر اشعه را تکمیل نمایید.

در شکل (4-17b) زاویه حدى منشور  $42^\circ$  است. مسیر اشعه نوری  $SI$  را که دارای یک رنگ می‌باشد تکمیل نمایید.



شکل (4-17)



### 2-3-4: تجزیه نور سفید در منشور

هر گاه نور سفید بالای یک صفحه منشور بتابد چه واقع می‌شود؟ به این پرسش توسط تجزیه نور سفید در منشور جواب گفته می‌شود. با عبور دادن نور آفتاب از یک منشور، مرتبه اول نیوتن نشان داد که نور سفید یک ترکیبی از رنگ‌های مختلف است. سبب تجزیه نور توسط منشور این است که ضریب انکسار منشور برای رنگ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. شکل (18-4) تجزیه نور سفید و رنگ‌های حاصله از آن را نشان می‌دهد. این سلسله رنگ‌ها به نام نور قابل دید یاد می‌شود. این رنگ‌ها به ترتیب کاهش طول موج عبارت اند از: رنگ سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش.

رنگ‌های حاصل شده از تجزیه نور توسط منشور به نام طیف نوری یاد می‌شود.



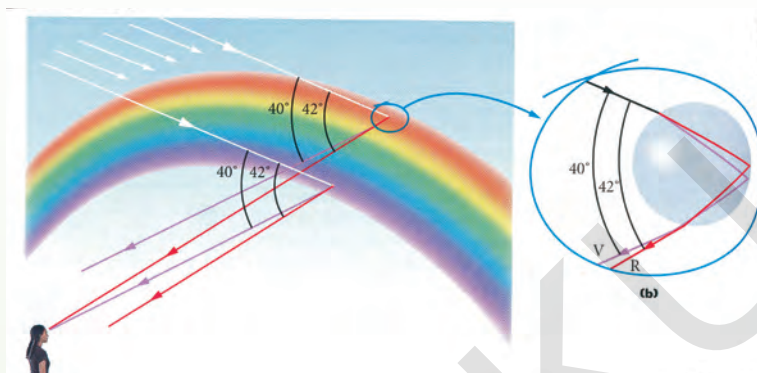
شکل (18-4): تجزیه نور سفید توسط منشور

### 3-3-4: رنگین کمان (Rainbow)

شما دیده باشید که در روزهای بهار بعد از ریزش باران در آسمان یک قوس از رنگ‌های مختلف تشکیل می‌شود که به نام رنگین کمان (یا کمان رستم) یاد می‌گردد. تشکیل رنگین کمان تجزیه نور را در طبیعت به صورت واضح ثابت می‌نماید. رنگین کمان چگونه تشکیل می‌شود؟

زمانی که شعاع آفتاب در هوا بالای یک قطره آب بتابد اولاً در سطح قدامی قطره، انکسار می‌نماید، طوری که انکسار نور بنفش بزرگ و انکسار نور سرخ کوچک می‌باشد. بعداً همین

نور منکسره بالای سطح عقبی قطره وارد می‌شود و از آن منعکس شده دو باره به سطح قدامی بر می‌گردد، که از آن مجدداً انکسار نموده این مرتبه از آب داخل هوا می‌شود. این شعاع از قطره طوری خارج می‌شود که بین نور وارده سفید و شعاع منعکسه بنفش زاویه  $40^\circ$  و با شعاع رنگ سرخ زاویه  $42^\circ$  را تشکیل می‌دهد. چنانچه در شکل (4-19) نشان داده شده است.



شکل (4-19)

(a) تشکیل رنگین کمان در قطرات باران به وسیله تجزیه نور.  
(b) انعکاس داخلی در سطح عقبی قطره باران.

### یک مشاهد رنگین کمان را چگونه می‌بینید؟

به این پرسش با در نظر داشت شکل (4-19, a) پاسخ می‌گوییم. زمانی که یک مشاهد قطره باران را در بلندی (آسمان) می‌بینید، نور با رنگ سرخ به مشاهده می‌رسد، مگر نور بنفش مانند رنگ‌های دیگر از بالای سر مشاهد عبور می‌کند. زیرا که انحراف نور بنفش نسبت به نور رنگ سرخ از مسیر نور سفید بیشتر است. بنابر این مشاهد این قطره را به رنگ سرخ می‌بیند. به طور مشابه، قطره‌های که در آسمان خیلی پایین واقع است نور بنفش را به مشاهد منعکس می‌نماید و آن قطره بنفش دیده می‌شود (از این قطره نور بارنگ سرخ به زمین می‌رسد و دیده نمی‌شود) رنگ‌های دیگر هم از قطرات به مشاهده می‌رسد که بین موقعیت‌های این دو انتها (نور سرخ و نور بنفش) واقع اند.

گفتنی است که رنگین کمان معمولاً از افق بلند تر دیده می‌شود، چنانچه که انجام‌های رنگین کمان در زمین از بین می‌رود. اگر یک مشاهد به یک ارتفاع مناسب بلند برده شود مانند طیاره، موصوف رنگین کمان را بشکل یک دایره مکمل خواهد دید.

## خلاصه فصل

- هر گاه نور از یک محیط شفاف (آب) به صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر (هوا) گردد، مسیر آن تغییر می نماید. این حادثه به نام انکسار یاد می شود.

- زمانی که نور از یک محیط شفاف داخل محیط شفاف دیگر می شود، نسبت ساین های زاویه وارده ( $i$ ) و زاویه منکسره ( $r$ )، ضریب انکسار نسبتی بین دو محیط را نشان می دهد و به نام

قانون سنل یاد می شود یعنی:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

- نسبت سرعت انتشار نور در محیط اول ( $c_1$ ) بر سرعت انتشار نور در محیط دوم ( $c_2$ ) مساوی به ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول است یعنی:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2,1} = \frac{c_1}{c_2}$$

- تغییر مکان نور خروجی نسبت به نور وارده در یک تیغه متوازی السطوح از رابطه ذیل حاصل می شود:

$$d = \frac{e}{\cos \theta_2} \sin (\theta_1 - \theta_2)$$

در این جا:  $d$ ، تغییر نور خروجی،  $e$  ضخامت تیغه متوازی السطوح،  $\theta_1$  زاویه وارده و  $\theta_2$  زاویه نور خروجی از تیغه متوازی السطوح می باشد.

- هر گاه نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق گردد، طوری که زاویه منکسره به  $90^\circ$  برسد یعنی اشعه منکسره مماس به سطح جدائی دو محیط باشد، در این حالت زاویه وارده را زاویه حدی یا بحرانی می گویند.

- اگر شعاع نوری از محیط غلیظ طوری وارد محیط رقیق شود که زاویه وارده بزرگ تر از زاویه بحرانی گردد، یعنی ( $\theta_i > \theta_c$ ). در این حالت شعاع وارده از محیط اولی خود خارج نمی شود و سطح جدائی دو محیط به حیث یک آیینة مستوی عمل می کند و شعاع وارده را دو باره به محیط اولی منعکس می نماید. این حادثه را به نام انعکاس کلی یاد می نمایند.

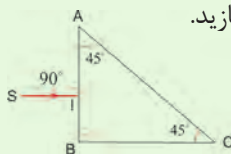
- منشور عبارت از جسم شفافی است که توسط دو سطح غیر موازی که بایکدیگر زاویه دو وجهی تشکیل بدهد محدود می باشد. خط مشترک این دو سطح به نام ضلع انکسار یاد

می‌شود. زاویه‌یی که توسط این دو سطح غیر موازی تشکیل می‌گردد به نام زاویه رأس منشور یاد می‌شود.

• زاویه‌یی که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی از منشور حاصل می‌شود به نام زاویه انحراف یاد می‌شود و آن را توسط  $D$  نشان می‌دهند.

### سوالهای اخیر فصل چهارم

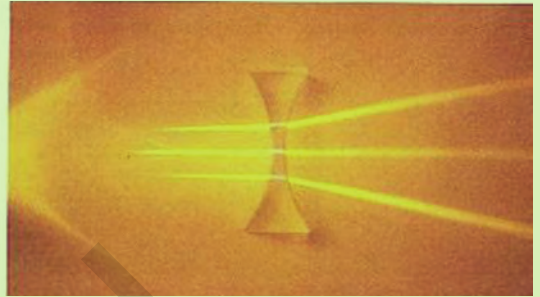
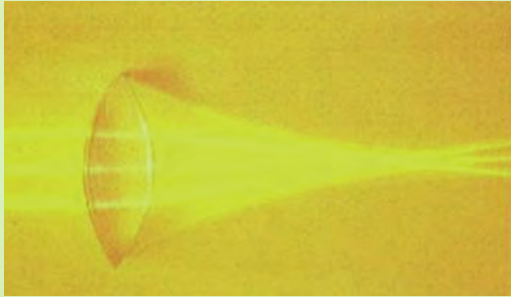
1. سه شرط برای وقوع حادثه انکسار کدام‌ها اند؟
2. چگونه رابطه بین سرعت نور و ضریب انکسار یک محیط شفاف وجود دارد؟
3. نور از هوا تحت زاویه  $42.3^\circ$  وارد آب می‌گردد. زاویه انکسار را در آب دریافت نمائید.
4. اشعه نوری بالای گیلان مملو از آب طوری وارد می‌گردد که با نارمل زاویه  $36^\circ$  را تشکیل می‌دهد. زاویه بین اشعه منکسره و نارمل را در یافت نمائید.
5. آیا اشعه نوری که از یک محیط وارد محیط دیگر می‌شود همیشه به نارمل نزدیک می‌گردد.
6. زمانی که نور در خلا ( $n = 1$ ) وارد محیط مانند شیشه می‌شود، آیا طول موج آن تغییر می‌نماید؟ آیا سرعت آن تغییر می‌کند؟ آیا فریکونسی آن تغییر می‌نماید؟
7. زاویه بحرانی را برای اشعه‌یی دریافت نمائید که از آب ( $n = 1.3$ ) وارد یخ ( $n = 1.5$ ) می‌گردد.
8. در کدام حالت ذیل سراب دیده می‌شود؟
  - a. بالای دریای گرم در روز گرم.
  - b. در روز خیلی گرم بالای سرک سفالت شده.
  - c. در روز سرد بالای محل مایل سکی.
  - d. در روز خیلی گرم بالای سنگچل‌های کنار دریا.
  - e. در روز آفتابی بالای موتر سیاه.
9. زمانی که نور سفید از یک منشور عبور می‌نماید نور رنگ سرخ زیاد انکسار می‌نماید یا نور سبز؟ چرا؟
10. اشعه نوری از هوا بالای یک طرف منشور شیشه ای  $n = 1.52$  مطابق شکل ذیل وارد می‌گردد. آیا نور از طرف دیگر منشور خارج می‌شود یا در بین منشور انعکاس کلی می‌نماید؟ با نمایش فعالیت خود را مطمئن سازید.



11. رنگین کمان چرا طوری دیده می‌شود که رنگ‌های سرخ آن بالا و رنگ‌های بنفش آن به طرف پائین می‌باشد؟



## عدسیه‌ها (Lenses)



آیا شما از ذره بین استفاده کرده اید؟ شما می‌دانید که در عقب ذره بین اشیای خیلی کوچک بزرگ معلوم می‌شوند؟ شما می‌بینید که کهن سالان به خاطر خواندن روز نامه یا کتاب از عینک که یک نوع ذره بین است استفاده می‌نمایند. همین طور بعضی از هم صنفیان شما نیز که نمی‌توانند فواصل نسبتاً زیاد یا نزدیک را خوب ببینند، از عینک استفاده می‌نمایند. اگر اشیای به اندازه‌ی کوچک باشند که نه تنها به چشم دیده شده نتوانند، بلکه ذره بین نیز نتواند آن‌ها را قابل دید بسازد، در این حالت از کدام وسیله استفاده خواهد شد؟ واضح است که در این حالت از میکروسکوپ استفاده می‌شود. آیا شما میکروسکوپ رامی‌شناسید؟ در میکروسکوپ و دیگر اشیای متذکره از عدسیه‌ها استفاده می‌شود. این که عدسیه چیست؟ چند نوع است؟ تصویر چگونه در آن تشکیل می‌شود؟ فورمول عدسیه‌ها چگونه حاصل می‌شود، بزرگ نمایی و فورمول آن و ترکیب عدسیه‌ها به تفصیل در این فصل تشریح می‌شود. هم‌چنان چشم انسان، کمره، پروجکتور و تلسکوپ نیز در همین فصل مطالعه می‌گردد.

## تعریف

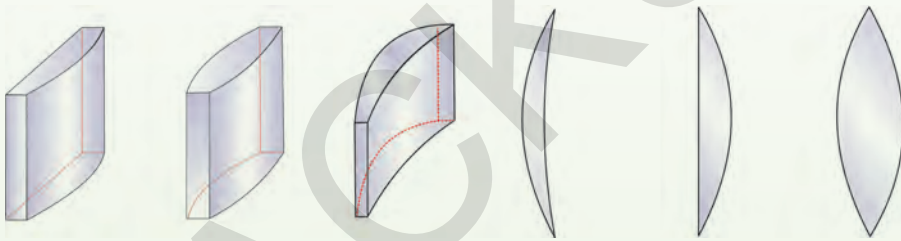
محیط شفاف‌ی مانند شیشه که توسط دو سطح محدود شده و کم از کم یک سطح آن منحنی باشد به نام عدسیه یاد می‌شود. به صورت عموم سطوح عدسیه کروی می‌باشد مگر می‌تواند یکی از آن‌ها مستوی نیز باشد، که به‌حیث سطح کروی مدنظر گرفته می‌شود و شعاع آن در لایتناهی است.

### 5-1: عدسیه‌های باریک

عدسیه باریک عدسیه‌یی را گویند که ضخامت آن به مقایسه شعاع انحنای عدسیه یا به مقایسه فاصله شی از عدسیه کوچک باشد. عدسیه‌ها را به دو گروه تقسیم می‌نمایند که عبارت از عدسیه‌های مقعر و عدسیه‌های محدب می‌باشد.

#### عدسیه‌های محدب

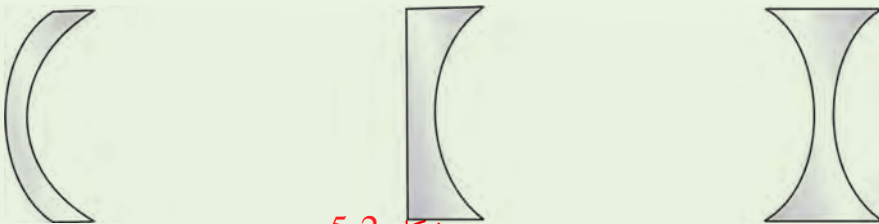
در عدسیه‌های محدب شعاع نوری بعد از عبور از عدسیه با یک‌دیگر نزدیک می‌شوند. کناره‌های عدسیه محدب نسبت به قسمت وسطی آن نازک می‌باشد و برای مقاصد مختلف آن را طوری می‌سازند که هر دو طرف آن محدب (محدب الطرفین)، یا یک طرف آن محدب و طرف دیگر آن مستوی باشد و یا هم یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب باشد. این عدسیه‌ها در شکل ذیل نشان داده شده‌اند. تمامی این عدسیه‌ها عدسیه‌های محدب‌اند.



شکل (5-1)

#### عدسیه‌های مقعر:

در عدسیه‌های مقعر شعاع نوری بعد از عبور از عدسیه از یک‌دیگر دور می‌شوند. کناره‌های این عدسیه نسبت به قسمت وسط آن ضخیم می‌باشند و آن‌ها را طوری می‌سازند که هر دو طرف آن مقعر (مقعر الطرفین) یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن مستوی می‌باشد و یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب می‌باشد. چنانچه در اشکال ذیل نشان داده شده است. علاوه بر آن عدسیه محدب توسط سمبول ( $\uparrow$ ) و عدسیه مقعر توسط سمبول ( $\downarrow$ ) نشان داده می‌شود.



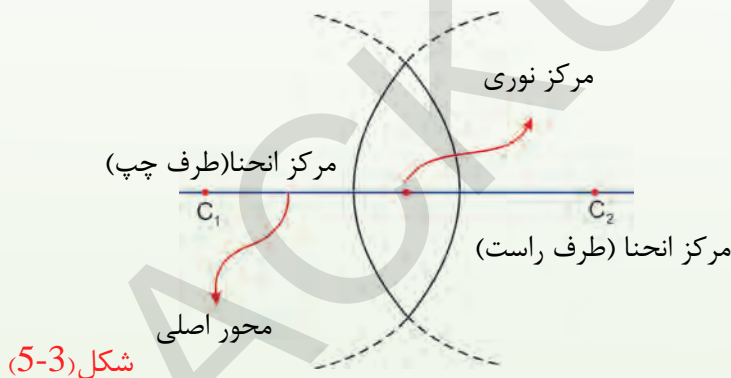
شکل (5-2)



## فعالت

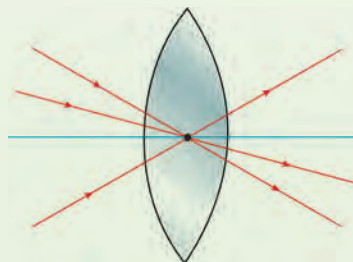
عدسیه‌هایی را که هر دو طرف آن‌ها محدب و یا مقعر باشد به‌حیث مجموعه منشورها رسم نمائید. چگونگی عبور اشعه نوری را در آن‌ها مقایسه کرده و نتایج آن‌را با هم صنفان خود شریک سازید.

**محور اصلی، مرکز نوری:** خطی که از مرکز هر دو سطح کروی عدسیه عبور کند و یا از مرکز و یا رأس سطح منحنی عدسیه بگذرد و بالای سطح مستوی آن عمود باشد، به‌نام محور اصلی عدسیه یاد می‌شود. نقطه‌ای که در مرکز کره عدسیه بالای محور اصلی واقع است، به‌نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. در شکل (3-5) محور اصلی عدسیه و مرکز نوری نشان داده شده است.



شکل (3-5)

تجربه نشان می‌دهد که هر گاه اشعه نوری بالای مرکز نوری عدسیه بتابد، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌شود. در شکل ذیل این گونه شعاع نوری که بالای عدسیه محدب الطرفین وارد گردیده است نشان داده شده است.



شکل (4-5)



## محراق عدسیه محدب الطرفین

برای در یافت و شناخت محراق عدسیه محدب الطرفین تجربه ذیل را انجام دهید.

### فعالت

مواد مورد ضرورت:

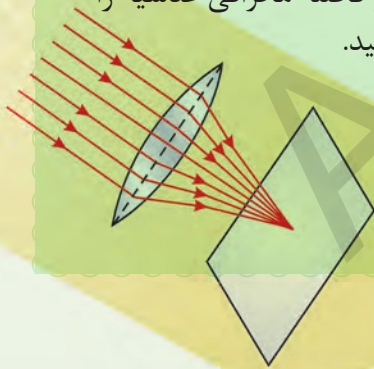
عدسیه محدب الطرفین، یک ورق کاغذ

### طرز العمل:

1. یک عدسیه محدب الطرفین را در مقابل آفتاب طوری قرار دهید که در شکل ذیل نشان داده شده است و ورقه کاغذ را مقابل عدسیه طوری جابه‌جا نمائید که یک نقطه روشن به روی آن تشکیل گردد. این نقطه را به نام محراق عدسیه یاد می‌نمایند. فاصله بین محراق و مرکز نوری عدسیه را به نام فاصله محراقی عدسیه یاد کرده و آن را توسط حرف  $f$  نشان می‌دهند.

2. همین تجربه را به طرف دیگر عدسیه انجام دهید و فاصله محراقی عدسیه را اندازه نمائید و نتیجه حاصله را در گزارش کار خود بنویسید. اگر تجربه درین مرتبه به صورت دقیق اجرا گردد، واضح

خواهد شد که این مرتبه نیز نقطه روشن در عین فاصله تشکیل می‌شود. و این نشان می‌دهد که عدسیه در هر دو طرف دارای محراق می‌باشد.



شکل (5-5)

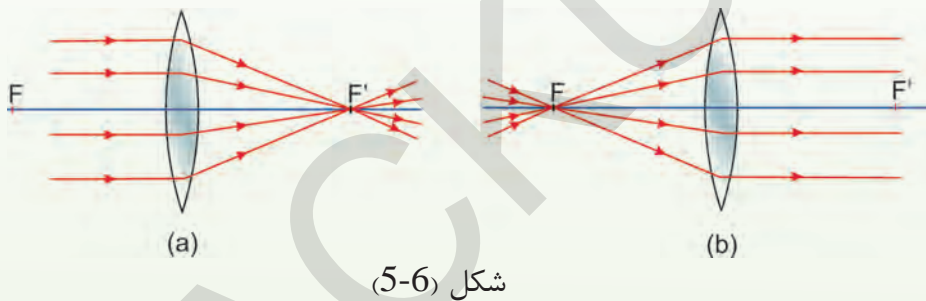
### سوالات:

1. عدسیه‌های باریک کدام نوع عدسیه‌ها اند؟
2. چند نوع عدسیه‌های محدب را می‌شناسید؟
3. چند نوع عدسیه‌های مقعر را می‌شناسید؟
4. محور اصلی و مرکز نوری را تعریف نمائید.

## 5-2: ترسیم اشعه در عدسیه‌های محدب

چون افتاب از ما به فاصله زیادی واقع است، بنابراین شعاع‌هایی که از آفتاب بالای یک عدسیه می‌تابد با یکدیگر موازی می‌باشند. از شکل (5-5) و تجربه فوق نتیجه می‌گیریم که هر گاه نور موازی به محور اصلی بالای عدسیه محدب الطرفین بتابد، بعد از عبور از عدسیه از محراق عدسیه می‌گذرد. شکل ذیل (5-6a) و تجربه فوق نتیجه می‌گیریم که هر گاه نور موازی به محور اصلی بالای عدسیه محدب الطرفین بتابد، بعد از عبور از عدسیه از محراق عدسیه می‌گذرد. شکل ذیل (5-6b) را ببینید. اگر شعاع نوری از محراق عدسیه گذشته و بالای عدسیه بتابد چگونه پخش می‌گردد؟

چنانچه در شکل (5-6b) دیده می‌شود شعاعی که از محراق عدسیه عبور و بالای عدسیه بتابد موازی با محور اصلی عدسیه از عدسیه خارج می‌شود.



شکل (5-6)

### فعالیت

عدسیه‌های محدب الطرفین و مقعر الطرفین را به‌حیث یک مجموعه منشورها در نظر بگیرید و مسیرهای موازی شعاع را در آن رسم و به این ترتیب عدسیه و منشور را بایکدیگر مقایسه نمایید.

## در مورد موضوع روشنی می‌اندازیم:

در بحث منشور دیدیم، زمانی که یک دسته شعاع از منشور عبور می‌نماید، منشور آن را به طرف قاعده (قسمت ضخیم) منحرف می‌نماید. در این جا نیز می‌توانیم یک عدسیه محدب یا مقعر را به‌حیث یک ترکیب یک تعداد منشورها قبول نماییم، چنانکه از قسمت وسط به طرف کنارها می‌رویم زاویه انحراف آهسته آهسته زیاد می‌شود. بنابراین هر اندازه که به کنارهای عدسیه نزدیک می‌شویم انحراف اشعه نوری زیاد می‌گردد. از این جا واضح می‌شود

که زمانی اشعه موازی از عدسیه محدب عبور می‌نماید، در محراق اصلی جمع می‌شود و بعد از عبور از عدسیه مقعر از یک‌دیگر دور و طوری معلوم می‌شود که گویا یا از محراق عدسیه که مجازی می‌باشد پخش می‌گردد. عدسیه مقعر بعداً مطالعه خواهد شد.

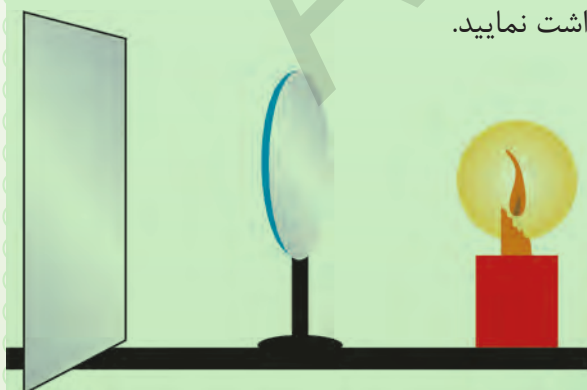
### فعالیت

هدف: تشکیل تصویر توسط عدسیه محدب.

**مواد مورد ضرورت:** عدسیه محدب الطرفین با پایه آن، شمع، گوگرد و یک ورق کاغذ. تجربه را در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا نمایید.

### طرز العمل:

1. چنانچه در فعالیت قبلی توضیح شد فاصله محراقی عدسیه را اندازه نمایید.
2. عدسیه را بالای پایه آن نصب کرده و شمع را روشن نمائید و آن را مطابق شکل (5-7) در فاصله بیشتر از فاصله محراقی در مقابل عدسیه قرار دهید. ورق کاغذ را در جانب دیگر عدسیه طوری جابه‌جا نمائید که بالای آن تصویر واضح شمع دیده شود.
3. شمع روشن را به محراق عدسیه نزدیک یا از آن دور نمائید و در هر حالت تصویر را بالای کاغذ دیده و نتیجه را یادداشت نمایید.



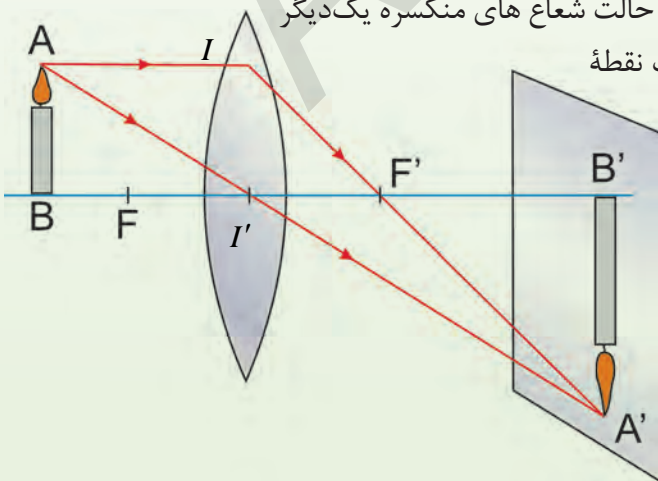
شکل (5-7)

4. در کدام فاصله از عدسیه، اندازه تصویر مساوی به اندازه جسم می‌باشد؟ این فاصله را با فاصله محراقی مقایسه نمایید.

### 5-3: تشکیل تصویر در عدسیه‌های باریک

یک شمع روشن را در مقابل یک عدسیه محدب در فاصله‌یی در نظر بگیرید که نسبت به فاصله محراقی بیشتر باشد، شکل (5-8) دیده شود. از هر نقطه شمع مانند نقطه  $A$  اشعه زیادی بالای عدسیه می‌تابد. از جمله این شعاع‌ها دو شعاع آن‌را در نظر می‌گیریم، یکی آن اشعه  $AI$  (موازی به محور اصلی) و دیگر آن اشعه  $AI'$  (اشعه که از مرکز نوری عدسیه عبور می‌نماید). بعداً هر اشعه‌ای را که از عدسیه خارج می‌شود چنان‌چه گفته شد رسم می‌نماییم. شعاع منکسره این دو شعاع در نقطه  $A'$  یک‌دیگر را قطع می‌نمایند. هر گاه هر شعاع نوری دیگری نیز از نقطه  $A$  بالای عدسیه بتابد، شعاع منکسره آن‌ها نیز از نقطه  $A'$  عبور خواهد کرد، بنابراین برای حاصل کردن نقطه  $A'$  (که تصویر نقطه  $A$  است)، دو اشعه کفایت می‌کند. چنان‌چه در مورد آینه‌ها گفته شده است، تصویر نقاط دیگر شمع را نیز به همین ترتیب بدست آورده می‌توانیم. تجربه نشان می‌دهد که تصویر یک شی عمود بالای محورهاصلی عدسیه بالا محور اصلی عمود می‌باشد و تصویر نقطه‌ای که بالای محور اصلی واقع باشد نیز بالای محور اصلی واقع می‌باشد. بناءً با حاصل کردن نقطه  $A'$  (تصویر نقطه  $A$ ) می‌توانیم تصویر یک شی را که بالای محور اصلی عمود باشد تشکیل بدهیم.

تصویری که در این حالت تشکیل می‌گردد به نام تصویر حقیقی یاد می‌شود. چنان‌چه در شکل (5-8) دیده می‌شود، این تصویر بالای کاغذ یا پرده‌یی که در محل تصویر واقع باشد، تشکیل می‌گردد. در این حالت شعاع‌های منکسره یک‌دیگر



را قطع می‌نمایند. در حقیقت نقطه  $A'$  یک نقطه روشن واقعی است و هر گاه چشمان در امتداد مسیری که این شعاع از آن عبور می‌نماید واقع گردد، نقطه روشن  $A$  دیده می‌شود.

شکل (5-8)

## سوال:

آیا می‌توانید توسط عدسیه‌های محدب‌الطرفین تصاویر حقیقی و مجازی اشیای حقیقی را تشکیل بدهید؟ این کار را با اجرای یک فعالیت انجام دهید.

## فعالیت

**هدف:** مطالعهٔ چگونگی تصویر، با قرار دادن یک شمع روشن در فاصله‌های مختلفی از یک عدسیهٔ محدب‌الطرفین.

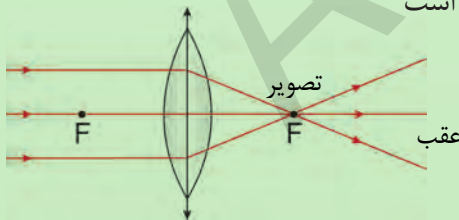
### مواد مورد ضرورت:

عدسیه محدب‌الطرفین، شمع و گوگرد

## طرز العمل:

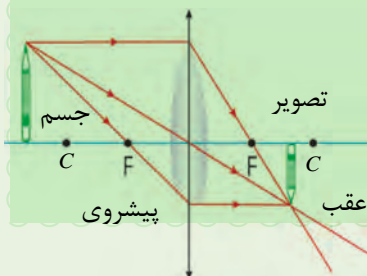
طریقهٔ ترسیم تصویر یک شیء  $AB$  را در عدسیهٔ محدب‌الطرفین در حالات ذیل بررسی نمائید:  
1. هرگاه یک شیء  $AB$  از عدسیه خیلی دور (در لایتناهی) واقع باشد، شما خواهید دید که تصویر آن مانند نقطه در محراق تشکیل می‌شود.

چنان‌چه در شکل ذیل نشان داده شده است

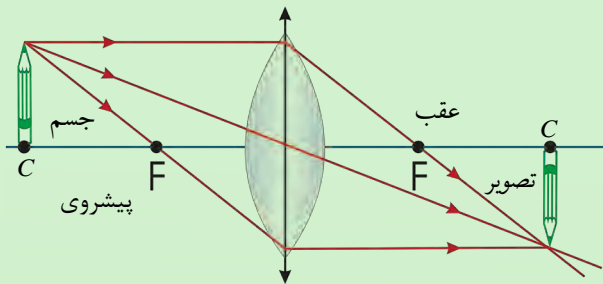


(5-9a) شیء در لایتناهی، تصویر آن مانند یک نقطه در  $F$  این تصویر حقیقی است یعنی می‌تواند بالای پرده بتابد.

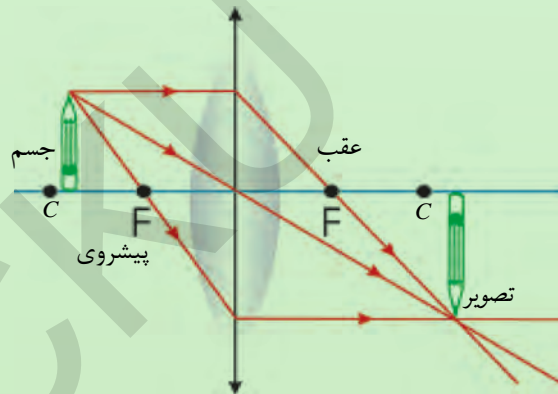
2. اگر فاصلهٔ شیء به محراق نزدیک گردد، تصویر بزرگ شده و دور می‌شود، چنان‌چه تصاویر در اشکال دوم، سوم و چارم نشان داده شده‌اند.



(5-9b) شکلی خارج از 2 است.

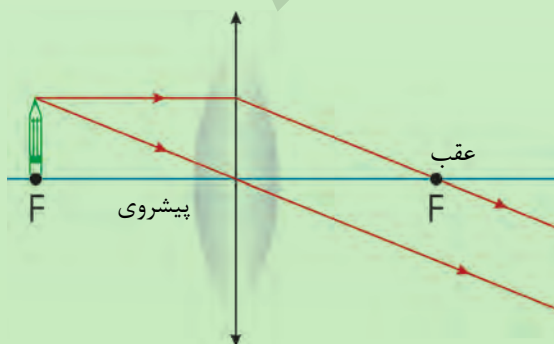


(5-9c) شی در C واقع است.  
تصویر حقیقی، مساوی به اصل شی  
و در C واقع است.



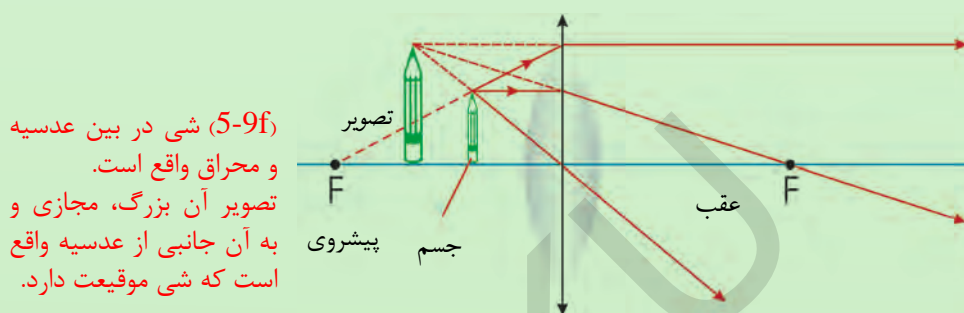
(5-9d) شی بین F , C واقع است.  
تصویر حقیقی، بزرگتر از اصل شی و  
خارج از C واقع می‌باشد.

3. اگر شی در محراق واقع باشد چنانچه در شکل (5-9,e) نشان داده شده است،  
اشعه نوری وارده از شی بعد از عبور از عدسیه با یکدیگر طور موازی انتشار می‌کند.



(5-9e) شی در F واقع است.  
تصویر در لایتنای تشکیل می‌شود.

4. اگر شی بین عدسیه محدب و محراق آن واقع باشد، شعاع نوری که از شی به عدسیه می‌رسد، بعد از عبور از عدسیه مطابق شکل (  $5-9f$  ) پخش می‌گردد. این تصویر را یک مشاهد در عقب عدسیه می‌بیند یعنی آن جانب عدسیه دیده می‌شود که شی واقع است.



(  $5-9f$  ) شی در بین عدسیه و محراق واقع است. تصویر آن بزرگ، مجازی و به آن جانی از عدسیه واقع است که شی موقعیت دارد.

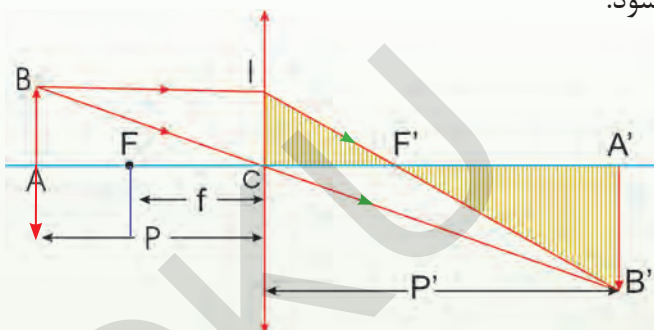
### به سوالات ذیل جواب دهید:

1. برای ترسیم تصویر در یک عدسیه به چند شعاع ضرورت می‌باشد؟
  2. اگر یک شی از عدسیه به اندازه فاصله دو چند محراق واقع باشد، تصویر آن را رسم و چگونگی آن را بیان نمایید.
  3. اگرشی در محراق عدسیه واقع باشد، تصویر آن در کجا تشکیل می‌گردد؟
  4. جاهای خالی جمله ذیل را با کلمه‌های مناسب پر نمایید.
- اگر شی در بین محراق عدسیه محدب و  $2f$  واقع باشد، تصویر آن .....، ..... و خارج از ..... تشکیل می‌گردد.



#### 5-4: معادله عدسیه باریک و بزرگ نمایی

برای این که تصویر یک جسم  $AB$  را توسط عدسیه باریک تشکیل بدهیم، از یک نقطه جسم دو اشعه را بالای عدسیه رسم طوری می نماییم که یک اشعه موازی با محور اصلی عدسیه بوده و بعد از عبور از عدسیه از محراق  $F$  می گذرد، و اشعه دومی بالای مرکز عدسیه می تابد، که بدون انحراف از عدسیه عبور و در مسیر همین اشعه، اشعه اولی را قطع می کند که نقطه تقاطع این دو اشعه تصویر نقطه مورد نظر جسم را تشکیل می دهد. در شکل ذیل دیده شود.



شکل (5-10)

فرض می نماییم که جسم  $AB$  به فاصله  $p$  از عدسیه محدب الطرفین که دارای فاصله محراقی  $f$  می باشد واقع است. عدسیه متذکره تصویر  $A'B'$  این جسم را تشکیل می دهد که از عدسیه به فاصله  $p'$  واقع می باشد. اگر فاصله محراقی عدسیه را توسط  $f$  نشان دهیم، از تشابه مثلث های  $\triangle ABC$  و  $\triangle A'B'C$  می توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'C}}{\overline{AC}}$$

اگر طول جسم و تصویر را بالترتیب با  $I$ ,  $I$  نشان دهیم، داریم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{I}{O} \dots \dots \dots (1)$$

یا:

$$\frac{p'}{p} = \frac{I}{O}$$



همچنان از تشابه مثلث‌های  $\triangle A'B'F'$  و  $\triangle F'IC$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{A'B'}{IC} = \frac{A'F'}{F'C}$$

با ملاحظه شکل می‌توانیم رابطه فوق را قرار ذیل تعویض کنیم:

$$\frac{I}{O} = \frac{A'C - F'C}{F'C}$$

در رابطه فوق عوض  $F'C$  و  $A'C$  قیمت‌های شان را وضع کرده، داریم که:

$$\frac{I}{O} = \frac{P' - f}{f} \dots\dots\dots (2)$$

از مقایسه معادلات (1) و (2) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{P'}{P} = \frac{P' - f}{f}$$

یا:

$$P'f = pp' - pf \dots\dots\dots (3)$$

از تقسیم نمودن اطراف معادله (3) بالای  $fPP'$  حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (4)$$

اگر بزرگ‌نمایی عدسیه را توسط  $\gamma$  نشان دهیم، پس از معادله (1) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P} \dots\dots\dots (5)$$

معادلات 4 و 5 عبارت از معادلات عدسیه محدب می‌باشد. در این نوع عدسیه،  $f$  همیشه مثبت ولی  $P, P'$  در صورت مجازی بودن شی و تصویر، منفی می‌باشد.

### فرمول نیوتن:

اگر  $X$  و  $X'$  بالترتیب فواصل شی و تصویر از محراق‌های  $F$  و  $F'$  باشند، از تشابه مثلث‌های  $\triangle ABF$  و  $\triangle FCI'$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{I'C}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FC}}{\overline{FA}}$$

یا:

$$\frac{l}{O} = \frac{f}{x} \dots \dots \dots (1)$$

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های  $\triangle A'B'F'$  و  $\triangle FCI$  داریم که:

$$\frac{A'B'}{IC} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{A'F'}{F'C}$$

و یا:

$$\frac{l}{O} = \frac{x'}{f} \dots \dots \dots (2)$$

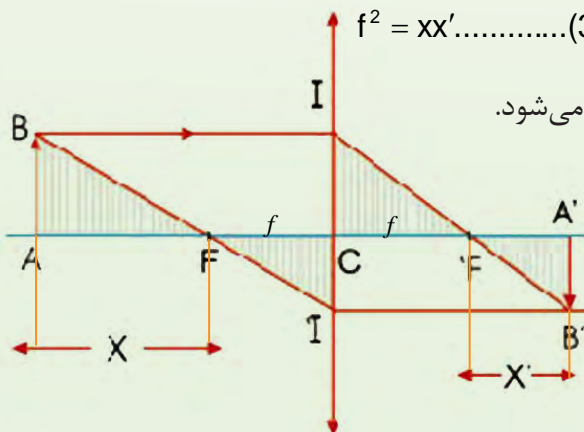
از مقایسهٔ معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که:

$$\frac{l}{O} = \frac{f}{x} = \frac{x'}{f}$$

و یا:

$$f^2 = xx' \dots \dots \dots (3)$$

رابطهٔ (3) به‌نام فرمول نیوتن یاد می‌شود.



شکل (5-11)

### مثال:

جسمی که دارای طول 8 سانتی متر می باشد از عدسیه محدبی که دارای فاصله محراقی 20 سانتی متر است به فاصله 30 سانتی متر قرار دارد. فاصله تصویر را از عدسیه و طول تصویر را در یافت نمائید.

### حل:

$$O = 8cm, f = 20cm, P = 30cm, P' = ?, I = ?$$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{P'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{P} = \frac{1}{20cm} - \frac{1}{30cm} = \frac{3-2}{60cm} = \frac{1}{60cm} \Rightarrow P' = 60cm$$

به همین ترتیب:

$$\frac{I}{O} = \frac{P'}{P} \Rightarrow I = \frac{O \times P'}{P} = \frac{8cm \times 60cm}{30cm} = 16cm \Rightarrow I = 16cm$$

### مثال:

اگر محراق به حیث مبدأ قبول گردد و فاصله جسم 25 سانتی متر و فاصله تصویر 4 سانتی متر باشد، فاصله محراقی را در یافت نمایید.

**حل:** چون  $x = 25cm$   $x' = 4cm$  است، پس:

$$f^2 = xx'$$

$$f^2 = 25cm \times 4cm$$

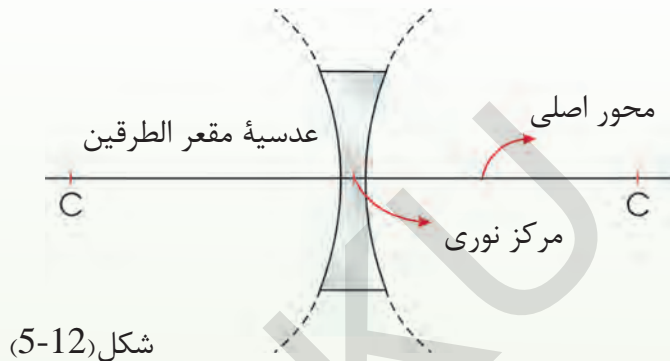
$$f^2 = 100cm^2$$

$$f = \sqrt{100cm^2} = 10cm$$



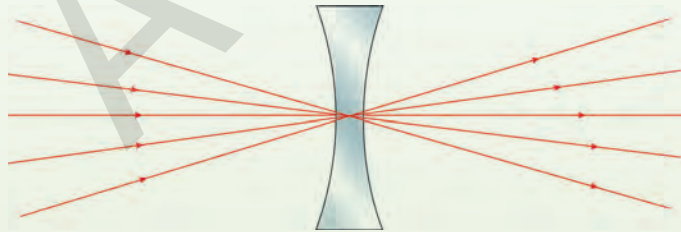
## 5-5: خصوصیات عدسیه‌های مقعر

1. **محور اصلی، مرکز نوری:** چنانچه در عدسیه‌های محدب دیده شد، محور اصلی عدسیه‌های مقعر نیز خطی است که سطوح مرکز کروی عدسیه را باهم وصل می‌نماید. نقطه مابین عدسیه‌یی که بالای محور اصلی واقع است، به نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. در شکل (5-12) محور اصلی و مرکز نوری عدسیه نشان داده شده است.



شکل (5-12)

در عدسیه‌های مقعر نیز اشعه‌یی که بالای مرکز نوری عدسیه وارد می‌شود، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌گردد. در شکل (5-13) ذیل، این نوع اشعه که بالای عدسیه می‌تابد نشان داده شده است.

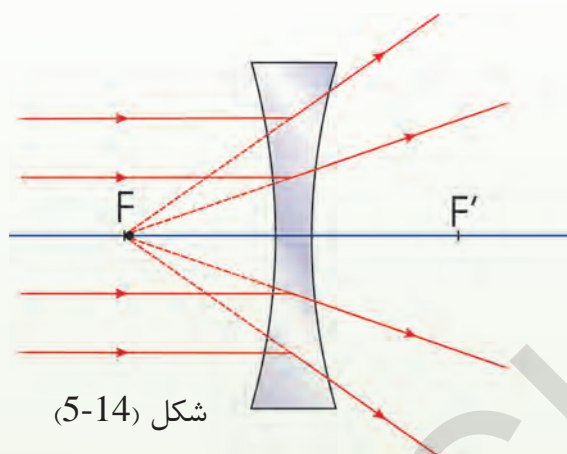


شکل (5-13)

2. **محرّاق عدسیه‌های مقعر:** اگر شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای عدسیه مقعر وارد گردد، بعد از انکسار و عبور از عدسیه طوری از یک‌دیگر دور می‌شوند که امتداد شان در عقب از یک نقطه بالای محور اصلی می‌گذرد. این نقطه را به نام محرّاق عدسیه مقعر یاد می‌نمایند. فاصله بین محرّاق و مرکز نوری را به نام فاصله محرّاقی یاد کرده و آنرا توسط  $f$  نشان می‌دهند.

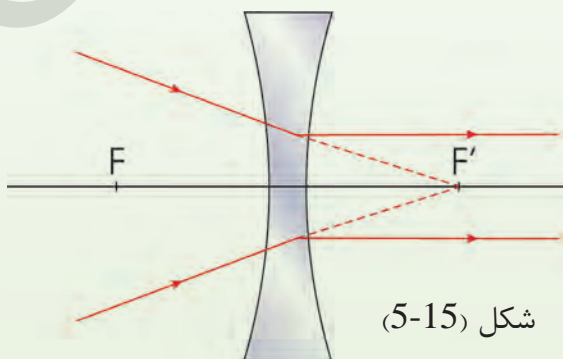


در شکل (5-14) شعاع نوری وارده موازی با محور اصلی و شعاع منکسره مربوط آن نشان داده شده است. در عدسیه‌های مقعر محراق مجازی می‌باشد.



شکل (5-14)

اگر شعاع نوری بالای عدسیه مقعری طوری وارد گردد که بعد از عبور از عدسیه امتداد شان از محراق عبور نمایند، در آن صورت شعاع منکسره با محور اصلی موازی خواهد بود. در شکل (5-15) این گونه شعاع نوری نشان داده شده است.



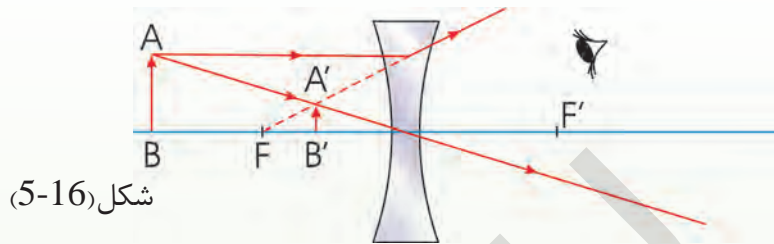
شکل (5-15)

### تصویر در عدسیه‌های مقعر

در این نوع عدسیه‌ها نیز تصویر یک شی عمود بالای محور اصلی عدسیه را توسط ترسیم تصویر یک نقطه آن در یافت می‌نماییم. طوری که از تمامی اشعه نوری که بالای عدسیه

وارد می‌شود، دو شعاع معین که یکی آن موازی با محور اصلی بوده و دیگر آن شعاع نوری است که بالای مرکز نوری عدسیه می‌تابد و با شعاع نوری که امتداد آن از محراق عبور

می‌نمایند ترسیم می‌نماییم تا این‌که تصویر نقطه مورد نظر تشکیل گردد.  
در شکل (5-16)، تصویر یک شی  $AB$  در عدسیه مقعر نشان داده شده است.



اگر در این عدسیه از استقامت اشعه منکسره دیده شود، شی  $AB$  در موقعیت  $A'B'$  مشاهده می‌گردد. این تصویر مجازی است. یک شیء به هر فاصله‌ای که در مقابل عدسیه مقعر گذاشته شود، تصویر آن همیشه نسبت به اصل شی کوچک، مجازی و مستقیم می‌باشد، و در فاصله کوچک‌تر از فاصله محراقی مشاهده می‌شود.

### فعالیت

با استفاده از دروس گذشته و بعد از مشوره بین هم تجربه‌یی را طرح نمائید که به کمک آن بتوانید محراق عدسیه مقعر را تعیین نمائید.

### 5-6: فورمول عدسیه‌های مقعر

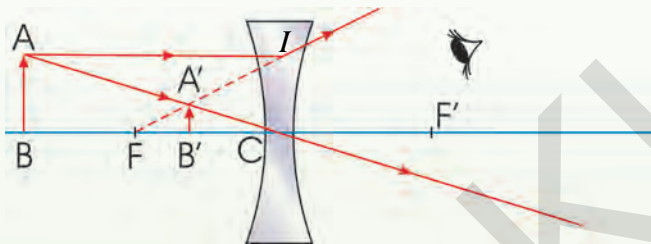
برای در یافت فورمول عدسیه مقعر، شکل (5-17) را که در عدسیه مقعر تصویر شی  $AB$  را نشان می‌دهد در نظر می‌گیریم.

در شکل (5-17)، از تشابه مثلث‌های  $\triangle ABC$  و  $\triangle A'B'C$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'C}{BC}$$

یا:

$$\frac{l}{O} = \frac{P'}{P} \dots \dots \dots (1)$$



شکل (5-17)

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های  $\triangle ICF$  و  $\triangle A'FB'$  داریم که:

$$\frac{A'B'}{IC} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'F}{FC}$$

$$\frac{l}{O} = \frac{f - P'}{f} \dots \dots \dots (2) \quad \text{یا:}$$

از مقایسه معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که :

$$\frac{f - p'}{f} = \frac{P'}{P} \dots \dots \dots (3)$$

بعد از اجرای عملیه‌های لازم حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{f}$$

### نکات ذیل را باید همیشه در نظر داشته باشیم.

1. اگر عدسیه محدب باشد، فاصله محراقی مثبت است.
2. اگر عدسیه مقعر باشد، فاصله محراقی منفی می‌باشد.
3.  $P$  و  $P'$  در صورت مجازی بودن، منفی می‌باشند، پس رابطه فوق شکل ذیل را دارد:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{f}$$

هم‌چنان بزرگ‌نمایی عدسیه از رابطه  $\gamma = \frac{P'}{P} = \frac{I}{O}$  حاصل می‌گردد.

### مثال:

جسمی در مقابل عدسیه مقعری که دارای شعاع انحنای 14 سانتی متر است به فاصله 6 سانتی متری واقع است. فاصله تصویر را از عدسیه در یافت نمایید.

**حل:** چون شعاع انحنا  $R = 24\text{cm}$  است، پس  $f = \frac{R}{2} = \frac{24}{2} = 12\text{cm}$  می‌باشد. هم‌چنان  $P = 6\text{cm}$  است، بنابر این با استفاده از فورمول داریم که:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{P'} = -\frac{1}{12} - \frac{1}{6} = \frac{-1-2}{12} = -\frac{3}{12} = -\frac{1}{4}$$

$$P' = -4\text{cm}$$

علامه منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.



### مثال:

شی مجازی که دارای طول 10cm سانتی متر است اگر به فاصله 20 سانتی متر از عدسیه مقعری که دارای فاصله محراقی 30cm سانتی متر می باشد واقع گردد، نوع تصویر را معلوم نمائید.

**حل:** چون عدسیه، مقعر و شی مجازی است. پس فاصله شی و فاصله محراقی هر دو

منفی می باشد. یعنی:

$$-\frac{1}{20} + \frac{1}{P'} = -\frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{P'} = -\frac{1}{30} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{P'} = \frac{-2+3}{60}$$

$$\frac{1}{P'} = \frac{1}{60}$$

$$P' = 60\text{cm}$$

$$\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P} = \frac{60}{30} = 2$$

قبلاً دیدیم، زمانی که اشعه نوری از یک محیط شفاف وارد محیط شفاف دیگر شود، اشعه نوری انکسار می نماید.

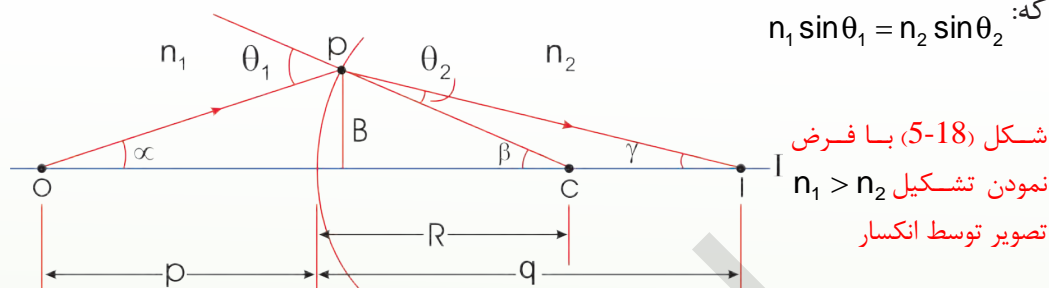
### آیا در نتیجه انکسار تصویر تشکیل شده می تواند؟

با استفاده از دیاگرام ذیل رابطه بین فاصله شی و تصویر را نسبت به یک سطح انکسار کننده که عبارت از  $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$  است، در یافت نمایید.

برای حل مسأله دو محیط شفاف را در نظر بگیرید که دارای ضرایب انکسار  $n_1$  و  $n_2$  باشند. در حالی که سطح جدا کننده بین دو محیط، یک سطح کروی با شعاع  $R$  باشد، شکل

(5-18). در شکل دیده می‌شود که یک شعاع از نقطه O منشأ گرفته و توسط سطح کروی در نقطه P انکسار می‌نماید. برای این اشعه از تطبیق قانون انکسار سنل حاصل می‌شود

$$\text{که: } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



چون  $\theta_1$  و  $\theta_2$  خیلی کوچک فرض شده است، پس با استفاده از تعریف زاویه کوچک می‌توانیم بنویسیم که:  $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$

از حقیقتی استفاده می‌نماییم که بیان می‌کند: زاویه خارجی هر مثلث مساوی به مجموع دو زاویه داخلی غیر مجاور آن مثلث است. با تطبیق این قاعده در مثلث‌های  $\triangle PIC$  و  $\triangle OPC$  حاصل می‌نماییم که:

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$B = \theta_2 + \gamma \Rightarrow \theta_2 = \beta - \gamma$$

اگر قیمت‌های  $\theta_1$  و  $\theta_2$  به معادله  $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$  فوق وضع گردد، در یافت می‌نماییم که:

$$n_1(\alpha + \beta) = n_2(\beta - \gamma)$$

$$\text{و یا } n_1 \alpha + n_2 \gamma = (n_2 - n_1) \beta$$

$$\text{از شکل می‌توانیم بنویسیم که: } \text{tg} \alpha \approx \alpha \approx \frac{d}{p}$$

$$\text{tg} \beta \approx \beta \approx \frac{d}{R}$$

$$\text{tg} \gamma \approx \gamma \approx \frac{d}{q}$$

با وضع کردن قیمت‌های  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  در معادله اخبرو تقسیم آن بالای d حاصل می‌نماییم که:

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

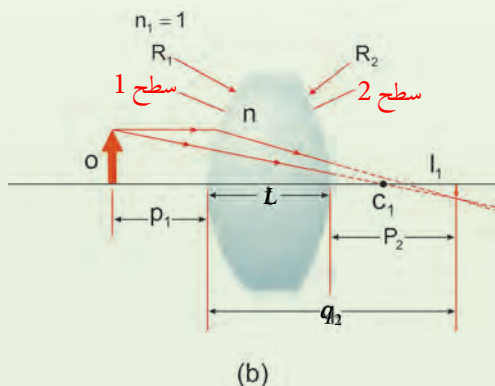
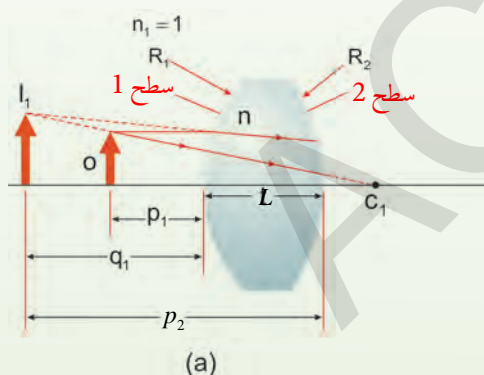
این افاده رابطه بین فاصله‌های شیء و تصویر را نسبت به یک سطح انکسار کننده نشان می‌دهد. چون عدسیه‌ها تصویر را توسط انکسار تشکیل می‌دهند، پس می‌توانیم با استفاده از رابطه فوق معادله ساختن عدسیه را در یافت نماییم.

### 5-7: معادله ساختن عدسیه (فورمول ساختن عدسیه)

قبلاً ذکر گردید که از عدسیه‌ها در ساختن آلات اپتیکی استفاده می‌شود پس باید بدانیم که عدسیه چگونه ساخته می‌شود؟ واضح است که می‌گوئید اولاً باید فورمول ساخت عدسیه را دریافت کرد. برای دریافت فورمول ساخت عدسیه باید بدانیم که عدسیه توسط کدام حادثه، تصویر تشکیل می‌دهد؟ برای پاسخ به این سوال یک بار دیگر به تعریف عدسیه توجه می‌نمائیم و خواهیم دید که برای تشکیل تصویر یک شیء، باید به یک طرف عدسیه، نور شیء بالایی عدسیه بتابد و از طرف مقابل آن خارج گردد. چون عدسیه یک محیط شفاف است، شعاع نوری در وقت عبور از عدسیه در دو سطح انکسار را متحمل می‌شود. در این حالت

تصویر تشکیل شده توسط یک سطح انکسار دهنده، برای سطح دیگر حیثیت شیء را دارد. حالا یک عدسیه ضخیم را در نظر می‌گیریم که دارای ضریب انکسار  $n$  باشد (چنانچه در شکل نشان داده شده است).

$R_1$  شعاع همان سطح عدسیه است که در مرتبه اول نور از شیء به آن می‌رسد، و  $R_2$  شعاع انحنای سطح دیگر عدسیه است. یک شیء را در مقابل سطح 1 در فاصله  $P_1$  در نقطه  $O$  بگذارید.



شکل (5-19)

الف: عدسیه با داشتن فاصله محراقی کوچک‌تر، دارای قدرت بزرگ‌تر در نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد  
ب: عدسیه‌یی که دارای فاصله محراقی بزرگ‌تر است، دارای قدرت کوچک‌تر برای نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.

با استفاده از معادلهٔ اخیر ( $\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R}$ ) و فرض کردن  $n = 1$ ، (زیرا عدسیه توسط هوا احاط گردیده است)، برای تصویر تشکیل شده I توسط سطح 1 معادلهٔ ذیل را در یافت می‌نماییم.

$$\frac{1}{P_1} + \frac{n}{q_1} = \frac{n-1}{R_1} \dots\dots\dots (1)$$

در این جا  $q_1$  موقعیت تصویر توسط سطح 1 است. اگر تصویر تشکیل شده توسط سطح 1 تصویر مجازی باشد شکل (4-18)،  $q_1$  منفی است، و اگر تصویر حقیقی باشد موقعیت آن مثبت می‌باشد شکل (4-18, b).

حالا همان معادلهٔ فوق را بالای سطح 2 با در نظر داشت  $n_1 = n$  و  $n_2 = 1$  تطبیق می‌نماییم  $n$  ضریب انکسار مادهٔ داخل عدسیه است). فرض می‌نماییم که  $P_2$  فاصلهٔ شی از سطح 2 و  $q_2$  فاصلهٔ تصویر از آن باشد.

$$\frac{n}{P_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1-n}{R_2}$$

تصویر تشکیل شده توسط سطح اول برای سطح دوم چپیت شی را دارد. در شکل (2)،  $P_2$  فاصلهٔ اندازه شده از سطح 2 است که با  $q$  طور ذیل رابطه دارد.

شکل (5-19a) تصویر مجازی از سطح 1:  $P_2 = -q_1 + L$  ( $q_1$  منفی است)

شکل (5-19b) تصویر حقیقی از سطح 2:  $P_2 = +q_1 - L$  ( $q_1$  مثبت است)

$L$  ضخامت عدسیه است. برای عدسیهٔ باریک یعنی عدسیه‌یی که ضخامت آن با مقایسهٔ شعاع انحنا کوچک و قابل صرف نظر باشد می‌توانیم بنویسیم:

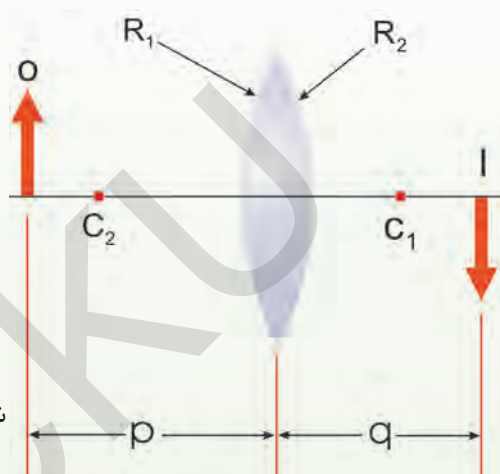
برای تصویر سطح 1،  $P_2 = -q$  (اگر از سطح 1 تصویر حقیقی باشد، تصویر به‌حیث یک شی مجازی عمل می‌کند، بنابراین این  $P_2$  مثبت می‌باشد). از این رو معادله را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$-\frac{n}{q_1} + \frac{1}{q_2} = \frac{1-n}{R_2} \dots\dots\dots (2)$$

از جمع کردن معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که:

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_2} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \dots \dots \dots (3)$$

برای عدسیه باریک می‌توانیم فاصله شی را  $p$  و فاصله تصویر را  $q$  بگوییم، و با در نظر داشت شکل (5-20) معادله فوق را طور ذیل بنویسیم:



شکل (5-20)

شکل ساده هندسی برای عدسیه باریک

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \dots \dots \dots (4)$$

می‌دانیم که:  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  و چون فاصله محراقی یک عدسیه باریک عبارت از فاصله تصویری است که باید شی آن در لاتینا هی واقع باشد. پس در رابطه فوق باوضع کردن  $\infty$  به عوض  $q, p$  مساوی به  $f$  می‌شود. پس برای یک عدسیه باریک معکوس فاصله محراقی عبارت است از:

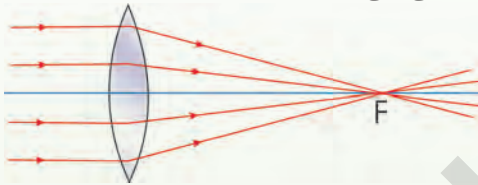
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

رابطه فوق به نام معادله ساختن عدسیه یاد می‌شود، زیرا از این معادله برای یافتن قیمت‌های  $R_2, R_1$  استفاده کرده می‌توانیم، درحالی که ضریب انکسار و فاصله محراقی  $f$  معلوم باشد.

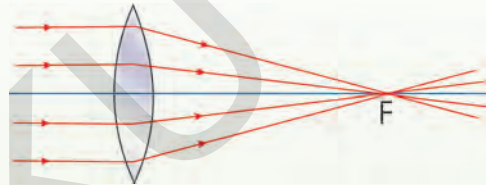
### 8-5: قدرت عدسیه‌ها

در اشکال ذیل (21-5 الف و ب) دو عدسیهٔ محدب الطرفین که دارای فاصله‌های محراقی مختلف می‌باشد نشان داده شده است. دستهٔ شعاع نوری موازی با محورهای اصلی دو عدسیه بالای عدسیه‌ها وارد گردیده است و عدسیه‌ها این دسته‌های شعاع نوری را با هم نزدیک می‌نمایند. بگویید که قدرت کدام یک از این دو عدسیه در نزدیک ساختن شعاع نوری بیشتر است؟

چنانچه از اشکال دیده می‌شود، عدسیه‌یی که دارای فاصلهٔ محراقی کوچک‌تر است، در مقابله ساختن (نزدیک کردن) شعاع نوری قدرت بزرگ‌تر را دارد. یعنی که قدرت عدسیه در مقابله ساختن معکوساً متناسب به فاصلهٔ محراقی می‌باشد.



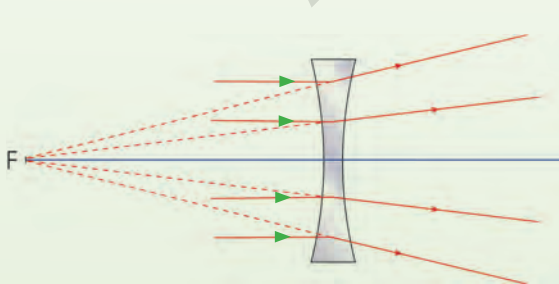
الف) عدسیه که دارای فاصلهٔ محراقی بزرگ‌تر است دارای قدرت کوچک‌تر نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.



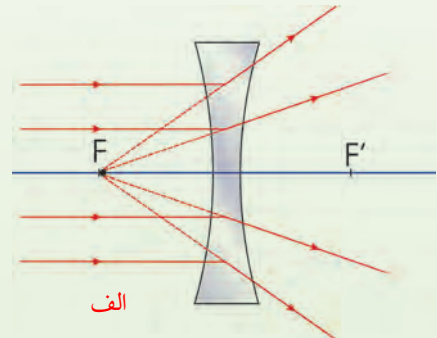
ب) عدسیه با داشتن فاصلهٔ محراقی کوچک‌تر دارای قدرت بزرگ در نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.

شکل (21-5)

همچنان در اشکال (22-5 الف و ب) دو عدسیهٔ مقعر با فاصله‌های محراقی مختلف نشان داده شده اند. یک دسته اشعهٔ نوری موازی با محورهای اصلی عدسیه‌ها بالای عدسیه‌ها وارد گردیده اند که عدسیه‌ها این شعاع نوری را از یک‌دیگر دور (متباعد) می‌نمایند. در این جا نیز دیده می‌شود که قدرت عدسیه با فاصلهٔ محراقی عدسیه رابطهٔ معکوس



الف) عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی کوچک‌تر است در دور کردن شعاع نوری قدرت بزرگ‌تر را دارد.



ب) عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی بزرگ‌تر است در دور کردن شعاع نوری قدرت کوچک‌تر را دارد.

شکل (22-5)

دارد.

معکوس فاصله محراقی یعنی  $(\frac{1}{f})$  را قدرت عدسیه می گویند و آن را توسط  $D$  نشان می دهند یعنی:

$$D = \frac{1}{f}$$

هر گاه فاصله محراقی به متر اندازه شود، پس واحد قدرت عدسیه معکوس متر  $(\frac{1}{m})$  می باشد، که به نام دیوپتر یاد می شود و آن را توسط  $d$  نشان می دهند. گفتنی است که قدرت عدسیه های محدب مثبت و قدرت عدسیه های مقعر منفی می باشد.

### 9-5: ترکیب عدسیه های باریک

برای تشکیل یک تصویر از دو عدسیه استفاده می نماییم که آن را طور ذیل توضیح می کنیم:

نخست تصویر عدسیه اول طوری محاسبه می گردد که گویا عدسیه دوم موجود نباشد. (نور برای عدسیه دومی طوری می رسد که گویا از تصویر تشکیل شده آمده است) بنابر این تصویر تشکیل شده توسط عدسیه اولی برای عدسیه دومی مانند شیء عمل می کند. تصویری که توسط عدسیه دومی تشکیل می شود عبارت از تصویر نهایی سیستم می باشد. بزرگ نمایی مجموعی سیستم عدسیه ها مساوی به حاصل ضرب بزرگ نمایی هر کدام از عدسیه ها است. اگر تصویر تشکیل شده توسط عدسیه اولی در عقب عدسیه دومی قرار داشته باشد، این تصویر برای عدسیه دومی حیثیت شیء مجازی را دارد، (یعنی در این حالت  $p$  منفی است). به عین ترتیب یک سیستم سه یا بیشتر عدسیه ها را تشکیل داده می توانیم.

### فعالیت

هدف: محاسبه فاصله محراقی یک عدسیه.

مواد مورد ضرورت:

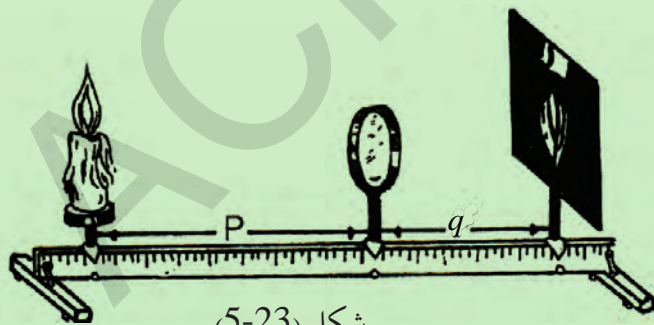
شمع، گوگرد، پرده، پایه های لغزنده بالای یک خط کش و خط کش.



### طرز العمل:

شمع، پرده و عدسیه را مطابق شکل ذیل (23-5) بالای خط کشیکه روی میز اپتیکی قرار دارد طور عمودی بگذارید. شمع را روشن نمایید و پرده را تا زمانی تغییر مکان دهید که بالای پرده تصویر واضح تشکیل گردد. در این حالت دیده می شود که تصویر نیز بالای محور اصلی عمود می باشد. حال فاصله شمع (شی) و پرده (تصویر) را از خط کش بخوانید و در فورمول  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  آنرا وضع نمایید.

اگر  $p$  فاصله شمع از عدسیه و  $q$  فاصله پرده از عدسیه باشد، پس از رابطه فوق با آسانی می توانیم  $f$  یعنی فاصله محراقی عدسیه را محاسبه نماییم.



### 5-10: تطبیقات:

1. یک شیء را در مقابل عدسیه محدبی که دارای فاصله محراقی  $8\text{ cm}$  است یک مرتبه به فاصله  $12\text{ cm}$  و مرتبه دیگر به فاصله  $4\text{ cm}$  قرار دهید. در هر حالت موقعیت تصویر و چگونگی آنرا در یافت نمایید. برای هر دو حالت شکل آنرا ترسیم نمایید.



برای مرتبه اول:  $P = 12\text{cm}$  ,  $q = ?$  ,  $f = 8\text{cm}$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{12} + \frac{1}{q} = \frac{1}{8}, \quad \frac{1}{q} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12} = \frac{3-2}{24} \Rightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{24}$$

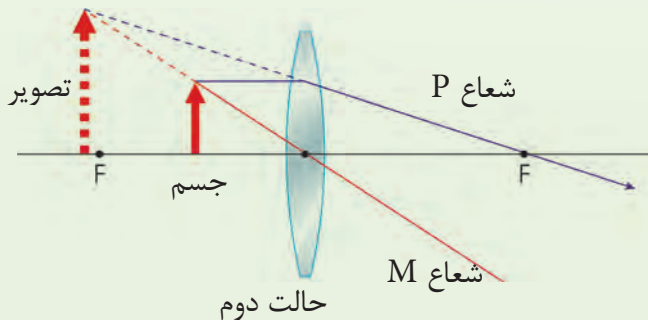
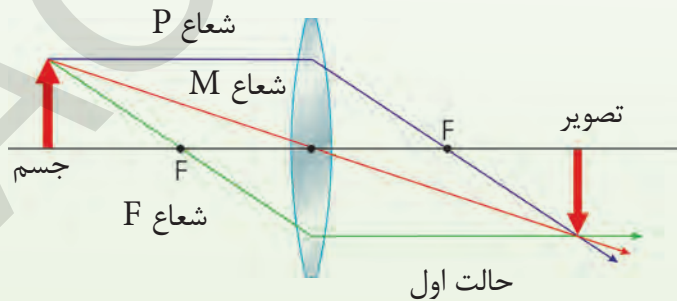
پس فاصله تصویر از عدسیه  $q = 24\text{cm}$  و چون  $q$  مثبت است بنابراین تصویر حقیقی می باشد.

برای حالت دوم:

$P = 4\text{cm}$  ,  $f = 8\text{cm}$  ,  $q = ?$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{q} = \frac{1}{8}, \quad \frac{1}{q} = \frac{1}{8} - \frac{1}{4} = \frac{1-2}{8} = -\frac{1}{8}$$

فاصله تصویر از عدسیه:  $q = -8\text{cm}$ ، چون در این حالت  $q$  منفی است بنابراین تصویر مجازی می باشد.



شکل (24-5)

2. اگر یک شیء در مقابل عدسیه مقعری که دارای فاصله محراقی  $6\text{ cm}$  است به فاصله  $18\text{ cm}$  قرار داشته باشد، فاصله تصویر از عدسیه را دریافت نمایید.

**حل:** چون عدسیه، مقعر است پس فاصله محراقی آن منفی می‌باشد.

$$P = 18\text{ cm} , f = 6\text{ cm} , q = ?$$

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} , \quad \frac{1}{18} + \frac{1}{q} = -\frac{1}{6} , \quad \frac{1}{q} = -\frac{1}{6} - \frac{1}{18} = \frac{-3-1}{18}$$

فاصله تصویر از عدسیه:  $4.5\text{ cm}$  ،  $\frac{1}{q} = -\frac{4}{18} \Rightarrow q = -\frac{18}{4} = -4.5\text{ cm}$  ، علامه منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

3. اگر شیء مجازی با طول  $10\text{ cm}$  از عدسیه مقعری که دارای فاصله محراقی  $8\text{ cm}$  است. به فاصله  $20\text{ cm}$  واقع باشد، چگونگی تصویر را مشخص نمایید.

**حل:** چون شیء مجازی و عدسیه مقعر است، پس فاصله شیء و فاصله محراقی هر دو منفی در نظر گرفته می‌شوند. یعنی:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} , \quad -\frac{1}{20} + \frac{1}{q} = -\frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{30} + \frac{1}{20} = \frac{-2+3}{60} = \frac{1}{60} , \quad q = 60\text{ cm}$$

چون  $q$  مثبت است پس تصویر حقیقی می‌باشد و از عدسیه به فاصله  $60\text{ cm}$  قرار دارد،  
همچنان

$$\gamma = \frac{l}{O} = \frac{q}{p} = \frac{60}{20} = 3$$

چون  $\frac{l}{O} = 3$  است، پس  $I = 30\text{ cm}$  می‌شود.

4- اگر آروز داشته باشیم با استفاده از یک عدسیه محدب، ازشی‌یی که دارای طول  $0.5\text{ cm}$  باشد، تصویر مجازی به طول  $2\text{ cm}$  تشکیل بدهیم در صورتی که فاصله شی از عدسیه  $6\text{ cm}$  باشد، فاصله تصویر را از عدسیه و فاصله محراقی عدسیه را محاسبه نمایید.

**حل:**  $P = 6\text{ cm}$  ,  $AB = 0.5\text{ cm}$  ,  $A'B' = 2\text{ cm}$  ,  $q = ?$  ,  $f = ?$

$$\frac{A'B'}{AB} = \left| \frac{q}{p} \right| , \quad \frac{2}{0.5} = \left| \frac{q}{6} \right| , \quad 0.5q = 12 \quad q = \frac{12}{0.5} = 24\text{ cm}$$

فاصله تصویر از عدسیه:  $24\text{ cm}$

چون تصویر مجازی است، پس  $q$  قیمت منفی دارد، پس برای دریافت فاصله محراقی:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} , \quad \frac{1}{6} - \frac{1}{24} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{4-1}{24} = \frac{1}{f} , \quad \frac{3}{24} = \frac{1}{f} , \quad 3f = 24 , \quad f = \frac{24}{3}$$

پس فاصله محراقی عدسیه  $f = 8\text{ cm}$

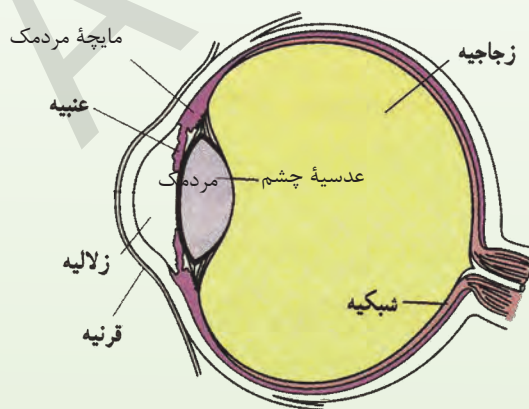
## چشم انسان

جسم را که می‌نگریم، چشم از آن در قسمت عقبی خود تصویر تشکیل می‌دهد. یعنی چشم مانند یک عدسیه محدب الطرفین عمل می‌کند که بالای شبکه، تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد. شبکه عبارت از یک صفحه حساس در مقابل نور است. چشم تقریباً شکل کروی دارد که توسط یک پرده نسبتاً سخت محافظه می‌گردد. این پرده به نام صلبیه یاد می‌شود. قسمت پیشروی صلبیه شفاف است و به نام قرنیه یاد می‌شود. شکل (25-4). زمانی که نور داخل چشم می‌گردد، انکسار اول نیز در همین جا صورت می‌گیرد. ضریب انکسار قرنیه  $1.376$  می‌باشد. در عقب قرنیه مایع شفاف و جود دارد که به نام زلالیه یاد می‌شود و ضریب انکسار آن  $1.336$  است. چون بین ضرایب انکسار زلالیه و قرنیه تفاوت بزرگی وجود ندارد،



بنابراین در سر حد مشترک زلالیه و قرنیه چندان انکساری واقع نمی‌شود. مردمک چشم عبارت از یک کلکینچه‌یی است که بر اثر تغییر قطر آن، نور عبوری کنترل می‌گردد. در این عمل قطر مردمک چشم از 2 الی 8 ملی متر تغییر می‌نماید. در عقب مردمک، عدسیه چشم واقع است. عدسیه چشم دارای ساختمان شفاف محدب الطرفین می‌باشد. ضریب انکسار عدسیه تقریباً 1.437 است. بنابراین بعد از انکسار نور در قرنیه، عدسیه چشم تصویر حقیقی، معکوس و کوچک بالای شبکه تشکیل می‌دهد. عدسیه چشم توسط یک نوع عضلات مخصوص محافظت می‌گردد. همین عضلات ضخامت عضلات را تغییر می‌دهند. زمانی که این عضلات در حالت استراحت باشند، عدسیه دارای بیشترین فاصله محراقی می‌باشد، و تصویر اشیای دور دست را بالای شبکه تشکیل می‌دهد، مگر برای دیدن اشیای نزدیک، این عضلات منقبض می‌شوند و ضخامت عدسیه را بیشتر می‌سازند و در نتیجه فاصله محراقی عدسیه کاهش می‌یابد و تصویر بالای شبکه تشکیل می‌شود. تغییر فاصله محراقی به خاطر تشکیل تصویر اجسام دور یا نزدیک بالای شبکه را تطابق چشم می‌گویند.

کدام چشم‌ها سالم اند؟

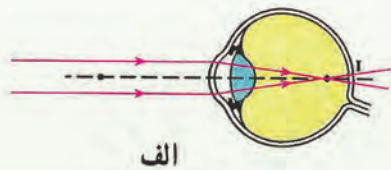


شکل (25-5) تصویر چشم

## فاصله دور و نزدیک دید

چشمان سالم می‌توانند از فاصله 25 سانتی متر الی لایتناهی عمل تطابق را انجام دهند. در جوانان این فاصله از 25 سانتی متر کمتر است که با تزاید سن بزرگ‌تر می‌شود، به صورت عموم قدرت تطابق چشمان با تزاید سن محدود و محدودتر می‌گردد.

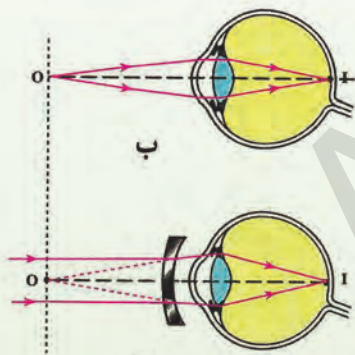
کوچک‌ترین فاصله دید عبارت از همان فاصله کوتاهی است که در آن جا جسمی واقع باشد و چشمان بتوانند آن را به صورت واضح ببینند بدون این که بالای آن‌ها کدام فشاری وارد گردد. دور ترین فاصله دید عبارت از همان فاصله‌یی است که هر گاه در آن جا جسمی واقع باشد چشمان بتوانند آن را بدون تطابق چشم به صورت واضح ببینند.



الف

### عیوب چشم

**چشم نزدیک بین:** چشم نزدیک بین تنها اشیای نزدیک را به صورت واضح می‌بیند. تصویر اشیای دور در پیشروی شبکه آن تشکیل می‌گردد، شکل (5-25 الف). برای اصلاح این چشم از عدسیه مقعر به حیث عینک استفاده می‌گردد. عدسیه مقعر سبب می‌شود که تصویر بالای شبکه تشکیل گردد مانند شکل (5-25 ب). این نوع عیوب معمولاً در جوانان دیده می‌شود.



ب

پ

شکل (5-26)

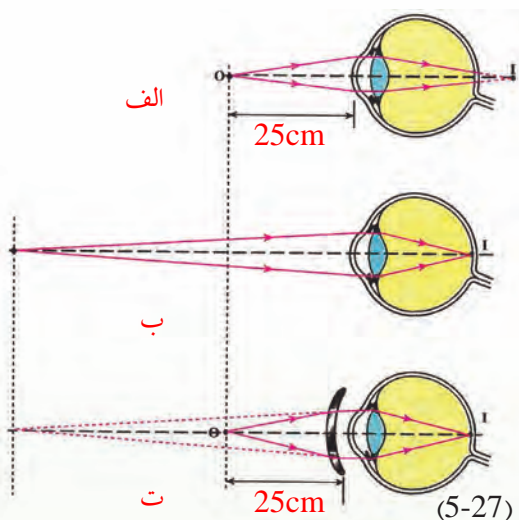
برتری که چشمان نزدیک بین دارد این است که اجسام نزدیک را به وجه احسن می‌بینند و عدسیه چشم همیشه به شکل محدب می‌باشد.

الف: تشکیل تصویر در پیشروی شبکه.

ب: تشکیل تصویر بالای شبکه.

### چشم دور بین:

چشم دور بین می‌تواند تنها اجسام دور را به صورت واضح ببیند. تصویر اشیای نزدیک در عقب شبکه این نوع چشم تشکیل می‌شود شکل (5-26 الف). عدسیه این نوع چشم‌ها



شکل (5-27)

الف: تشکیل تصویر در عقب عدسیه.

ب: تشکیل تصویر بالای شبکیه.

همیشه در حالت کش شده می باشد که این خود یک فشار بالای چشم می باشد. چشمان بزرگسالان اکثراً این نوع عیب را داشته می باشند. برای از بین بردن این نوع عیب، از عدسیه محدب استفاده می نمایند، تا این که اشعه را در پیشروی جمع و تصویر را بالای شبکه تشکیل دهد شکل (5-27 ب).

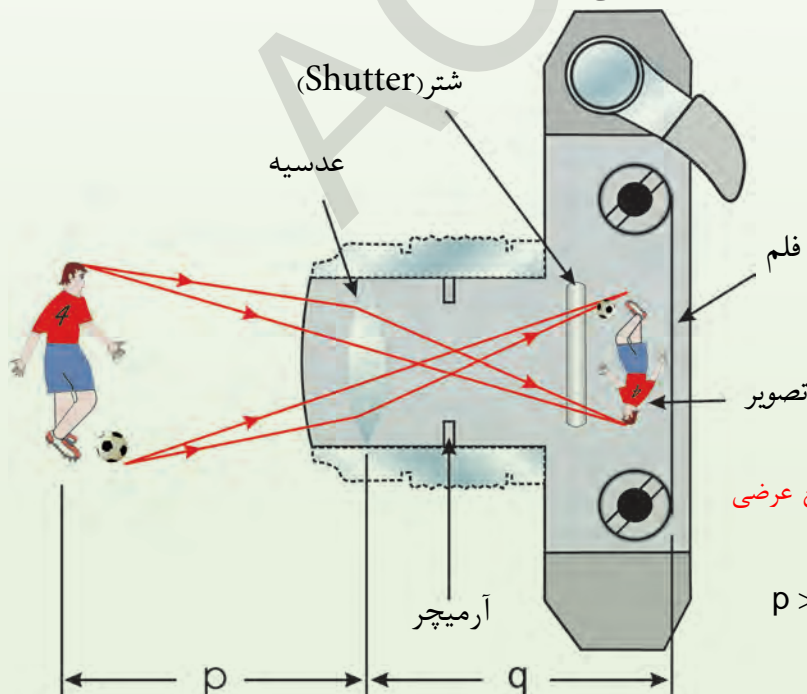
### سوال:

از عدسیه ها در کدام آلات اپتیکی استفاده می شود؟

**جواب:** از عدسیه ها در خیلی وسایل اپتیکی استفاده می شود مانند کمره، پروجکتور، تلسکوپ و میکروسکوپ. که هر کدام آن طور ذیل توضیح می گردد.

### کمره:

کمره عکاسی یک آله ساده اپتیکی است که تصویر آن در شکل ذیل نشان داده شده است شکل (5-27).



شکل (5-28) نمایش مقطع عرضی

یک کمره ساده.

یاد آوری می شود که:  $p \gg q$

کمره متشکل از یک حجره بسته، عدسیه محدبی که تصویر حقیقی را تشکیل می‌دهد و فلمی در عقب عدسیه، غرض گرفتن تصویر می‌باشد. شخص کمره را با تغییر دادن فاصله بین عدسیه و فلم تنظیم می‌نماید. تنظیم کردن مناسب کمره که برای تولید تصویرهای واضح ضروری است تا بع فاصله عدسیه الی فلم، فاصله شی و فاصله محراقی عدسیه می‌باشد. دریچه‌یی که در عقب عدسیه واقع می‌باشد، آله میخانیکی است که برای انتخاب وقفه زمانی باز می‌گردد. و به نام exposures time (در معرض زمان قراردادن) یاد می‌گردد. یک شخص می‌تواند از جسم‌های متحرک به وقفه‌های کوچک زمانی و یا مناظر سایه و کم نور با استفاده از این دریچه عکاسی نماید.

سرعت‌های معمولی دریچه،  $(\frac{1}{30})s$ ,  $(\frac{1}{60})s$ ,  $(\frac{1}{125})s$  و  $(\frac{1}{250})s$  می‌باشد.

### فعالت

عدسیه محدبی را که دارای فاصله محراقی کوچک باشد، گرفته و یک شی خیلی کوچک را تحت عدسیه طوری قرار دهید که بین عدسیه و محراق واقع گردد. در این حالت شما چگونه تصویر را مشاهده خواهید کرد؟ مشاهدات خویش را با همدیگر شریک نمائید. واضح است که شما یک تصویر مجازی، مستقیم و بزرگ‌تر از اصل شی را مشاهده خواهید کرد. بنابر این چنین عدسیه را ذره بین می‌گویند.

### سوال:

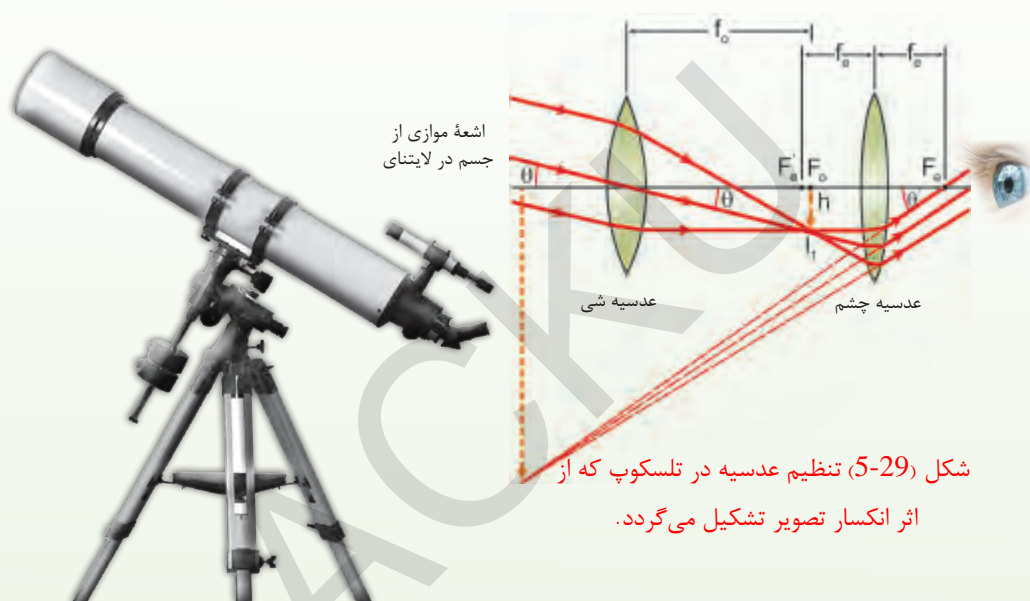
اشیای بسیار دور مثلا ستاره‌ها در آسمان را چگونه می‌توانیم مشاهده نماییم؟

### جواب:

اشیای بسیار دور توسط تلسکوپ مشاهده می‌شود. این که تلسکوپ چیست و چگونه تصویر در آن تشکیل می‌شود طور ذیل مطالعه می‌گردد:



**تلسکوپ:** اساساً تلسکوپ‌ها به دو نوع اند. هر دو نوع آن برای مشاهده اشیا دور مانند ستاره‌های نظام شمسی به کار برده می‌شوند. در یک نوع آن از عدسیه‌ها استفاده می‌شود و به اساس انکسار فعالیت می‌نمایند، در نوع دیگر آن آینه‌های کروی به کار برده می‌شوند و به اساس انعکاس کار می‌کنند. تلسکوپی که از عدسیه‌ها ساخته شده است در شکل (5-28) نشان داده شده است که به وسیله انکسار تصویر را تشکیل می‌دهد.



این تلسکوپ دو عدسیه دارد. عدسیه‌یی که به طرف شی واقع است به نام عدسیه شی (ابجکتیف) و عدسیه‌یی که به طرف چشم واقع است به نام عدسیه چشم یاد می‌شود. این دو عدسیه طوری تنظیم می‌گردد که عدسیه شی از یک شی دور، تصویر حقیقی و معکوس را در نزدیک محراق عدسیه چشم تشکیل بدهد. چون شی اصلاً در لایتنه‌های قرار دارد، بنابر این نقطه‌یی که در آن تصویر  $I_1$  تشکیل می‌شود، عبارت از محراق عدسیه شی می‌باشد. بعداً عدسیه چشم از تصویر  $I_1$  تصویر دیگر بزرگ و معکوس را تشکیل می‌دهد که از فاصله محراقی عدسیه چشم مشاهده می‌شود.

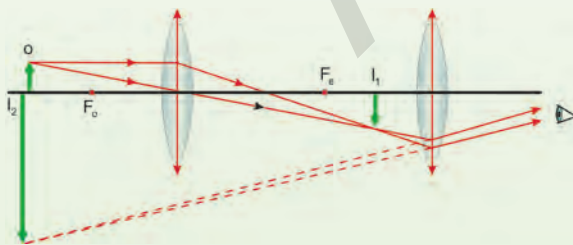


## پرسش‌ها:

- در کلنیک‌ها ی تشخیصیه، ملاریا توسط کدام آله تشخیص می‌شود؟
- آمیب را چگونه دیده می‌توانید؟
- میکروپ چیست؟

## 5-11: میکروسکوپ

ذره بین ساده می‌تواند اشیای کوچک را تا اندازه‌ی بزرگ نماید. مگر بزرگ ساختن اشیایی که توسط چشم قابل دید نباشد توسط آله ای صورت می‌گیرد که از دو عدسیه تشکیل گردیده و به نام میکروسکوپ یاد می‌شود. میکروسکوپ ترکیبی از دو عدسیه است: عدسیه‌ی که به شی نزدیک است به نام ابجکتیف یاد می‌شود و فاصله محراقی آن از  $1\text{ cm}$  کوچک‌تر می‌باشد. عدسیه دیگری که به چشم نزدیک می‌باشد، به نام عدسیه چشم یاد شده و دارای فاصله محراقی چندین سانتی متر می‌باشد. چنان‌چه در شکل (5-29) نشان داده شده است، شی در نزدیک محراق عدسیه ابجکتیف گذاشته می‌شود، که تصویر حقیقی بزرگ و معکوس را در داخل فاصله محراقی عدسیه چشم تشکیل می‌دهد. عدسیه چشم که به حیث یک ذره بین ساده عمل می‌نماید، این تصویر بزرگ برای آن حیثیت شی را داشته و از آن یک تصویر خیلی بزرگ مجازی را تشکیل می‌دهد. تصویر در میکروسکوپ نسبت به شی اصلی در جهت معکوس دیده می‌شود، چنان‌چه در شکل (5-29) نشان داده شده است.



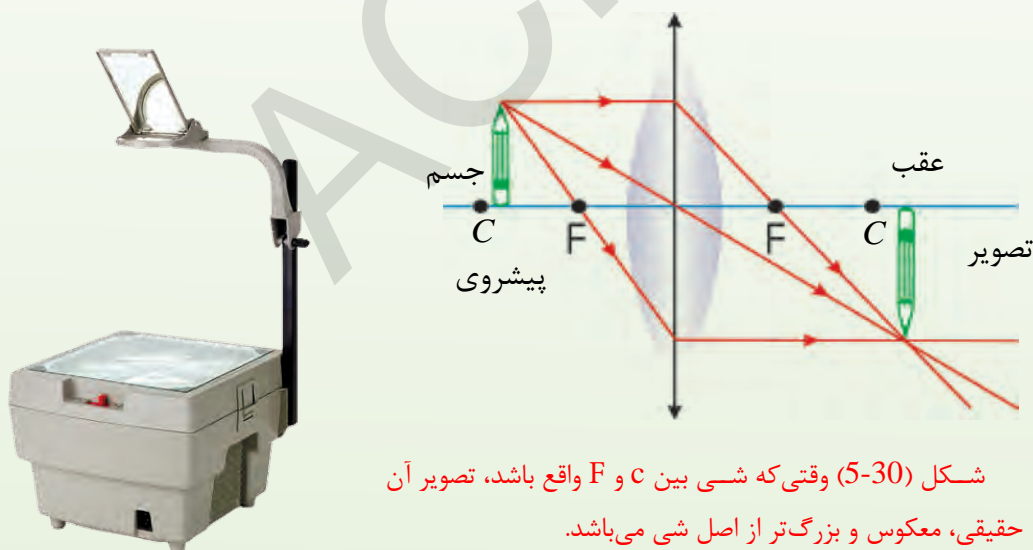
شکل (5-30): در یک میکروسکوپ،  
تصویر حقیقی و معکوس توسط ابجکتیف  
تشکیل می‌شود که برای عدسیه چشم  
حیثیت شی را دارد.

میکروسکوپ نظر ما را در مورد آن اشیای کوچک غیر قابل قبول و سعت داد که قبلاً شناخته نشده بود. یک پرسش که اکثراً در مورد میکروسکوپ طرح می‌گردد این است که آیا ساختن چنین یک میکروسکوپ ممکن خواهد بود که بتوانیم توسط آن یک اتم را مشاهده نماییم؟ چون برای روشن کردن اشیا از نور قابل دید استفاده می‌شود، پس جواب سوال نخیر است زیرا

برای این که یک شی تحت میکروسکوپ مشاهده شود باید اقلأً به اندازه طول موج نوری بزرگ باشد. یک اتم به نسبت طول موج نور قابل دید چند مرتبه کوچکتر است، پس برای مشاهده آن باید توسط طریقه‌های دیگر آزمایش گردد.

## پروجکتور

هر گاه شی در فاصله بین  $c$  و  $f$  یک عدسیه محدب واقع باشد چنانچه در شکل (5-30) نشان داده شده است، تصویر آن حقیقی، معکوس و بزرگتر از اصل شی می‌باشد. این سیستم اپتیکی که در پروجکتور سلایدی یا فلمی که در یک پارچه کوچک فلم از شی یک تصویر بزرگ را بالای پرده تشکیل می‌دهد به کار برده می‌شود. برای حاصل کردن یک تصویر که به طرف بالا عمود باشد، باید فلم در پروجکتور به طرف پایین طور عمود گذاشته شود. این ساختمان اساس پروجکتورها را تشکیل می‌دهد. بنابراین پروجکتور عبارت از آله‌یی است که از فلم، شی یا سلاید، تصویر بزرگ بالای پرده تشکیل می‌دهد.



شکل (5-30) وقتی که شی بین  $F$  و  $C$  واقع باشد، تصویر آن حقیقی، معکوس و بزرگتر از اصل شی می‌باشد.  
این ساختمان اساس پروجکتورها را تشکیل می‌دهد.

## خلاصه فصل

- قسمتی از یک محیط شفاف مانند شیشه که توسط دو سطح محدود شده باشد و کم از کم یک سطح آن انحنای داشته باشد به نام عدسیه یاد می‌شود.
- عدسیه باریک: عدسیه‌یی را گویند که ضخامت آن از انحنای عدسیه و یا از فاصله شی نسبت به عدسیه خیلی کوچک باشد.
- در عدسیه‌های محدب شعاع وارده بعد از عبور از عدسیه با هم متقارب می‌شوند، کناره‌های عدسیه‌های محدب نسبت به قسمت وسطی آن‌ها نازک تر بوده و هر دو طرف آن‌ها محدب می‌باشد.
- در عدسیه‌های مقعر نور بعد از عبور از آن‌ها از هم دیگر متباعد (دور) می‌گردند. کناره‌های این عدسیه‌ها نسبت به قسمت وسطی آن‌ها ضخیم تر و هر دو طرف آن‌ها مقعر می‌باشد.
- خطی که در یک عدسیه از مراکز دو سطح کروی (منحنی) گذشته و بر مستوی عمود باشد به نام محور اصلی یاد می‌شود.
- نقطه‌ای که در وسط محور اصلی عدسیه موقعیت دارد به نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. فورمول عدسیه‌های باریک عبارت از:  $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^-} = \frac{1}{f}$



در این جا  $p$ ، عبارت از فاصله شی از عدسیه،  $P^-$  فاصله تصویر از عدسیه و  $f$  فاصله محراقی عدسیه می‌باشد.

### نکات ذیل را باید در نظر گرفت:

- 1 - هر گاه عدسیه محدب باشد، فاصله محراقی مثبت است.
- 2 - در صورتی که عدسیه مقعر باشد فاصله محراقی منفی است.
- 3 -  $p$  و  $p'$  در حالت مجازی منفی است، پس در این صورت فورمول عدسیه‌های نازک شکل ذیل را دارد.

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

معکوس فاصله محراقی ( $\frac{1}{f}$ ) را قدرت یا تقارب عدسیه می‌گویند و آن را به  $D$  نشان می‌دهند. یعنی  $D = \frac{1}{f}$  که واحد آن  $\frac{1}{m}$  است که به نام دیوپتر یاد می‌شود.

• فورمول نیوتن عبارت از:  $f^2 = XX^-$

در این جا  $f$ ، فاصله محراقی عدسیه،  $X$  فاصله شی از محراق عدسیه و  $X^-$  فاصله تصویر از محراق عدسیه می‌باشد.

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

از این معادله برای دریافت قیمت‌های  $R_1$  و  $R_2$  زمانی استفاده کرده می‌توانیم که ضریب انکسار ( $n$ ) و فاصله محراقی عدسیه ( $f$ ) معلوم باشد.

بزرگ‌نمایی عدسیه از رابطه ذیل به دست می‌آید:  $\gamma = \frac{I}{P} = \frac{P'}{P}$   
در این جا:  $I$ ، طول تصویر و  $O$  طول شی می‌باشد.

## سوالات فصل

1. شعاع آفتاب را کدام نوع عدسیه جمع (فوکس) کرده می‌تواند.
2. زمانی که یک شی در محراق عدسیه محدب واقع باشد چرا تصویر آن تشکیل نمی‌گردد؟
3. تصویر تشکیل شده توسط یک عدسیه محدب باریک را در نظر بگیرید. تحت کدام شرایط تصویر:  
a. معکوس، b. به طرف بالا، c. حقیقی، d. مجازی، e. بزرگ‌تر از اصل شی و f کوچک‌تر از اصل شی خواهد بود.
4. سوال فوق را برای یک عدسیه مقعر نازک در نظر گرفته جواب بدهید.
5. اگر یک عدسیه محدب شیشه‌یی در آب گذاشته شود، فاصله محراقی عدسیه نسبت به حالتیکه عدسیه در هوا باشد طویل خواهد شد یا کوتاه؟ چرا؟
6. اگر یک میکروسکوپ از دو عدسیه محدب ساخته شده باشد، چرا تصویر معکوس تشکیل می‌گردد؟
7. در مقابل عدسیه مقعری که دارای فاصله محراقی 20cm باشد، شی گذاشته شده است. برای هر فاصله ذیل شی، فاصله تصویر را دریافت نمایید و بزرگ‌نمایی تصویر را توضیح نمائید.

a. برای 40cm ، b. برای 200cm و c. برای 10.0cm



8. شخصی با استفاده از عدسیه محدب، بازی را در مسابقه تماشا می‌کند. فاصله محراقی عدسیه 12.5cm است. عدسیه یک تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد که از عدسیه به فاصله 30.0cm قرار دارد. بزرگ‌نمایی عدسیه را دریافت نمایید. آیا تصویر سر راسته است و یا سرچپه؟

9. یک شی در مقابل عدسیه محدبی که دارای فاصله محراقی 20.0cm می‌باشد، گذاشته شده است. برای هر فاصله ذیل شی، فاصله تصویر و بزرگ‌نمایی را دریافت نمایید. هر تصویر را توضیح نمایید.

a. برای 40.0cm ، b. برای 10.0cm

10. هرگاه جسم بین  $2f$  و  $f$  یک عدسیه محدب واقع باشد، چگونه تصویر تشکیل خواهد شد؟

a. حقیقی، معکوس و بزرگ،

b. مجازی، به‌طرف بالا و بزرگ،

c. حقیقی، معکوس و کوچک.

d. مجازی، به‌طرف بالا و کوچک

11. برای دیدن یک تصویر بزرگ شده توسط یک عدسیه کدام یک از شرایط ذیل ضروری

است؟

a. شی و تصویر باید از عدسیه به عین فاصله واقع باشند.

b. عدسیه باید محدب باشد.

c. بیننده باید به فاصله محراقی عدسیه موقعیت داشته باشد.

d. شی باید خارج فاصله محراقی عدسیه واقع باشد.

12. در میکروسکوپ‌ها کم از کم دو عدسیه محدب به کار برده می‌شود. یکی برای شی و

دومی برای چشم، این عدسیه‌ها باید به کدام فاصله از هم قرار بگیرند که تصویر در آن‌ها مجازی

و بسیار بزرگ باشد. از نظر محراق‌ها این دو عدسیه باید در کدام موقعیت‌ها قرار بگیرند؟



## برق ساکن

زمانی که آفتاب غروب نماید، گروپ‌های شهر کابل روشن می‌شوند. به شهر کابل برق جاری می‌شود که این برق یا از بندهای آبی و یا از جنراتورهایی که در آن از مواد سوخت استفاده می‌شود حاصل می‌گردد. نه تنها گروپ‌های شهر بلکه در جریان روز نیز اکثر ضروریات روزانه ما وابسته به برق می‌باشد. این ضروریات از رادیو و تلویزیون تا ترانسپورت و صنعت، سهولت‌های بی شماری اند که تمام ایشان به برق وابسته اند.

در بین اجسام اساس تعداد زیاد قوه‌ها برق است و می‌توانیم توسط این قوه‌ها ساختمان اشیا و اکثر حادثه‌هایی را که در طبیعت بوقوع می‌پیوندند، مانند (صاعقه) در وقت بارندگی باران، الماسک در آسمان، هم‌چنان کار برد آن در صنعت که به پیمانه وسیع صورت می‌گیرد، بیان نمائیم. این که برق چیست؟ تاثیر برق بالای مواد دیگر چه است؟ برای این سوال‌ها و پرسش‌های دیگری مشابه آن در جریان این فصل جواب داده خواهد شد. در این فصل سعی خواهیم کرد که بالای خواص اساسی چارج برق به‌حث نمائیم. و هم‌چنان خواهیم توانست که قوه‌های برقی را محاسبه نمائیم. توضیح و تشریح خطوط ساحة برقی نیز یکی از مباحث دیگر این فصل است.

در اخیر این فصل شاگردان خواهند توانست به پرسش‌های ذیل جواب ارایه نمایند:

1. خواص اساسی چارج‌های برقی چیست؟ و چه‌گونه تغییر مکان می‌نماید؟
2. با استفاده از قانون کولمب قوه‌های برقی بین چارج‌های برقی چه‌گونه محاسبه می‌گردد؟
3. شدت ساحة برقی و خطوط شدت ساحة برقی چگونه بیان می‌شود؟
4. اجسام‌هادی و عایق از همدیگر چه تفاوت دارند؟

ولی قبل از همه برق ساکن را طور ذیل تعریف می‌نمایند:

زمانی که دو جسم بایک‌دیگر مالش داده شود، بالای هر دو جسم چارج‌ها جمع می‌شوند که این حادثه به‌نام برق ساکن یاد می‌شود.



## 1-6: چارجهای برقی

آیا گاهی بعد از قدم زدن بالای یک فرش در وقت تماس با چیزی دیگر تکان را احساس کرده اید؟ وهم‌چنان دیده اید در هوای خشک بعد از شانه کردن توسط یک شانه پلاستیکی موهای شما به طرف شانه جذب می‌گردد؟

عامل حادثات فوق و حادثات مشابه دیگر آن چه بوده می‌تواند؟

از صنف هفتم در مورد اکثر حادثات مشابه، از قبل شما می‌دانید. زمانی که، بعد از قدم زدن بالای فرش اگر در تماس باشیم تکان احساس می‌کنیم و یا توسط شانه پلاستیکی موهای ما جذب می‌گردد، این حادثه را چارج شدن برقی گویند. باید گفته شود که این حادثه در هوای خشک خوب صورت می‌گیرد زیرا اگر هوا زیاد مرطوب باشد در این حالت از جسم چارج شده زمینه خروج چارج‌ها مساعد می‌گردد. حال به این پرسش جواب می‌گوییم که این اجسام چگونه چارج می‌شوند یا به عبارت دیگر عملیه چارج شدن چگونه صورت می‌گیرد؟

برای دریافت جواب به این پرسش باید در مورد ساختمان اتم یک اندازه معلومات داشته باشیم. تمام اشیای اطراف ما از اتم‌ها ساخته شده‌اند. هر اتم از ذرات کوچک تشکیل گردیده که عبارت از پروتون، نیوترون و الکترون می‌باشد. پروتون‌ها که دارای چارج مثبت‌اند وهم‌چنان نیوترون‌ها که از نظر چارج خنثی می‌باشند، در مرکز اتم قرار دارند که به‌نام هسته اتم یاد می‌شود. الکترون‌ها که دارای چارج منفی می‌باشند، در حال حرکت می‌باشد. (بنجامین فرنکلین) (Benjamin Franklin)، که در 1706-1790 زندگی می‌کرد. بالای چارج‌ها نام‌های مثبت و منفی را گذاشته است و این نام‌ها محض قرار دادی هستند.

در مورد اتم‌ها ممکن است شما در سال‌های آینده به‌صورت مفصل بحث خواهید کرد. پروتون‌ها و نیوترون‌ها در هسته اتم در موقعیت‌های خود نسبتاً ثابت‌اند، مگر الکترون‌ها می‌توانند. از یک اتم به اتم دیگر نقل مکان نمایند.

تا زمانی که الکترون‌ها در یک اتم توسط پروتون‌های مساوی در حال توازن قرار گرفته باشد، پس اتم به‌صورت کل خنثی و چارج محصله آن صفر است. مگر زمانی که الکترون‌ها از یک اتم خنثی به اتم دیگر نقل مکان نمایند، پس اتم اولی چارج منفی را از دست می‌دهد و دارای چارج مثبت می‌شود و اتم دومی که الکترون‌ها به آن انتقال کرده است دارای چارج منفی می‌گردند. اتم‌های که دارای چارج مثبت یا منفی باشند به‌نام آیون، یاد می‌شوند.

حال هر دو، موهای شما و شانه دارای تعداد زیاد اتم‌های خنثی می‌باشد. مگر این یک خواست طبیعی چارج‌ها است که بین مواد مختلف تغییر مکان نمایند. هر گاه دو جسم را بایک‌دیگر مالش بدهیم (طور



مثال شانه و موها) در بین آن‌ها سطح تماس (مالش) زیاد گردیده و زمینه تغییر مکان چارج مساعد می‌شود. زمانی که شانه با موهای شما مالش داده می‌شود الکترون‌های موهای شما به شانه تغییر مکان می‌نماید و به این ترتیب شانه منفی و موها مثبت چارج می‌شود. در این تجربه و تجارب دیگر مشابه به این تنها مقدار اندک چارج‌ها از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌نمایند. در این جا باید دقت شود که همان اندازه چارج منفی که به شانه تغییر مکان می‌نماید، به عین اندازه چارج‌های منفی از موها کاسته می‌شود (یا به عبارت دیگر چارج مثبت آن به همان اندازه زیاد می‌شود). پس از این جا به این نتیجه میرسیم که چارج برقی خلق نشده بلکه تنها به اندازه مساوی از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌یابد که این موضوع را قانون تحفظ چارج گویند.

### 1-1-6: چارج کردن اجسام

قبل از این که در مورد چارج کردن اجسام سخن گفته شود بهتر خواهد بود در باره همان خصوصیات اجسام که در چارج کردن اهمیت دارد، تا اندازه‌یی به‌طور مختصر مطالعه نماییم. هر گاه پلاستیک، را بر، شیشه و ابریشم توسط مالش چارج شوند در این اجسام چارج‌ها از همان قسمت که چارج شده است نمی‌خواهند به‌طرف دیگر حرکت نمایند. ولی بر عکس اگر یک قسمت بعضی اجسام دیگر مانند مس، المونیوم و سلور چارج شود این چارج‌ها در تمام سطح جسم تقسیم می‌شوند. به این ترتیب می‌توانیم اجسام را از نظر قابلیت انتقال چارج به دو گروه تقسیم نماییم.

موادی که در آن چارج‌های برقی به‌طور آزاد حرکت کرده بتوانند مانند مس و المونیوم، از جمله اجسام هادی اند و اجسامی که در آن چارج‌های برقی به‌طور آزاد حرکت کرده نتوانند به‌نام اجسام عایق برق یابند می‌شوند مانند پلاستیک، رابر، شیشه و ابریشم. یک نوع اجسام دیگر که در بین دو نوع فوق قرار دارند، به‌نام اجسام نیمه‌هادی یاد می‌شوند. اگر این اجسام خالص باشند مانند اجسام عایق اند و اگر در این اجسام ناخالصی به‌وجود بیاید و بعضی اتم‌های خاص بیگانه در آن داخل گردند پس خاصیت هدایت برقی آن زیاد می‌شود.



## یک طریقهٔ چارج کردن اجسام طریقهٔ تماس است:

توسط این طریقه مثال شانه و موها را دیدیم. به عین ترتیب اگر یک میلهٔ شیشه‌یی را با ابریشم و یک میلهٔ رابری را با پشم یا پر مالش دهیم پس این دو میله طوری باهم چارج خواهند گردیدند که یکدیگر خود را جذب نمایند. یعنی در حقیقت یک میله مثبت و دیگر آن منفی چارج شده است. اگر در این تجربه دو میلهٔ شیشه‌یی قرار فوق چارج شوند پس هر دو میله یکدیگر را دفع می‌نمایند یعنی دارای چارج مشابه اند. در این مثال‌ها شیشه، رابر، ابریشم و پشم تماماً اجسام عایق اند. حال پرسش به‌وجود می‌آید که آیا اجسام‌هادی برق را نیز توسط مالش چارج دار کرده می‌توانیم یا به عبارت دیگر از طریق تماس چارج شده می‌توانند یا خیر؟



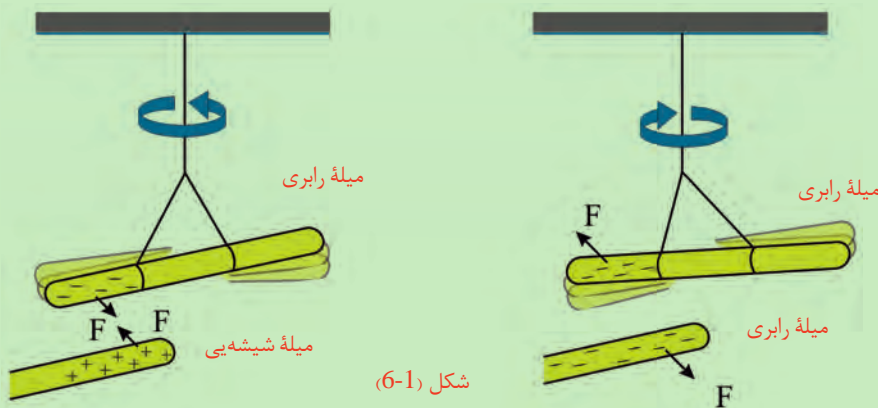
**فعالیت**

**مواد مورد ضرورت:**

یک میلهٔ شیشه ای، میلهٔ رابری، میلهٔ مسی از هر کدام یک دانه، ابریشم، پشم یا پر

## طرز العمل:

میلهٔ شیشه ای را با ابریشم و میلهٔ رابری را با پشم مالش دهید. چنان‌چه قبلاً ذکر گردید یک میله مثبت و دیگر آن منفی چارج خواهد شد. میلهٔ مسی را با پشم مالش دهید بعداً آن را به میلهٔ شیشه ای و میلهٔ رابری نزدیک سازید، ببینید که چه واقع می‌شود؟ مرتبهٔ دیگر میلهٔ مسی با دستهٔ عایق را با پشم مالش دهید و بعداً آن را به میلهٔ شیشه ای و رابری نزدیک سازید و ببینید که چه واقع می‌شود؟



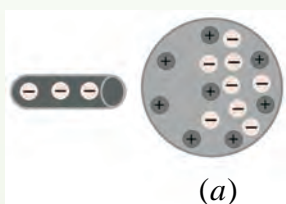
شکل (6-1)

در حالت اول که میله مسی را به میله‌های شیشه‌ای و رابری نزدیک می‌نمایید، ممکن است هیچ کدام را جذب یا دفع نکند. مگر در حالت دوم که میله مسی را که دارای دسته عایق است. به هر دو میله نزدیک نمایید، میله شیشه‌ای را جذب و میله رابری را دفع می‌نماید. علت آن چه بوده می‌تواند؟ در حالت اول ممکن است شما فکر نمایید که میله مسی در اثر مالش چارج دار نمی‌گردد مگر در حالت دوم که میله مسی توسط میله شیشه‌یی جذب و توسط میله رابری دفع می‌گردد، پس ممکن است فکر نمایید که میله مسی نیز در اثر مالش چارج دار می‌شود.

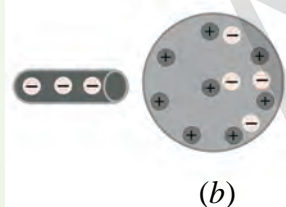
این موضوع را چنین توضیح می‌نماییم. در حالت اول نیز میله مسی چارج دار می‌شود مگر چارج‌های آن از طریق بدن شما و بالاخره از طریق زمین که هر دو هدایت کننده‌های خوب هستند در اسرع وقت حرکت می‌نمایند. در حالت دوم که دسته عایق است چارج‌ها از میله حرکت کرده نمی‌توانند و به همین سبب میله مسی، میله شیشه‌ای را جذب می‌نماید و میله رابری را دفع می‌کند، یعنی در این حالت میله مسی چارج دار است.

در این جا واضح می‌شود که اجسام عایق و هادی هر دو از طریق تماس چارج دار شده می‌توانند.

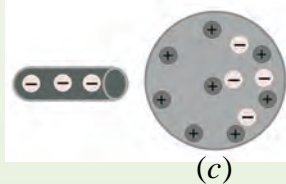
## اجسام هادی از طریق القا چارج شده می‌توانند:



زمین به حیث یک ذخیره بی نهایت بزرگ الکترون‌ها در نظر گرفته شده می‌تواند. زیرا زمین ظرفیت ذخیره تعداد بی شماری الکترون‌ها را دارد. این همان حقیقت مهمی است که برای دانستن یک نوع دیگر چارج کردن اجسام هادی از آن استفاده کرده می‌توانیم.



هرگاه یک میله رابری چارج شده منفی به یک کره خنثی و چارج ناشده نزدیک گردد، بین چارج‌های منفی میله و چارج‌های منفی کره، قوه دفع اثر نموده در نتیجه آن چارج‌های منفی کره به طرف مقابل (عقب) حرکت می‌نمایند، چنان‌چه در شکل  $(a-2, 6)$  نشان داده شده است. اگر کره توسط یک سیم هادی با زمین وصل گردد چنان‌چه



در شکل  $(b-2, 6)$  نشان داده شده است، یک تعداد الکترون‌ها به زمین حرکت خواهند کرد. حالا اگر سیم هادی برداشته شود و میله رابری چارج شده منفی به جای خود نگهداشته شود چنان‌چه در شکل  $(c-2, 6)$  نشان داده شده است، در این حالت کره دارای تعداد بیشتر چارج‌های مثبت القائی می‌باشد. حال اگر میله رابری چارج شده منفی



دور شود، چارج‌های مثبت القا شده در کره باقی می‌ماند و چنان‌چه در شکل  $(d-2, 6)$  نشان داده شده است، این چارج‌های القائی در بالای سطح کره به طور متناظر توزیع می‌گردند. این عملیه را القا گویند و این

شکل (6-2)



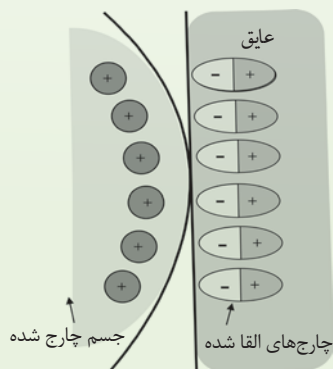
چارج‌ها به نام چارج‌های القائی یاد می‌شوند.

در این جا باید متوجه بود که جسمی که به واسطه القا چارج دار می‌شود، با جسم القا کننده که در این حالت میله رابری است تماس نمی‌کند بلکه با جسم سومی که در این حالت زمین است تماس می‌نماید. میله رابری چارج‌های منفی خود را از دست نمی‌دهد زیرا که با کره در تماس نیست. این حادثه با آن که دو جسم با یکدیگر تماس حاصل کرده و انتقال مستقیم چارج‌ها در آن صورت می‌گیرد کاملاً تفاوت دارد.

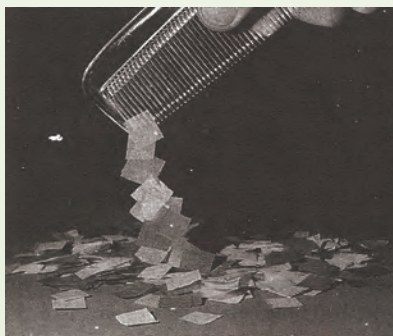
به وسیله قطبی شدن نیز می‌تواند بروی سطح یک جسم عایق چارج‌ها به صورت القا تولید گردد. قبلاً دیدیم که توسط خط کش پلاستیکی چارج شده پارچه‌های کاغذ جذب می‌شد. سبب آن چه بوده می‌تواند؟ یک عملیه مشابه به چارج شدن القایی اجسام‌های وجود دارد که به وسیله آن اجسام عایق چارج شده می‌توانند. در اکثر اتم‌ها و مالیکول‌های خنثی مراکز چارج‌های مثبت و منفی بالای یکدیگر منطبق می‌باشد. در صورت موجودیت یک جسم چارج دار در نزدیک جسم عایق این مراکز از یکدیگر فاصله می‌گیرند و در نتیجه به یک طرف مالیکول‌های آن چارج‌های مثبت بیشتر نسبت به طرف دیگر آن قرار می‌گیرند. این عملیه به نام پولیرایزیشن یا قطبی شدن یاد می‌شود.

وقتی که این حالت چارج‌ها در هر مالیکول به وجود آید، درینصورت بالای سطح عایق یک چارج القایی تولید می‌گردد، چنانچه در شکل (3-6) نشان داده شده است. وقتی که یک جسم قطبی شود با وجود این که چارج محصله آن صفر است مگر با آنهم می‌تواند که چارج‌ها را جذب یا دفع نماید.

به همین دلیل است که اگر یک خط کش پلاستیکی که جسم عایق است و به پارچه‌های کاغذ نزدیک شود آن را جذب می‌نماید. در این جا باید متوجه بود که مانند چارج شدن توسط عملیه القا، درقطبی شدن نیز بالای سطح یک جسم، چارج‌ها بدون تماس فیزیکی القا می‌گردد.



شکل (3-6)



## سوالات:

- 1 - وقتی که یک میلهٔ رابری با تکهٔ پشمی مالش داده شود، میله منفی چارج خواهد شد. در این حالت در مورد به چارج پشم چه گفته می‌توانید و چرا؟
- 2 - فلزات مانند مس، نقره و غیره توسط القا چارج می‌گردد، در حالی که اجسام عایق مانند پلاستیک چارج شده نمی‌توانند. توضیح نمایید.
- 3 - یک سکهٔ فلزی تقریباً  $10^{24}$  الکترون دارد که یک‌دیگر را دفع می‌نماید. چرا این الکترون‌ها از سکه خارج نمی‌شوند؟

## فعالیت

مواد مورد ضرورت: پوقانه دو دانه

## طرز العمل:

دو پوقانه را به موهای خویش مالش دهید و ببینید.  
اول: وقتی که یک پوقانه را به موهای سر خویش مالش دادید، بعداً پوقانه را به موهای خود نزدیک سازید ببینید چه واقع می‌شود.  
دوم: دو پوقانه را که به موهای خویش مالش داده‌اید با یک‌دیگر نزدیک نمایید و ببینید چه واقع می‌شود.  
نتیجه: شما خواهید دید که موهای سر شما توسط پوقانه جذب می‌گردد مگر در حالت دوم در صورت نزدیک آوردن پوقانه‌ها به یک‌دیگر شان، پوقانه‌ها از یک‌دیگر فاصله می‌گیرند. این چنین معنی می‌دهد که چارج‌ها دو نوع اند، چارج‌های مشابه (هم نوع) که یک‌دیگر را دفع و چارج‌های مختلف النوع یک‌دیگر جذب می‌نمایند.

## 6-2: قوهٔ برقی

دو جسم چارج دار می‌تواند یکی به طرف دیگر جذب و یا یکی توسط دیگر دفع شود. زیرا که اجسام چارج دار بالای یک‌دیگر قوه وارد می‌نمایند، این قوه به نام قوهٔ برقی یاد می‌شود. در فعالیت فوق ممکن است شما مشاهده کرده باشید که دو پوقانه یک‌دیگر را دفع مگر موهای سر شما را جذب می‌کردند. این که این قوه چقدر بزرگ و یا کوچک است، آن را در قانون کولمب مطالعه خواهیم کرد.

## توضیح و فورمول قانون کولمب

این که قوه برقی بین اجسام چارج دار تابع فاصله بین این دو جسم است، و هم چنان قوه برقی بین اجسام چارج دار مربوط به مقدار چارج بالای اجسام است مطالعه نمودیم، مگر این که قوه های برقی با مقدار چارج بالای اجسام و فاصله بین شان چگونه رابطه دارد، این موضوع را فزیک دان مشهور تجربه و تحقیق کرده که نتایج آن را طور ذیل توضیح می نماییم. در 1780 چارلس کولمب غرض تعیین مقدار قوه بین دو جسم چارج شده، تعداد زیاد تجارب را انجام داد. کولمب در یافت که قوه برقی بین جسم چارج دار مستقیماً متناسب به حاصل ضرب چارج است. یعنی هر گاه یک چارج دو چند شود قوه برقی نیز دو برابر می شود و اگر چارج دوم نیز دو چند گردد پس قوه برقی چهار برابر می شود. کولمب این را هم در یافت که قوه برقی بین دو چارج معکوساً متناسب به مربع فاصله بین آن ها است. یعنی: هر گاه فاصله بین دو چارج نیم گردد، قوه برقی چهار برابر زیاد می شود. رابطه ذیل که به نام قانون کولمب یاد می شود. برای دو چارج که به فاصله  $r$  از همدیگر واقع باشند، رابطه ریاضیکی این قانون چنین است.

$$\text{(چارج دوم) (چارج اول)} \div \frac{\text{(ثابت کولمب)} = \text{قوه برقی}}{r^2 \text{ (فاصله)}}$$

$$F_{electric} = K_c \left( \frac{q_1 q_2}{r^2} \right) \quad \text{و یا:}$$



چون قوه یک کمیت عاملی است، پس باید به‌حیث عامل با آن معامله صورت گیرد. قوهٔ برقی همیشه در امتداد خط مستقیم عمل می‌کند که مراکز دو چارج را باهم وصل می‌نماید. قابل یادآوری است که قانون کولمب تنها بالای چارج‌های نقطه‌یی قابل تطبیق است و هم‌چنان بالای چارج‌هایی که به شکل کروی تقسیم شده باشند (چارج‌های که در فضای کروی تقسیم شده باشند) تطبیق می‌گردد. هر گاه قانون کولمب را بالای توزیع کروی چارج‌ها تطبیق نماییم، در این حالت فاصلهٔ عبارت از فاصله بین مراکز کره‌ها می‌باشد.

مثال: در اتوم‌هایدورجن الکترون و پروتون توسط فاصلهٔ  $(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})$  از همدیگر جدا اند. مقدار قوهٔ برقی و مقدار قوهٔ جاذبه را که این دو ذره بالای یکدیگر وارد می‌نمایند در یافت نمایید.

کمیات معلوم                      کمیات مجهول

$$F_{electric} = ?$$

$$F_g = ?$$

$$r = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$k_c = 8.99 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$q_e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_p = +1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

**حل:** برای دریافت مقدار قوهٔ برقی از قانون کولمب استفاده می‌نماییم. یعنی

$$F_{electric} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

هم‌چنان برای دریافت مقدار قوهٔ جاذبه‌یی از قانون نیوتن استفاده می‌نماییم یعنی:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

در این جا (جاذبهٔ حرکت دایروی) مقصد ما است.

کمیات معلوم را در این معادلات وضع می‌کنیم و زمانی که اندازهٔ قوهٔ برقی را در یافت می‌نماییم





از علامات چارچ‌ها صرف نظر می‌نماییم. بنابراین:

$$F_{electric} = k_c \frac{q_1 q_2}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \left( \frac{(1.6 \times 10^{-19})}{(5.3 \times 10^{-11} m)} \right)$$

$$F_{electric} = 8.2 \times 10^{-8} N$$

$$F_g = G \frac{m_c m_p}{r^2} = (6.673 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}) \left( \frac{(9.109 \times 10^{-31} kg)(1.673 \times 10^{-27} kg)}{(5.3 \times 10^{-11} m)^2} \right)$$

$$= 3.6 \times 10^{-47} N$$

چون الکترون و پروتون دارای علامات مخالف اند، پس بین آنها قوه برقی عبارت از قوه جذب می‌باشند. اگر نسبت بین این دو قوه را مطالعه نماییم پس:

$$\frac{F_{electric}}{F_G} = 2 \times 10^{39}$$

از این جا معلوم می‌شود که قوه جاذبوی نیوتن نسبت به قوه برقی خیلی کوچک و قابل صرف نظر می‌باشد. مهم این است که چون این هر دو قوه‌ها معکوساً متناسب با مربع فاصله اند، بنابراین نسبت این دو قوه مربوط به فاصله نمی‌باشد.

### مثال:

دو ذره با چارچ‌های برقی  $q_1 = +2\mu C$  و  $q_2 = +5\mu C$  به فاصله  $3cm$  از هم دیگر قرار دارند. قوه‌یی را دریافت نمایید که این ذرات بالای یکدیگر وارد می‌نمایند و هم‌چنان نوع قوه را مشخص نمایید.

**حل:** با استفاده از قانون کولمب می‌توانیم بنویسیم که:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{N m^2}{C^2} \frac{(2 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6}) C^2}{9 \times 10^{-4} m^2} = 100 N$$



چون ذرات چارج دار دارای چارج‌های هم نوع اند بنابراین قوه را که هر دو ذره بالای یک‌دیگر وارد می‌نماید قوه دفع است.

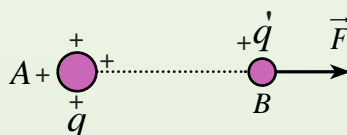
### تمرین:

در مثال فوق قوه وارد را بالای  $q_1$  حساب نمایید.

### 6-3: ساحه برقی

حال شما دو قوه ساحوی را می‌شناسید که یکی آن قوه جاذبه است و از قبل با آن آشنا هستید و دیگر آن قوه برقی است که در این جا آن را خواهید شناخت. چنانچه قبلاً ذکر گردید حتا اگر در بین اشیای عمل کننده متقابل هیچ نوع تماس نیز وجود نداشته باشد، قوه‌های ساحوی از طریق فضا اثر می‌نمایند. تعجیل جاذبوی زمین ( $g$ ) در یک نقطه فضا مساوی به حاصل تقسیم قوه جاذبه زمین ( $Fg$ ) بالای کتله  $m$  ذره امتحانی است، یعنی  $g = \frac{Fg}{m}$  هم‌چنان گفته می‌شود که در اطراف یک چارج برقی ساحه برقی وجود دارد. هر گاه یک شی یا چارج دیگر، در ساحه چارج امتحانی آورده شود بالای آن یک قوه برقی عمل می‌نماید.

فرض نمایید که یک کره کوچک با چارج  $+q$  مطابق شکل (6-4) در نقطه  $A$  قرار دارد. هر گاه ذره دیگری با چارج  $+q'$  را در نقطه  $B$  قرار دهیم، از طرف چارج  $+q$  بالای آن قوه  $\vec{F}$  وارد می‌شود. (میدانیم که چارج  $+q'$  نیز بالای  $q$  قوه‌یی وارد می‌نماید که عکس‌العمل قوه  $\vec{F}$  می‌باشد. (مگر در شکل نشان داده نشده است):



شکل (6-4)

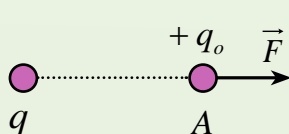
حال در مورد پرسش‌های ذیل و جوابات آن‌ها فکر نمایید.

هر گاه کرهٔ چارج دار  $q$  را از نقطهٔ  $A$  بر داریم (شکل فوق)، آیا در نقطهٔ  $B$  بالای چارج  $q$  قوه عمل می‌نماید؟ جواب شما چیست؟ آیا قبول می‌نمایید که موجودیت چارج  $q$  در نقطهٔ  $A$  سبب قوهٔ برقی بالای چارج  $q'$  در نقطهٔ  $B$  می‌گردد؟ آیا گفته می‌توانید هر گاه چارج  $q$  را در نقطهٔ  $A$  قرار دهیم، در نقطهٔ  $B$  خاصیتی به وجود می‌آید که اگر چارج  $q$  در نقطهٔ  $A$  موجود نباشد، این خاصیت نیز در نقطهٔ  $B$  وجود نخواهد داشت؟ آیا موجودیت چارج  $q$  در نقطهٔ  $A$ ، این خاصیت را در نقطهٔ  $B$  به وجود آورده است؟ هر گاه چارج  $q'$  در نزدیک  $A$  در هر موقعیت گذاشته شود آیا باز هم بالای آن قوهٔ برقی عمل می‌نماید؟

با در نظر داشت گفته‌های فوق می‌توانیم بگوییم که: یک چارج برقی در هر نقطهٔ اطراف فضای خود خاصیتی را به وجود می‌آورد که به نام ساحهٔ برقی یاد می‌شود. هر گاه یک چارج برقی در یک نقطهٔ ساحهٔ برقی واقع گردد، از طرف ساحه بالای آن قوهٔ برقی وارد می‌گردد. ساحهٔ برقی طور ذیل تعریف می‌گردد:

### 6-3-1: تعریف ساحهٔ برقی

واحد قوهٔ وارده در هر نقطه بالای چارج برقی مثبت، به نام ساحهٔ برقی نقطهٔ متذکره یاد می‌شود. هر گاه چارج نقطه‌یی  $+q_o$  مطابق شکل (6-5) در یک ساحهٔ برقی که توسط چارج  $q$  به وجود آمده باشد واقع گردد، از طرف ساحهٔ تولید شده توسط چارج  $q$ ، بالای آن قوهٔ  $\vec{F}$  وارد می‌شود. به اساس تعریف فوق، در جایی که چارج  $+q_o$  گذاشته شده است ساحهٔ برقی چارج  $q$  را که توسط  $\vec{E}$  نشان می‌دهیم از رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q_o}$$


شکل (6-5)

ساحه برقی کمیت وکتوری است. واحد ساحه برقی نیوتن بر کولمب ( $\frac{N}{C}$ ) است. **مثال:** در ساحه برقی چارج  $q$  بالای یک چارج برقی  $+0.2\mu c$ ، قوه  $5 \times 10^{-2} N$  عمل می نماید. ساحه برقی را در این نقطه محاسبه نمایید.

**حل:** از رابطه  $E = \frac{F}{q}$  می توانیم ساحه برقی را دریافت نمائیم.

$$E = \frac{5 \times 10^{-2} N}{2 \times 10^{-7} c} \\ = 2.5 \times 10^5 \frac{N}{c}$$

### الف: ساحه برقی یک ذره چارج دار

می خواهیم ساحه برقی یک ذره چارج دار  $q$  را در نقطه  $A$  که از  $q$  به فاصله  $r$  واقع است محاسبه نماییم، شکل (6-6). برای این کار از رابطه  $(E = \frac{F}{q})$  استفاده می نماییم. هرگاه در نقطه  $A$  ذره چارج دار  $q_0 +$  قرار گیرد، از طرف چارج  $q$  بالای آن قوه  $\vec{F}$  وارد می شود. با استفاده از قانون کولمب مقدار قوه را حساب کرده و در رابطه (1) با گذاشتن قیمت آن ساحه برقی چارج  $q$  را در نقطه  $A$  پیدا می کنیم.



شکل (6-6)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_0}{r^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$E = \frac{F}{q_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \dots\dots\dots(2)$$

از رابطه فوق معلوم می شود که ساحه برقی با چارج  $q$  تناسب مستقیم و با مربع فاصله از چارج تناسب معکوس دارد. چون ساحه یک کمیت عمل کننده است پس برای تعیین کردن جهت ساحه در یک نقطه به طور مثال نقطه  $A$ ، فرض می نماییم که در نقطه متذکره یک چارج مثبت قرار دارد. در این نقطه ساحه دارای جهت قوه وارده بالای چارج فرضی است. بنابر این، در هر

نقطهٔ ساحهٔ برقی، جهت قوهٔ وارده بالای چارج مثبت در همان نقطه را دارا می‌باشد.

**مثال:** ساحهٔ برقی ذرهٔ چارج دار  $-2\mu c$  را در نقطهٔ  $M$  در حالی در یافت نماید که:

الف: از چارج به فاصلهٔ  $2\text{mm}$  قرار داشته باشد.

ب: از چارج به فاصلهٔ  $20\text{cm}$  قرار داشته باشد. و برای یک حالت وکتور ساحه را ترسیم نمائید.

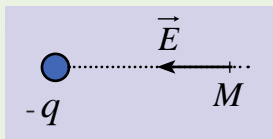
**حل:** با استفاده از رابطه (2) می‌توانیم مقدار ساحهٔ برقی را در نقطهٔ مورد نظر در یافت نماییم.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (\text{الف})$$

$$\begin{aligned} E_1 &= 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} \\ &= 4.5 \times 10^9 \frac{N}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{c^2} \times \frac{2 \times 10^{-6} c}{4 \times 10^{-2} m^2} \\ &= 4.5 \times 10^5 \frac{N}{c} \end{aligned} \quad (\text{ب})$$

غرض ترسیم عمل کنندهٔ ساحه فرض می‌نماییم که از چارج  $q$  به فاصلهٔ  $2\text{mm}$  در نقطهٔ  $M$



شکل (6-7)

یک چارج امتحانی مثبت قرار دارد. چون چارج  $q$  منفی است، پس چارج فرض شدهٔ مثبت را جذب می‌نماید، پس ساحهٔ چارج  $q$  نیز دارای همین جهت قوه است، چنانچه در شکل (6-7) نشان داده شده است



## ساحه برقی حاصل شده یک تعداد ذرات چارج دار:

هر گاه در یک قسمت فضا چندین ذره چارج دار قرار داشته باشد، در هر نقطه این فضا ساحه برقی وجود دارد.

طور مثال غرض محاسبه ساحه برقی در نقطه  $p$  فضا اولاً ساحه‌های تولید شده توسط هر چارج را به صورت جداگانه با استفاده از معادله (2) به شکل وکتوری آن محاسبه کرده و بعداً آن‌ها را به صورت وکتوری جمع می‌کنیم. یا به عبارت دیگر به صورت عمومی در هر نقطه  $p$  ساحه برقی که توسط یک تعداد ذرات چارج دار تولید شده باشد مساوی به مجموعه وکتوری تمامی ساحه‌های برقی چارج‌ها است.

**مثال:** دو ذره چارج دار  $q_1 = +4\mu c$  و  $q_2 = -6\mu c$  از یک دیگر خود به فاصله 8cm

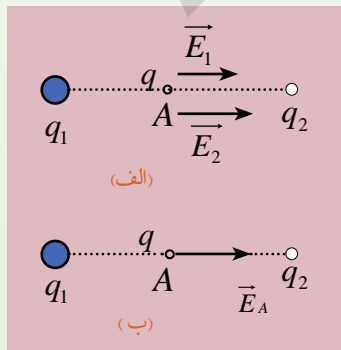
واقع اند. ساحه برقی را در نقاط ذیل در یافت نمایید.

الف: در قسمت وسط خط اتصال دهنده هر دو ذره.

ب: در همان نقطه خط اتصال دهنده هر دو ذره که از چارج  $q_2$  به فاصله 2cm و از چارج  $q_1$  به فاصله 10cm واقع باشند.

**حل:** ساحه برقی هر ذره چارج دار را به صورت جدا گانه محاسبه می‌نماییم. ساحه محصله، مجموعه ساحه‌های هر دو چارج خواهد بود.

الف: هرگاه یک چارج مثبت را در نقطه  $A$  قرار دهیم، چارج  $q_1$  آن را دفع می‌نماید و چارج  $q_2$  آن را جذب می‌کند. بنابر این در نقطه  $A$ ، ساحه‌های  $\vec{E}_1$ ،  $\vec{E}_2$  دارای عین جهت می‌باشند و به طرف چارج  $q_2$  است، (اشکال 6-8 الف و ب).



شکل (6-8)

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{c^2} \times \frac{4 \times 10^6 c}{(4 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{c^2} \times \frac{10^{-2} c}{4m^2} = 2.25 \times 10^7 \frac{N}{c}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{c^2} \frac{6 \times 10^{-6} c}{16 \times 10^{-4} m^2}$$

$$E_2 = 3.375 \times 10^7 N/c$$

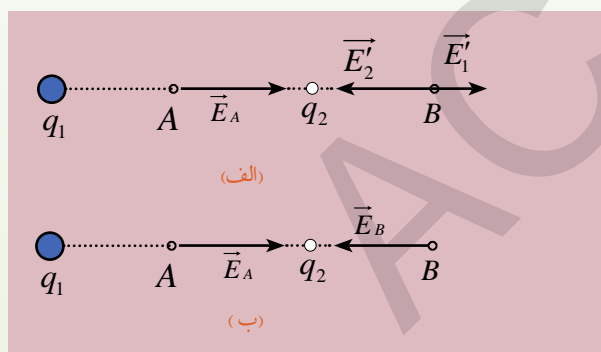
چون  $\vec{E}_1$ ،  $\vec{E}_2$  دارای عین جهت اند، حاصل جمع آنها مساوی به ساحت محصله می باشد. به خاطر داشته باشید که در نقطه A تنها ساحت  $\vec{E}_A$  وجود دارد.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_A = E_1 + E_2$$

$$E_A = 5.875 \cdot 10^7 \frac{N}{C}$$

ب: هرگاه یک چارج مثبت را در نقطه B قرار دهیم، چارج  $q_1$  آن را دفع و چارج  $q_2$  آن را جذب می نماید. در نتیجه جهت  $E_2'$  به طرف چارج  $q_2$  و جهت  $E_1'$  بر خلاف آن می باشد، (شکل 14).



$$E_1' 9 \times 10^9 \frac{N m^2}{c^2} \times \frac{4 \times 10^6 c}{(10^{-2} m)^2}$$

$$= 3.60 \times 10^6 \frac{N}{c}$$

$$E_2' = 9 \times 10^9 \frac{N m^2}{c^2} \times \frac{6 \times 10^6 c}{4 \times 10^{-4} m^2}$$

$$E_2' = 1.35 \times 10^8 \frac{N}{c}$$

شکل (9-6)

چون  $\vec{E}_1'$  او  $\vec{E}_2'$  دارای جهت های مخالف اند، پس ساحت محصله مساوی به حاصل تفریق آنها است.

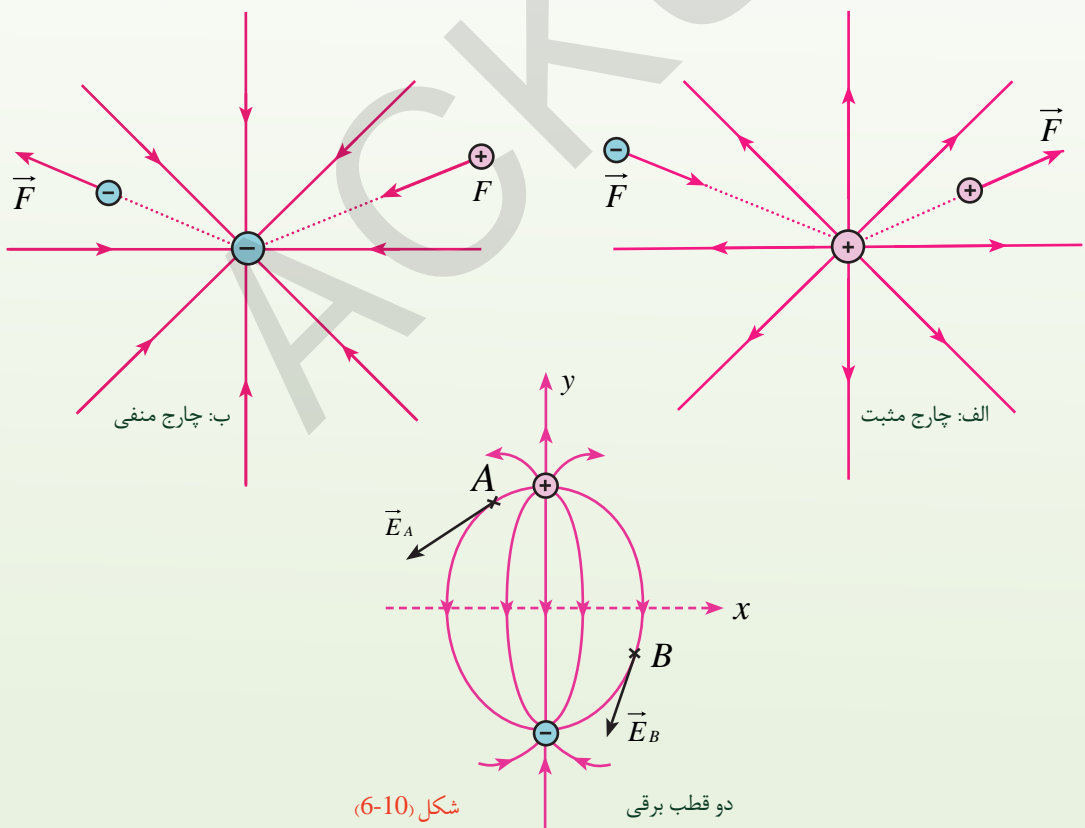
$$\vec{E}_B = \vec{E}_2' - \vec{E}_1'$$

$$E_B = E_2' - E_1' = 131.4 \times 10^6 N/c$$

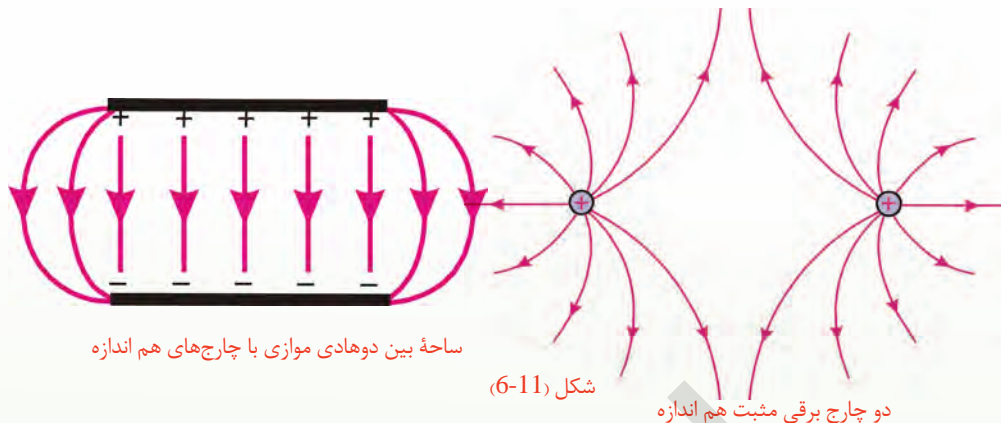
## 6-3-2: خطوط ساحه

ساحه برقی اطراف یک جسم چارج دار را توسط خطوطی نشان می‌دهیم که به نام خطوط ساحه برقی یاد می‌شود. این خطوط دارای مشخصات ذیل می‌باشد:

- 1 - خطوط ساحه در هر نقطه، دارای جهت قوه‌یی می‌باشد که در همان نقطه بالای یک چارج واقع شده مثبت وارد می‌گردد. در نتیجه، جهت این خطوط از چارج مثبت به طرف خارج و برای چارج منفی به داخل آن است. (قوه وارد، بالای چارج منفی جهت مخالف ساحه را دارا است).
  - 2 - خط ساحه در هر نقطه، جهت ساحه را در همان نقطه نشان می‌دهد و ساحه در هر نقطه وکتوری است که در همان نقطه با خط ساحه مماس و جهت آن را دارا است.
  - 3 - در هر محل که ساحه قوی باشد در آن جا خطوط ساحه با یکدیگر نزدیک واقع اند.
  - 4 - خطوط ساحه یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه صرف یک خط عبور می‌کند.
- در شکل (6-10) ذیل در اطراف چندین جسم چارج شده ساحه برقی را دیده می‌توانید.







### حرکت ذرات چارج دار در یک ساحه منظم برقی

هر گاه یک ذره با چارج  $q$  و کتله  $m$  در یک ساحه برقی واقع گردد، قوه برقی  $q\vec{E}$  بالای چارج عمل می‌نماید. اگر این تنها قوه‌یی باشد که بالای ذره عمل می‌کند، پس باید قوه خالص باشد و مطابق قانون دوم نیوتن به ذره تعجیل بدهد، طوریکه:

$$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$$

از این جا تعجیل ذره عبارت است از:

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

اگر  $\vec{E}$  منظم باشد یعنی مقدار و جهت آن ثابت باشد پس تعجیل ثابت است. اگر ذره دارای چارج مثبت باشد، تعجیل جهت ساحه را دارا است. هرگاه ذره‌یی دارای چارج منفی باشد، تعجیل دارای جهت مخالف می‌باشد.

**مثال:** ذره‌یی را که دارای  $2g$  کتله و  $2\mu c$  چارج است در ساحه خارجی  $4 \times 10^4 \frac{N}{C}$  قرار می‌دهیم. تعجیلی را محاسبه نمایید، که ذره در اثر قوه برقی وارده حاصل می‌نماید.

**حل:**

$$F = qE$$

چون داریم که:

$$F = 2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^4$$

$$= 8 \times 10^{-2} N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{8 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-3}}$$

$$a = 40 m/sec^2$$

#### 6-4: پوتانشیل برقی

شما با انرژی پوتانشیل ساحه جاذبوی زمین آشنا هستید و این را نیز مشاهده کردید که با مصرف نمودن انرژی و اجرای کار می‌توانیم جسمی با کتله  $m$  را از سطح زمین به ارتفاع  $h$  بلند نماییم. همان انرژی که برای بلند کردن جسم (با سرعت ثابت) به مصرف می‌رسد به شکل انرژی پوتانشیل جاذبه در جسم ذخیره می‌گردد. با انرژی پوتانشیل کشش فنر نیز آشنا هستید، یعنی هر گاه فنری را آهسته آهسته منقبض نماییم یا آن را انبساط دهیم و کش نماییم، کار اجرا شده به شکل انرژی پوتانشیل در فنر ذخیره می‌شود. حال می‌خواهیم با انرژی پوتانشیل برقی خوب آشنا شویم.

در قسمت اول این فصل دیدیم که دو ذره چارج دار بالای یک‌دیگر قوه وارد می‌نمایند و شما دیدید که بین دو چارج هم علامه قوه دفع و بین دو چارج با علامه‌های مختلف قوه جذب عمل می‌نماید. اگر دو چارج با عین علامه را داشته باشیم و آن‌ها را با یک‌دیگر با سرعت ثابت نزدیک نماییم، لازم است که به‌خاطر غلبه کردن بالای قوه دفع بین آن‌ها کاری انجام دهیم و هم‌چنان هر گاه خواسته باشیم دو چارج با علامه‌های مختلف را از یک‌دیگر با سرعت ثابت دور نماییم، پس به‌خاطر غالب شدن بالای قوه جذب بین آن‌ها نیز باید کار انجام دهیم. در هر دو حالت کار انجام شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در ذرات چارج دار ذخیره می‌شود.

**مثال:** ذره چارج دار مثبت  $q$  را با سرعت ثابت در بین یک ساحه منظم برقی  $\vec{E}$  (یعنی ساحه که وکتور ساحه در هر محل عین چیز باشد) در جهت مخالف ساحه و موازی با خطوط ساحه به فاصله  $d$  تغییر مکان می‌دهیم. برای این تغییر مکان کدام مقدار کار باید اجرا شود؟

**حل:** ساحه برقی بالای چارج  $+q$  در جهت ساحه، قوه  $F = qE$  را وارد می‌نماید. برای این که ذره  $q$  را با سرعت ثابت در جهت مخالف تغییر مکان دهیم، باید بالای آن قوه  $F' = qE$  در جهت مخالف ساحه یعنی در جهت تغییر مکان وارد نماییم شکل (12-6). بنابر این زاویه بین قوه وارده (یعنی  $F'$ ) و تغییر مکان ( $\vec{d}$ ) صفر است. کاری را که ما انجام می‌دهیم مساوی است به:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$$W = q \cdot E \cdot d \cos 0^\circ$$

$$W = q E \cdot d$$



شکل (12-6)

کاری را که ما در این جا انجام می‌دهیم مثبت است و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج برقی ذخیره می‌شود. هر اندازه که تغییر مکان بیشتر باشد، کار و انرژی مصرف شده زیاد می‌شود و در نتیجه انرژی پوتانشیل برقی چارج تزايد می‌نماید، و این عیناً مشابه به حالتی است که ما یک جسم را به روی سطح زمین از یک نقطه به نقطه دیگر مرتفع انتقال می‌دهیم و در انرژی پوتانشیل جاذبوی آن تزايد به عمل می‌آید. اگر چارج برقی  $q$  در نقطه  $B$  رها گردد، در جهت ساحه حرکت کرده و انرژی پوتانشیل برقی آن به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود. این حالت مشابه به آن است که یک جسم از نقطه مرتفع زمین رها گردد و به طرف پائین حرکت نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل جاذبوی آن کاهش نموده و به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود.

### مثال:

چارج برقی منفی  $q$  را در یک ساحه برقی منظم  $E$  با سرعت ثابت در جهت ساحه به فاصله  $d$  از  $A$  به  $B$  تغییر مکان می‌دهیم. کاری را که در این تغییر مکان انجام می‌شود محاسبه نمائید.

**حل:** از طرف ساحه قوه  $F = qE$  در جهت مخالف ساحه بالای چارج منفی برقی وارد می‌شود. در نتیجه به خاطر تغییر مکان چارج  $q$  با سرعت ثابت باید قوه  $F' = qE$  در جهت ساحه یعنی در جهت تغییر مکان بالای آن وارد گردد، کاری که از طرف ما در این تغییر مکان انجام گردیده عبارت است از:

$$w = F' \cdot d \cdot \cos\alpha$$

$$w = q \cdot E \cdot d$$

در این مثال نیز کار اجرا شده ما مثبت است و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج  $q$  ذخیره می‌شود. هرگاه چارج  $q$  در نقطه  $B$  رها گردد، در جهت مخالف ساحه به حرکت شروع می‌نماید. در این حالت از انرژی پوتانشیل برقی آن کاسته شده و به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود.

از این مثال‌ها چه نتیجه می‌گیرید؟

از این مثال‌ها نتیجه می‌شود که بالای چارج‌ها کار اجرا شده از طریق ما مثبت بوده و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج  $q$  ذخیره می‌شود، و زمانی که چارج رها گردد، در جهت مخالف ساحه به حرکت آغاز می‌نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل برقی آن کاهش یافته و به انرژی حرکتی تبدیل می‌شود.

از مثال‌های فوق نتیجه می‌شود که: زمانی که یک چارج برقی را در یک ساحه برقی تغییر مکان



می‌دهیم در انرژی پتانسیل برقی آن تغییر به وجود می‌آید و این تغییر مساوی به انرژی است که برای تغییر مکان چارج به مصرف می‌رسد یعنی:

$$\Delta U = w \dots \dots \dots (1)$$

اگر کاری را که ما برای تغییر مکان (با سرعت ثابت) چارج برقی به مصرف می‌رسانیم مثبت باشد ( $w > 0$ )، انرژی پتانسیل چارج افزایش می‌یابد، یعنی  $\Delta u > 0$  و  $u_2 > u_1$  می‌شود. هر گاه کار اجرا شده منفی باشد ( $w < 0$ )، انرژی پتانسیل چارج کاهش می‌یابد یعنی  $\Delta u < 0$  و  $u_2 < u_1$  است. در این جا  $u_1$  انرژی پتانسیل چارج قبل از تغییر مکان و  $u_2$  بعد از تغییر مکان است.

### 1-4-6: مفهوم پتانسیل برقی

از توضیح فوق با مفهوم انرژی پتانسیل برقی آشنا شدیم. هرگاه انرژی پتانسیل بالای چارج واقع شده در ساحة برقی تقسیم گردد، کمیت فیزیکی حاصل می‌گردد که تابع توزیع چارج منبع می‌باشد. نسبت انرژی پتانسیل بر چارج واحد  $\left(\frac{u}{q_o}\right)$  تابع قیمت  $q_o$  نبوده و در هر نقطه ساحة برقی دارای عین قیمت می‌باشد، این کمیت  $\left(\frac{u}{q_o}\right)$  به نام پتانسیل برقی (یا به صورت ساده پتانسیل) یاد می‌شود و آن را توسط حرف  $v$  نشان می‌دهند. بنابر آن در هر نقطه ساحة

$$v = \frac{u}{q_o}$$

برقی، پتانسیل برقی عبارت است از:  $u$

چون انرژی پتانسیل برقی یک کمیت مقیاسی است پس پتانسیل برقی نیز کمیت مقیاسی می‌باشد. پتانسیل تنها مشخصه ساحة است که تابع ذره چارج دار امتحانی است که در ساحة واقع است. انرژی پتانسیل، مشخصه سیستم چارج و ساحة است که سبب عمل متقابل ساحة و ذره چارج دار واقع شده در ساحة می‌گردد.

## 6-4-2: تفاوت پتانسیل

قبلاً با مفهوم پتانسیل برقی آشنا شدیم. هم‌چنان از میخانیک می‌دانیم که هرگاه دو ظرفی که دارای آب باشند، توسط یک نل با یک‌دیگر وصل گردند آب از ظرفی که پتانسیل جاذبوی واحد کتله آن بیشتر باشد به ظرف دیگر جاری می‌گردد. در برق نیز، سبب حرکت چارج برقی عبارت از تفاوت در انرژی پتانسیل برقی چارج واحد بین دو نقطه است که طور ذیل تعریف می‌گردد:

هرگاه یک چارج واحد از نقطه اول به نقطه دیگر تغییر مکان نماید، تفاوت پتانسیل بین این دو نقطه مساوی به تفاوت بین انرژی پتانسیل یک چارج برقی واحد مثبت بین نقاط مذکور می‌باشد. بنابراین اگر انرژی پتانسیل یک چارج مثبت  $q$  در یک نقطه ساحة برقی  $u_1$  و در نقطه دیگر آن  $u_2$  باشد، تفاوت پتانسیل برقی بین این دو نقطه که توسط  $\Delta v$  نشان داده می‌شود از رابطه ذیل حاصل می‌گردد:

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad \Delta u = u_2 - u_1$$

یا

با در نظر داشت تفاوت پتانسیل برقی داریم که:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} \dots \dots \dots (2)$$

در این رابطه،  $u$  به ژول (J)،  $q$  به کولمب (C) و  $v$  به ولت (V) اندازه می‌شود.

### مثال:

تفاوت پتانسیل بین دو انجام یک بتری،  $12v$  است. اگر یک چارج  $+1.5c$  از انجام مثبت بتری الی انجام منفی بتری تغییر مکان نماید، انرژی پتانسیل برقی چارج چقدر و چگونه تغییر می‌نماید؟

### حل:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q}$$

با استفاده از رابطه (2) داریم که :

$$\Delta u = q \cdot \Delta v = q(v_- - v_+)$$

$$\Delta u = 1.5(-12) = -18J$$



علامه منفی نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل برقی به اندازه  $18\text{ J}$  کاهش یافته است. یعنی چارج برقی از پتانسیل بلند به پتانسیل پایین تغییر مکان کرده است.  $V_-$  پتانسیل انجام منفی بتری و  $V_+$  پتانسیل انجام مثبت بتری است. چنانچه در مثال ذکر گردیده است که چارج  $+1.5c$  از انجام مثبت بتری به انجام منفی تغییر مکان می‌نماید. بنابراین تفاوت  $(v_- - v_+)$ ،  $(-12)$  می‌باشد.

### 6-4-3: رابطه بین پتانسیل و ساحت برقی

هرگاه چارج  $q_0$  در ساحت برقی  $\vec{E}$  قرار گیرد، چنانچه می‌دانیم بالای چارج قوه‌یی عمل می‌نماید که عبارت است از

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

اگر چارج توسط یک قوه خارجی در بین ساحت حرکت داده شود، کار اجرا شده توسط ساحت بالای چارج، مساوی به کار منفی است که توسط قوه خارجی به سبب تغییر مکان آن انجام می‌یابد. این مشابه به حالتی است که در ساحت جاذبه زمین بالای جسمی با کتله  $m$  کار اجرا شده توسط قوه خارجی  $mgh$  و کار اجرا شده توسط قوه جاذبه  $-mgh$  می‌باشد.

اگر چارج از محل خود به فاصله  $\Delta s$  تغییر مکان نماید، کار اجرا شده بالای چارج توسط ساحت برقی عبارت است از:

$$F \cdot \Delta s = q E \cdot \Delta s$$

اگر چارج از محل خود به فاصله  $\Delta s$  تغییر مکان نماید، کار اجرا شده بالای چارج توسط ساحت برقی عبارت است از:

$$\Delta u = - q E \cdot \Delta s$$

چون این کار توسط ساحت برقی اجرا گردیده است، پس انرژی پتانسیل سیستم ساحت چارج، به اندازه  $\Delta u = - q E \cdot \Delta s$  تغییر می‌نماید.

برای تغییر مکان چارج از نقطه  $A$  به نقطه  $B$  تغییر انرژی پتانسیل  $\Delta u = u_B - u_A$  عبارت است از

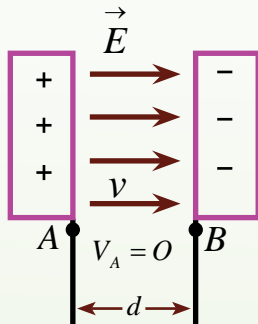
$$\Delta u = - q E \cdot \Delta s$$


چون  $\frac{\Delta u}{q} = \Delta v$  است، بنابراین از رابطه فوق حاصل می‌گردد که:

$$\Delta v = E \cdot \Delta s$$

معادله فوق رابطه بین تفاوت پتانسیل و ساحه را نشان می‌دهد. در این رابطه،  $\Delta s$  فاصله بین A، B است، از این جا معلوم می‌شود که تفاوت پتانسیل مربوط به موقعیت‌های اول و دوم چارج می‌باشد، نه تابع مسیر تغییر مکان چارج.

**مثال:** یک پروتون از حالت سکون در بین ساحه منظم برقی  $8.0 \times 10^4 \frac{v}{m}$  رها می‌گردد، شکل (6-13).



شکل (6-13)

پروتون در جهت ساحه برقی به اندازه 0.50m تغییر مکان می‌نماید.

a. تفاوت پتانسیل را بین نقاط A و B در یافت نمایید.

**حل:** چون پروتون چارج دار مثبت در جهت ساحه برقی حرکت می‌نماید، پس حرکت آن باید به طرف موقعیت پتانسیل پایین باشد.

داریم که:

$$\Delta v = -E d = -(8.0 \times 10^4 \frac{v}{m})(0.50m) = -4.0 \times 10^4 v$$

b. تفاوت انرژی پتانسیل سیستم پروتون- ساحه را برای این تغییر مکان در یافت نمایید.

**حل:** با استفاده از معادله  $\Delta u = q \cdot \Delta v$  می‌توانیم بنویسیم که:

$$\begin{aligned} \Delta u &= q_p \cdot \Delta v = e \cdot \Delta v \\ &= (1.6 \times 10^{-19} c)(-4.0 \times 10^4 v) \\ &= -6.4 \times 10^{-15} J \end{aligned}$$

علامه منفی بیان می‌کند وقتی که پروتون در جهت ساحه برقی حرکت می‌کند، از انرژی پتانسیل آن کاسته می‌شود. زمانی که پروتون در جهت ساحه، تعجیل می‌گیرد، انرژی حرکتی آن تزايد. و در عین زمان انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد.



## تطبیقات:

در نقطه‌یی که از چارج  $2\mu c$  به فاصله  $20\text{cm}$  واقع است، پتانسیل مطلقه را دریافت نمایید.  
**حل:** چون  $r = 20\text{cm} = 0.2\text{m}$  و  $q = 2\mu c = 2 \times 10^{-6}\text{C}$  است.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

از این جا

$$V = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2 \frac{2 \times 10^{-6}\text{C}}{0.20\text{m}} = 90000\text{V}$$

## 6-5: خازن

هر خازن متشکل از دو هادی می‌باشد که توسط یک عایق از همدیگر جدا شده می‌باشد. خازن می‌تواند یک اندازه چارج ذخیره نماید و در وقت ضرورت آن را به سرکت بدهد. این که خازن یک اندازه چارج ذخیره می‌نماید پس هر خازن یک ظرفیت دارد و این که ظرفیت چیست آن را قرار ذیل مطالعه می‌نماییم.

### 6-5-1: مفهوم ظرفیت

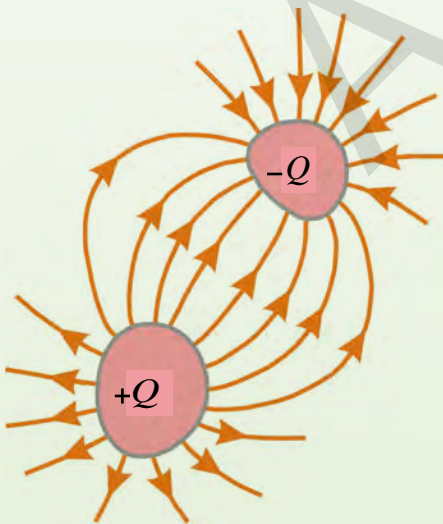
دو هادی را در نظر می‌گیریم که دارای چارج‌های مساوی و مختلف علامه باشند، چنانچه در شکل (6-14) نشان داده شده است. این نوع ساختمان دو هادی را خازن گویند. هادی‌ها را به نام لوحه‌ها یاد می‌کنند. در هادی به سبب ذخیره شدن چارج‌ها بین آن‌ها تفاوت پتانسیل  $\Delta V$  به وجود می‌آید تجربه نشان می‌دهد، مقدار چارج  $Q$  که بالای خازن ذخیره می‌شود متناسب به تفاوت پتانسیل بین هادی‌ها می‌باشد، یعنی:

$$Q = C \cdot \Delta V$$

تناسب مربوط به شکل هادی‌ها و فاصله بین شان ثابت می‌باشد.

این رابطه را می‌توانیم چنین بنویسیم:

در این جا  $C$  را ظرفیت خازن گویند و چنین تعریف می‌شود:



شکل (6-14)



نسبت چارج هرهادی بر تفاوت پوتانشیل بین هادی‌ها به‌حیث ظرفیت خازن تعریف شده است.

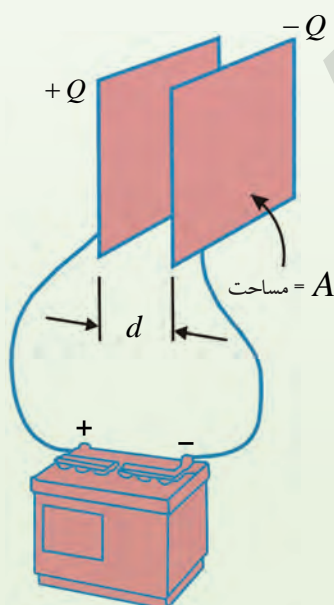
$$c = \frac{Q}{\Delta v} \dots\dots\dots (1)$$

گفتنی است که به اساس تعریف، ظرفیت همیشه یک کمیت مثبت است. برعلاوه در رابطه فوق (1) چارج و تفاوت پوتانشیل همیشه کمیت‌های مثبت می‌باشند.

چون تفاوت پوتانشیل به نسبت چارج ذخیره شده به‌طور خطی تزايد می‌نماید، پس نسبت  $\frac{Q}{\Delta v}$  برای یک خازن معین ثابت است. بنابراین ظرفیت خازن عبارت از قابلیت مقدار ذخیره کردن چارج می‌باشد. از رابطه فوق (1) می‌بینیم که واحد ظرفیت در سیستم SI کولمب برولت است که به‌نام فاراد (Farad) یاد می‌شود، که نام عالم انگلیسی مایکل فاراد می‌باشد.

فاراد واحد خیلی بزرگ ظرفیت است. در عمل ظرفیت آل‌های معمولی از میکروفاراد الی پیکوفاراد ( $10^{-12} F$ ) می‌باشد. ما برای میکروفاراد سمبول  $\mu F$  را به‌کار می‌بریم و برای پیکوفاراد pF را می‌نویسیم.

## 2-5-6: خازن لوحه‌های موازی



شکل (6-15)

مطابق شکل (6-15) دو لوحه موازی فلزی را در نظر می‌گیریم که دارای مساحت A و فاصله بین شان d باشد. یک لوحه دارای چارج +Q و لوحه دیگر آن دارای چارج -Q می‌باشد. حال مطالعه می‌نماییم که ساختمان هندسی این هادی‌ها در ذخیره کردن چارج چه اثر دارد.

برای این مقصد خازن لوحه‌های موازی را با بتری وصل می‌کنیم. و یک مرتبه دیگر یادآور می‌شویم که چارج‌های هم علامه یک‌دیگر را دفع می‌نمایند.

وقتی که لوحه‌های خازن به بتری وصل گردید، خازن به چارج شدن آغاز می‌نماید، الکترون‌ها به آن لوحه‌یی جاری می‌شود که به انجام منفی بتری وصل است و از آن لوحه‌یی خارج می‌شود که به انجام مثبت بتری اتصال دارد. به هر اندازه که مساحت لوحه‌ها زیاد باشد، در تفاوت پوتانشیل معین بالای یک لوحه مقدار چارج ذخیره شده

نیز زیاد می‌باشد. بنا بر آن گفته می‌توانیم که ظرفیت با مساحت لوحه‌ها ( $A$ ) متناسب است، یعنی: ( $C \sim A$ )

حال فاصله‌ی را در نظر می‌گیریم که لوحه‌ها را از همدیگر جدا می‌سازد. هر گاه تفاوت پتانسیل بین انجام‌های باتری ثابت باشد، پس زمانی که  $d$  کاهش می‌یابد باید ساحت برقی بین لوحه‌ها زیاد گردد. فرض می‌نماییم که ما لوحه‌ها را با یک‌دیگر نزدیک می‌کنیم و حالت قبلی چارج را مطالعه می‌نمایم که می‌تواند در مقابل این تغییر حرکت نماید. چون هیچ چارج حرکت نمی‌کند، ساحت برقی بین لوحه‌ها دارای عین قیمت می‌باشد، مگر نسبت به حالت قبلی در فاصله کوتاه‌تر امتداد میداشته باشد. بنابر این تفاوت پتانسیل بین لوحه‌ها، نسبت به قبل کوچک می‌شود. حال تفاوت پتانسیل بین انجام‌های سیم‌های که باتری را با خازن وصل می‌نماید، به‌حیث تفاوت بین ولت‌یج این خازن جدید و ولت‌یج انجام‌های باتری وجود دارد. به سبب این تفاوت پتانسیل در سیم‌ها ساحت برقی به‌وجود می‌آید که چارج‌های بیشتر را به طرف لوحه‌ها انتقال می‌دهد و بین لوحه‌ها سبب از دیاد تفاوت پتانسیل می‌گردد. زمانی که تفاوت پتانسیل بین لوحه‌ها به اندازه باتری گردد، تفاوت پتانسیل بین سیم‌ها صفر می‌شود و جریان چارج‌ها توقف می‌نماید. بنابراین بانزدیک کردن لوحه‌ها بالای خازن، چارج تزاید می‌نماید. هر گاه  $d$  زیاد گردد، چارج کاسته می‌شود. در نتیجه گفته می‌توانیم که ظرفیت خازن لوحه‌های موازی با  $d$  رابطه معکوس دارد، یعنی:  $c \sim \frac{1}{d}$

اگر بین دو لوحه خازن خلا باشد، ظرفیت خازن لوحه‌های موازی از رابطه  $c = \epsilon_0 \frac{A}{d}$  حاصل می‌گردد: در این رابطه،  $\epsilon_0$  ضریب نفوذ برقی در خلا است.

در این جا  $A$  به متر مربع،  $d$  به متر و  $c$  توسط فاراد اندازه می‌شود. اگر فضای بین دو لوحه‌های خازن موازی، توسط عایق (دای الکتریک) مانند شیشه یا پارافین مملو گردد، ظرفیت خازن تزاید می‌نماید. در این حالت ظرفیت خازن از رابطه ذیل حاصل می‌شود.

$$c = k \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

در این رابطه  $k$  یک کمیت بدون بعد است که آن را ثابت عایق گویند. ثابت عایق مربوط به عایق می‌باشد. اگر بین دو لوحه خلا باشد  $K=1$  است.

**مثال:** یک خازن لوحه‌های موازی را با یک باتری که دارای تفاوت پتانسیل  $24V$  است وصل می‌نماییم. هر گاه بالای لوحه‌های خازن  $120\mu c$  چارج ذخیره شود، ظرفیت خازن را حساب



نمائید. اگر خازن در انجام‌های بتری وصل گردد که دارای تفاوت پوتانشیل  $36v$  باشد، مقدار

$$c = \frac{1.2 \times 10^{-4} c}{24 v}$$

چارج ذخیره شده در آن چند خواهد شد؟

**حل:** با استفاده از رابطه  $c = \frac{q}{\Delta v}$  داریم که:

$$c = 5 \times 10^{-6} F = 5 \mu F$$

رابطه فوق را می‌توانیم به شکل  $q = c.v$  بنویسیم. و با استفاده از این رابطه داریم که:

$$q = 5 \times 36 = 180 \mu c$$

**مثال:** یک خازن لوحه‌های موازی را به فاصله  $1.5 \times 10^{-3} m$  در نظر بگیرید که دارای شکل مستطیل بوده، طول آن  $60cm$  و عرض آن  $20cm$  باشد. اگر فضای بین لوحه‌های این خازن مملو از ماده عایقی باشد که دارای ثابت عایق  $10$  باشد. ظرفیت این خازن را محاسبه نمایید.

$$\epsilon_o \approx 9 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$$

**حل:** با استفاده از رابطه  $c = k \epsilon_o \frac{A}{d}$  داریم که:

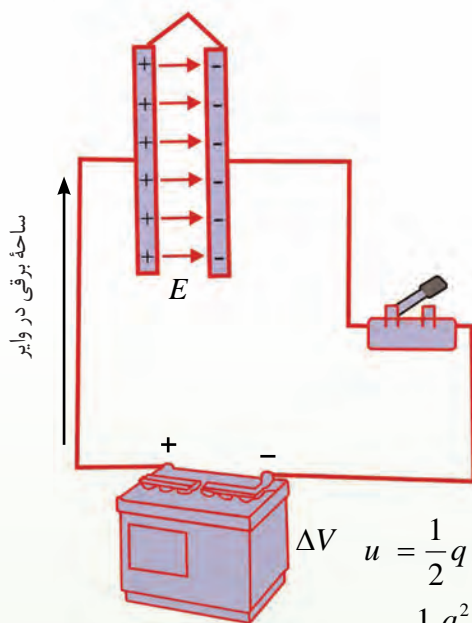
$$c = 10 \times 9 \times 10^{-12} \times \frac{20 \times 60 \times 10^{-4}}{1.5 \times 10^{-3}}$$

$$c = 7.2 \times 10^{-9} F = 7.2 nF$$

### 3-5-6: انرژی یک خازن چارج دار

شکل (6-16) بتری را نشان می‌دهد که در یک سرکت با یک خازن لوحه‌های موازی از طریق یک سویچ وصل گردیده است. وقتی که سویچ وصل گردد، بتری در سیم‌ها ساحتی برقی را تولید می‌نماید و بین سیم‌ها و خازن، چارج‌ها به حرکت می‌افتد. زمانی که این حالت واقع می‌شود در داخل سیستم، انرژی انتقال می‌گردد. قبل از این که سویچ وصل گردد این انرژی به شکل انرژی کیمیای در بتری ذخیره می‌باشد. این انرژی زمانی انتقال می‌گردد که بتری در سرکت در حال فعالیت باشد و در داخل بتری تعامل کیمیای صورت بگیرد. وقتی که سویچ وصل شود، یک اندازه انرژی کیمیای بتری به انرژی پوتانشیل برقی دارای چارج‌های مثبت و منفی مربوط بالای لوحه‌ها تبدیل می‌گردد. در نتیجه گفته می‌توانیم که





شکل (6-16)

بر علاوه چارج، انرژی نیز ذخیره می‌کند. در حقیقت همان انرژی را که بتری برای چارج کردن خازن به مصرف می‌رساند، در خازن به شکل انرژی پوتانشیل برقی ذخیره می‌شود. خازن این انرژی را در یک سرکت در ضمن از دست دادن چارج، ضایع می‌کند. انرژی ذخیره شده خازن را می‌توانیم توسط رابطه ذیل محاسبه نماییم.

$$\Delta V \quad u = \frac{1}{2} q \quad v = \frac{1}{2} cv^2 = \frac{1}{2} c \frac{q^2}{c}$$

$$u = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c}$$

**مثال:** خازنی را که دارای ظرفیت  $6 \times 10^{-6} F$

است با ولتج 200 ولت وصل می‌کنیم. چارج و انرژی ذخیره شده را در خازن محاسبه نمایید.

$$q = c v$$

$$q = 6 \times 10^{-6} \times 200$$

$$q = 1.2 \times 10^{-3} c = 1.2 m c$$

$$u = \frac{1}{2} q v$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.2 \times 10^{-3} \times 200 = 0.12 J$$

**حل:** با استفاده از روابطه  $(14-1)(17-1)$  داریم که:

#### 4-5-6: اتصال خازن‌ها:

گاه گاه حالتی رخ می‌دهد که در یک سرکت باید از یک ظرفیت معین استفاده نماییم، مگر آن‌را به دسترس نداریم. در این حالت می‌توانیم خازن‌ها را با یکدیگر وصل نموده و ظرفیت مورد نیاز را حاصل نماییم. هم‌چنان می‌توانیم در یک سرکت عوض چندین خازن از یک خازن استفاده نماییم. این یک دانه خازن را خازن معادل و ظرفیت آن‌را ظرفیت معادل گویند. ظرفیت معادل چندین خازن، مساوی به ظرفیت این خازن است.

هر گاه در سرکت یک خازن به عوض چند خازن گذاشته شود و به آن ولتیج وصل گردد که چند خازن به آن وصل بوده اند، در این صورت انرژی ذخیره شده در این خازن مساوی به انرژی ذخیره شده در مجموعه چندین خازن می‌باشد. خازن‌ها یا به صورت موازی یا مسلسل با یکدیگر وصل شده می‌توانند.

## الف) اتصال موازی خازن‌ها

اگر خازن‌های  $C_1, C_2$  و ..... مطابق شکل (6-17) با یک‌دیگر وصل شوند، گفته می‌شود که خازن‌ها به صورت موازی با هم وصل‌اند. اگر در انجام‌های این مجموعه خازن‌ها ولتیج تطبیق گردد، تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر یک از خازن‌ها خواهد بود. مقدار چارج برقی بالای هر خازن عبارت است از:

$$q_1 = c_1 v$$

$$q_2 = c_2 v$$

$$q_3 = c_3 v$$

مقدار چارج ذخیره شده بالای تمام خازن‌ها مساوی است به :

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

اگر یک خازن معادل با ظرفیت  $C_{eq}$  با همین ولتیج وصل گردد. چارج ذخیره شده بالای آن  $q = C_{eq} v$  است. در نتیجه داریم که :

$$q = c_{eq} v$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = c_{eq} v$$

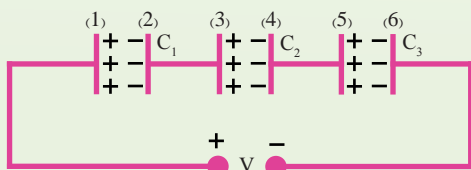
$$(c_1 + c_2 + c_3) v = c_{eq} v$$

$$c_{eq} = c_1 + c_2 + c_3$$

ظرفیت معادل یک ترکیب خازن‌های موازی، مساوی به مجموعه ظرفیت‌های همه خازن‌ها بوده و از ظرفیت هر خازن جدا گانه بیشتر می‌باشد.

## ب) اتصال مسلسل خازن‌ها

در شکل (6-18) ذیل سه خازن به صورت مسلسل با یک‌دیگر وصل گردیده‌اند. هر گاه یک اتصال مسلسل خازن‌ها به یک ولتیج وصل گردد، دیده می‌شود که هیچ کدام از این خازن‌ها به طور مستقل با ولتیج  $v$  وصل نمی‌باشد.



شکل (6-18)

اگر بالای لوحه (1) چارج  $q$  + ذخیره شود، بالای لوحه (2)، چارج  $q$  - القأ می‌گردد. بنابر این بالای لوحه (3)، چارج  $q$  + ذخیره می‌شود. به این ترتیب چارج هر خازن با  $q$  برابر است. هم‌چنان چارج ذخیره شده بالای مجموعه خازن‌ها نیز  $q$  می‌باشد. اگر ولت‌یج خازن‌ها به ترتیب،  $v_1$ ،  $v_2$  و  $v_3$  باشد، ولت‌یج انجام‌های سرکت مساوی به مجموعه ولت‌یج‌های انجام‌های خازن‌ها می‌باشد.

$$v = v_1 + v_2 + v_3$$

اگر عوض  $v_1$ ،  $v_2$  و ..... قیمت‌های مساوی آن‌ها را از رابطه  $v_1 = \frac{q}{c_1}$ ،  $v_2 = \frac{q}{c_2}$  وضع نماییم، نتیجه می‌شود که:

$$v = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$

اگر  $C_{eq}$  ظرفیت معادل باشد، زمانی که با ولت‌یج  $v$  وصل گردد، چارج آن نیز مساوی به  $q$  خواهد بود. و در نتیجه چون  $v = \frac{q}{C_{eq}}$  است. با وضع کردن  $\frac{q}{C_{eq}}$  به عوض  $v$  نتیجه می‌شود که:

$$\frac{q}{C_{eq}} = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$

و یا:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}$$

بنابراین، هر گاه خازن‌ها با یک‌دیگر به صورت مسلسل وصل شوند، چارج هر خازن مساوی به چارج خازن معادل آن‌ها و معکوس ظرفیت معادل مساوی به حاصل جمع معکوس ظرفیت‌های هر خازن می‌باشد. ظرفیت معادل از کو چک‌ترین ظرفیت آن‌ها هم کو چک‌تر است.

**مثال:** در انجام‌های یک مجموعه سه خازن که دارای ظرفیت‌های  $3\mu F$ ،  $6\mu F$  و  $2\mu F$  اند و به صورت مسلسل با همدیگر وصل اند، ولت‌یج  $150v$  را تطبیق می‌نماییم.

الف: ظرفیت خازن معادل را در یافت نمایید.

ب: چارج هر خازن را حساب نمایید.

ج: ولت‌یج انجام‌های هر خازن را محاسبه نمایید.



**حل:** با استفاده از رابطه زیر داریم که:

$$\begin{aligned}\frac{1}{C_{eg}} &= \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} \\ \frac{1}{C_{eg}} &= \frac{1}{6\mu F} + \frac{1}{3\mu F} + \frac{1}{2\mu F} \\ \frac{1}{C_{eg}} &= \frac{1+2+3}{6\mu F} = \frac{6}{6\mu F} = \frac{1}{1\mu F} \\ C_{eg} &= 1\mu F\end{aligned}$$

ب: چارج برقی هر خازن مساوی با چارج خازن معادل است.

$$\begin{aligned}q &= c v \\ q &= 1 \times 150 = 150\mu c \\ q_1 &= q_2 = q_3 = q = 150\mu c\end{aligned}$$

ج: با استفاده از رابطه  $q = cv$  داریم که:

$$\begin{aligned}v &= \frac{q}{c} \\ v_1 &= \frac{150}{6} = 25v \\ v_2 &= \frac{150}{3} = 50v \\ v_3 &= \frac{150}{2} = 75v\end{aligned}$$

ممکن است در یک سرکت، خازن به صورت مغلق با هم وصل گردیده باشند. در این حالت می توانیم با استفاده از ترکیب موازی و مسلسل خازن ها، ظرفیت های خازن ها را محاسبه کرده و سرکت را ساده نماییم و در نتیجه ظرفیت معادل را حاصل کنیم.



## خلاصه فصل

- چارج‌های هم علامه یک‌دیگر را دفع و چارج‌های با علامه‌های مختلف یک‌دیگر را جذب می‌نمایند.
- قانون کولمب بیان می‌کند که قوه جذب یا دفع بین دو ذره چارج دار و با حاصل ضرب چارج‌های هر دو ذره رابطه مستقیم و با مربع فاصله بین ذرات رابطه معکوس دارد، یعنی:

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

و یا:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

در این جا  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_o}$  ثابت تناسب است.

- در هر نقطه فضا قوه برقی وارده بالای یک چارج واحد مثبت به نام ساحة برقی در همان نقطه

$$E = \frac{F}{q}$$

یاد می‌شود یعنی:

- خطوط ساحة برقی در یک قسمت فضا ساحة برقی را به وجود می‌آورد. تعداد خطوطی که از واحد مساحت سطح عمود بالای خطوط عبور می‌کند در همان قسمت متناسب به مقدار  $E$  می‌باشد.

- هر گاه چارج  $q$  در بین ساحة برقی  $E$  بین نقاط  $A$  و  $B$  حرکت نماید، تغییر انرژی پوتانشیل

$$\Delta u = -q E \cdot \Delta s$$

چارج عبارت است از:

- پوتانشیل  $v = \frac{u}{q}$  یک کمیت مقیاسی است و دارای واحد  $\frac{J}{C}$  می‌باشد. در حالی که  $1 \frac{J}{C} = 1v$  است.





• در بین یک ساحتی برقی E بین نقاط A و B تفاوت پتانسیل  $\Delta v$  طور ذیل تعریف می‌شود:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} = -E d \quad \text{در این جا } d = |\vec{s}| \text{ است.}$$

• خازن عبارت از ساختمان دوهادی است که مقدار چارج‌های مساوی و مختلف علامه را انتقال می‌دهد.

• نسبت چارج هر هادی خازن بالای تفاوت پتانسیل (انرژی ذخیره وی) بین‌هادی خازن عبارت از ظرفیت خازن می‌باشد یعنی:

$$C = \frac{q}{\Delta v}$$

واحد ظرفیت در سیستم SI، کولمب بر ولت یا فاراد (F) است،  $1F = 1 \frac{C}{V}$ .

• هر گاه دو یا بیشتر خازن‌ها به‌طور موازی باهم وصل گردیده باشند، لوحه‌های تمامی آن‌ها دارای عین تفاوت پتانسیل می‌باشد. ظرفیت معادل ترکیب موازی خازن‌ها عبارت است از:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

• اگر دو یا بیشتر خازن‌ها به‌طور مسلسل وصل گردیده باشند، تمام خازن‌ها دارای عین مقدار چارج می‌باشند و ظرفیت معادل ترکیب مسلسل خازن‌ها عبارت است از:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

• انرژی ذخیره شده در یک خازن معادل به انرژی است که در عملیه چارج شدن خازن، چارج‌ها از هادی با پتانسیل پایین به هادی به پتانسیل بلند انتقال می‌نماید. در خازنی که دارای چارج باشد، انرژی ذخیره شده عبارت است از:

$$u = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \cdot \Delta v = \frac{1}{2} C v^2$$



## سوالات اخير فصل

1. شما يك ميلۀ هادی كه دارای چارج منفی است و يك کرۀ هادی بدون چارج را كه بالای يك پایۀ عایق گذاشته شده است در اختیار خود دارید. با ترسیم شكل نشان دهید كه چگونه می توانیم:

الف: کره را مثبت چارج نماییم.

ب: کره را منفی چارج نماییم.

2. دو جسم بدون چارج را چگونه می توانیم چارج دار سازیم.

3. اگر فاصله بین چارج نقطه‌یی نصف گردد بالای قوه بین آنها چه واقع می شود؟

4. دو چارج نقطه‌یی  $+9\mu\text{C}$  و  $-5\mu\text{C}$  به فاصله  $50\text{cm}$  از یکدیگر قرار دارند. قوه جاذبه‌یی را در یافت نمائید كه هر کدام بالای دیگری وارد می نماید.

5. فاصله بین دو الكترون را در حالی در یافت نمائید كه قوه بین آنها برابر با وزن يك الكترون باشد.

6. دو چارج  $+2 \times 10^{-7}\text{C}$  و  $-5 \times 10^{-6}\text{C}$  به فاصله  $50\text{cm}$  از همدیگر قرار دارند. نقطه‌یی را در یافت نمائید كه در آن ساحة تولید شده توسط چارچ‌های متذكره صفر باشد.

7. دو لوحۀ فلزی به فاصله  $0.3\text{cm}$  از یکدیگر قرار دارند. آنها با بتری  $9\text{V}$  وصل

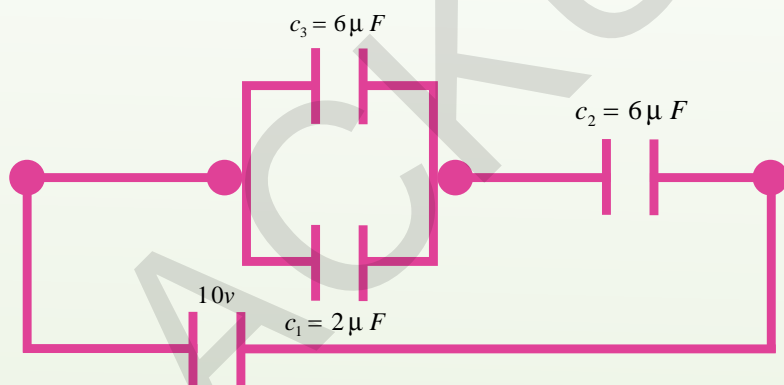


گردیده است. ساحتی برقی را بین لوحه‌ها در یافت نمایید.

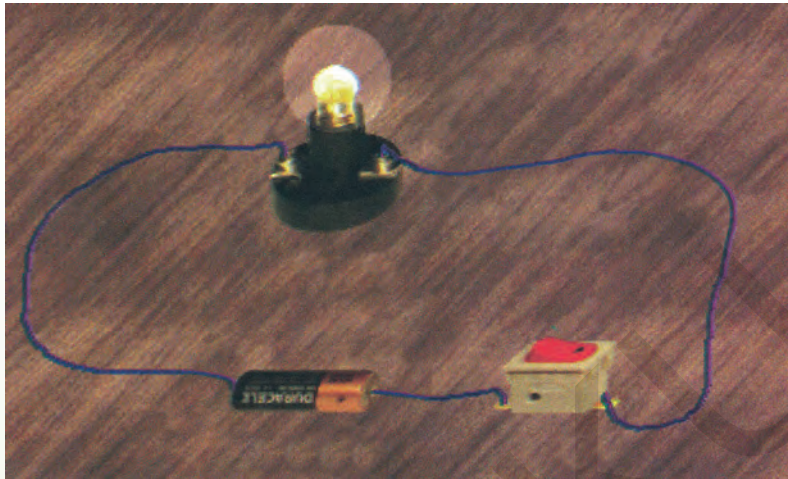
8. به یک خازن که دارای ظرفیت  $25\mu F$  است، ولت‌یج  $1000V$  را تطبیق می‌نماییم. چارج را بالای خازن محاسبه نمایید.

9. یک خازن که دارای ظرفیت  $12\mu F$  است تازمانی چارج می‌شود که تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌های آن به  $250V$  برسد. انرژی ذخیره شده را در خازن در یافت نمایید.

10. شکل مقابل را در نظر بگیرید. ظرفیت معادل و چارج را بالای هر خازن در یافت نمایید.



## جریان برق و سرکت



در شکل فوق چه چیز را می‌بینید؟ واضح است که خواهید گفت، باتری، گروپ، سوئیچ ولین‌ها همین ترکیب را سرکت گویند. در حقیقت شما یک سرکت ساده

را می‌بینید. آیا شما فکر کرده اید که در سرکت گروپ چگونه روشن می‌شود؟ حتمی خواهید گفت که جریان برق در آن جاری می‌شود. جریان برق چیست؟ در مورد جریان برق بعداً در همین فصل بحث خواهد شد. شما توجه نمایید در داخل گروپ یک سیم کوچک فلز مانند وجود دارد که روشن می‌شود. این سیم عبارت از یک مقاومت است. بنابر این در مورد مقاومت، انواع مقاومت و ترکیب مقاومت‌ها در سرکت در همین فصل طور مفصل بحث می‌شود. شما می‌بینید وقتی که سوئیچ وصل گردد گروپ روشن می‌شود زیرا که در سرکت چارج‌ها جاری می‌گردد. جاری شدن چارج‌ها سبب روشن شدن گروپ می‌شود پس گفته می‌توانیم که سرکت برقی مسیری است که چارج‌ها در آن جاری می‌شود. در شکل فوق مسیری از یک انجام (ترمینل) باتری از طریق عناصر شامل سرکت تا انجام (ترمینل) دیگر باتری را مسیر مکمل گویند، والکترون‌ها از یک انجام باتری الی انجام دیگر آن از همین طریق حرکت می‌نمایند و گروپ را روشن می‌کند. یعنی مسیر حرکت الکترون‌ها باید یک حلقه بسته باشد. این حلقه بسته را سرکت گویند. اگر در سرکت سوئیچ را باز نمایید، آیا گروپ روشن می‌شود؟ نه خیر، زیرا در این حالت چارج جاری نشده و جریان وجود ندارد. این حالت را سرکت باز گویند و در صورت سرکت باز گروپ روشن نمی‌شود.

هرگاه از سرکت بتری را بردارید آیا گروپ روشن باقی می ماند؟ واضح است که خیر. از این جا معلوم می شود که بتری درانجام های مقاومت تفاوت

پوتانشیل را به وجود می آورد و بالای الکترون قوه وارد نموده و آن ها را در سرکت به حرکت می اندازد که این را قوه محرکه برقی می گویند. در مورد قوه محرکه برقی بعداً در همین فصل بحث صورت خواهد گرفت. هر سرکت توسط یک فورمول تدوین می گردد و کار می کند بنابراین لازم است که برای یک سرکت معادله آن را بشناسیم که به نام معادله سرکت یاد می شود. این موضوع نیز در همین فصل مطالعه خواهد شد. هر گاه در یک سرکت ترکیب مقاومت ها و منابع یک سرکت مغلق را تشکیل



بدهد آن را چگونه می توانیم حل نماییم؟ برای حل سرکت مغلق از قانون اول و دوم کرشهوف استفاده می گردد. در مورد این قوانین نیز در همین فصل بحث می شود. هم چنان بعضی تجارب مثال ها و سوالات حل شده نیز در همین فصل گنجانیده شده است.

سرکت فوق توسط دیاگرام ذیل نیز نشان داده می شود. در آن بتری توسط دو خط موازی مگر قطب مثبت بتری توسط خط طویل و قطب منفی آن توسط خط کوتاه نشان داده می شود. سوچ و گروپ نیز با سمبول های مربوط نشان داده می شود. قبلاً ذکر گردید که گروپ توسط جاری شدن جریان برق روشن می گردد، این که جریان چیست، طور ذیل مطالعه می گردد.

## 7-1: جریان برق

دو ظرفی را در نظر بگیرید که توسط یک نل باهم وصل شده باشند، طوری که یک ظرف در محل بلند و ظرف دیگر نسبت به آن پایین تر گذاشته باشد. اگر در ظرفی که بلند گذاشته شده است آب بریزید، آب به ظرفی که پایین گذاشته شده است جاری خواهد شد. چرا؟ زیرا که تفاوت ارتفاع بین دو ظرف در حقیقت تفاوت انرژی پوتانشیل بین دو ظرف را نشان می دهد و سبب جاری شدن آب می گردد. به عین ترتیب اگر در انجام های یک هادی تفاوت پوتانشیل برقی تطبیق گردد که این تفاوت توسط بتری یا منبع دیگری تهیه می گردد، از هادی چارج های برقی عبور می نماید. اگر در این حالت یک مقطع عرضی هادی در نظر گرفته شود، در زمان  $t$



از این مقطع چارج  $q$  عبور می‌نماید عبور چارج‌های برقی از هر مقطع عرضی یک‌هادی عبارت از جریان برق می‌باشد. و آن را توسط حرف  $I$  نشان می‌دهند یعنی:  $I = \frac{q}{t}$   
 واحد جریان برق امپیر است و توسط نشان داده می‌شود. مطابق قرار داد جهت مثبت جریان در یک سرکت از قطب مثبت به طرف قطب منفی قبول گردیده است. برای اندازه کردن جریان برق از امپیر متر استفاده می‌شود که در سرکت به صورت مسلسل وصل می‌گردد.

### مثال:

در یک سرکت  $1.2A$  جریان برق جاری است. در ظرف نیم دقیقه از مقطع عرضی سرکت چند کولمب چارج برقی عبور می‌نماید.

**حل:** چارج برقی متحرک را می‌توانیم از رابطه  $I = \frac{q}{t}$  محاسبه نماییم.

$$I = 1.2 A : \quad t = 0.5 s \times 60 = 30 s : \quad q = ?$$

$$q = I.t = 1.2 A \times 30 s = 36 \text{ cau } 1$$

برای بیان قانون تحفظ چارج تجربه ذیل را انجام می‌دهیم:

### تجربه:

مواد مورد ضرورت:

- باتری 1.5 ولت دو عدد، گروپ 1.5 ولت دو عدد، امپیرمتر یک دانه، سویچ، سیم‌های اتصالی.

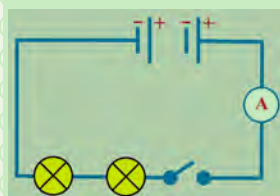
### طرز العمل:

- سرکت را مطابق شکل (2-7)

الف) وصل نمایید.

- سویچ را وصل نموده و جریان را از امپیرمتر بخوانید.

- محل امپیرمتر را مطابق شکل (2-7 ب) تغییر دهید و جریانی را که نشان می‌دهد آن را بنویسید. شما خواهید دید که امپیرمتر



(الف)



(ب)



شکل (2-7)

در هر دو محل عین جریان را نشان می‌دهد و هم‌چنان نتیجه می‌شود که چارج در یک سرکت نه به‌وجود می‌آید و نه هم از بین می‌رود و تعریف جریان برق نیز نشان می‌دهد که هر مقدار چارجی وارد هر مقطع عرضی سرکت می‌شود همان مقدار از مقطع عرضی متذکره خارج می‌گردد. بنابراین امپیرمتر در هر محل سرکت عین جریان را نشان می‌دهد.

### سوال:

آیا شما در ازدحام شهر عقب کاری مهمی به عجله رفته اید؟ اگر این کار را کرده باشید پس در وقت رفت و آمد حتماً با مردم دیگر تصادم هم کرده اید واضح است که در هر تصادم در سرعت حرکت شما کاهش به‌وجود می‌آید و انرژی تان کم می‌شود و احساس گرمی می‌نمایید و اجرای کار مهم سبب می‌شود که سرعت حرکت تان را دوباره زیاد نمایید.

به نظر شما بین حرکت چارج‌های و حرکت یک شخص در ازدحام شباهت وجود دارد؟

در ازدحام مقابل حرکت یک شخص یک نوع مقاومت وجود دارد که سرعت و انرژی شخص را کاهش می‌دهد. و در‌هادی در مقابل حرکت الکترون‌ها اتوم‌ها و مالیکول‌های هادی اند که الکترون‌ها با ایشان تصادم کرده و انرژی خود را از دست می‌دهد.



## تجربه:

### مواد مورد ضرورت:

- باتری 1.5 ولت دو عدد، گروپ 1.5 ولت دو عدد، امپیرمتر یک دانه، سویچ، سیم‌های  
اتصال به اندازه ضرورت

## طرز العمل:

- 1 - باتری ولت، یک دانه گروپ 1.5 ولت و امپیرمتر را مطابق شکل (الف 3-7) وصل نمایید.
- 2 - سویچ را وصل نمایید و قسمتی را که امپیرمتر نشان می‌دهد آنرا یادداشت نمایید.
- 3 - سویچ را قطع نموده و هر دو گروپ را مطابق شکل (ب 3-7) وصل نمایید.
- 4 - سویچ را وصل نموده و قسمتی را که امپیرمتر نشان می‌دهد یادداشت نمایید.



(ب)



(الف)

شکل (3-7)

## نتیجه:

با انجام دادن تجربه دوم چنین نتیجه می‌گیریم که روشنی گروپ نسبت به تجربه اول  
کاهش می‌یابد.

## سوالات:

- 1 - چگونه می‌توانید گروپ را روشن سازید؟
- 2 - اگر سویچ را قطع نمایید گروپ روشن باقی می‌ماند؟
- 3 - عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌نماید به نام چه یاد می‌شود؟



## 7-2: مقاومت

هر گاه انجام‌های یک‌هادی به یک بتری (منبع) وصل گردد. در انجام‌های هادی تفاوت پوتانشیل به وجود می‌آید. در نتیجه تطبیق تفاوت پوتانشیل چارج‌های برقی انرژی حاصل کرده و به حرکت آغاز می‌نماید. این چارج‌های متحرک در مسیر خود با اتم‌های هادی که در اطراف نقطه تعادل خود در حال اهتزاز می‌باشند تصادم کرده و یک قسمت انرژی خود را از دست می‌دهد. و سبب می‌شود که درجه حرارت هادی بلند برود. حرکت چارج‌ها در هادی مشابه به حرکت یک شخص در ازدحام می‌باشد. زیرا گفته می‌توانیم که هادی دارای مقاومت برقی است.

یعنی جلوگیری از حرکت چارج‌ها در بین هادی عبارت از مقاومت برقی می‌باشد. مقاومت برقی را توسط  $R$  نشان می‌دهد. واحد مقاومت برقی اوم است و توسط علامه  $(\Omega)$  نشان داده می‌شود. این جریان برقی است که به سبب تفاوت پوتانشیل به وجود آمده و گروپ را روشن می‌نماید. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به نام لود (مصرف کننده) یاد می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که تفاوت پوتانشیل در انجام‌های یک پارچه هادی مستقیم متناسب با جریان می‌باشد یعنی:

$$\Delta v \sim I$$

$$\Delta v = RI$$

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در این جا  $R$  ثابت تناسب و مقاومت هادی است و قیمت آن تابع طبیعت، ابعاد و حالت فیزیکی هادی می‌باشد. رابطه فوق به طور ساده تعریف مقاومت است و رابطه بین ولتج، جریان برق و مقاومت را تشکیل می‌دهد. اوم که واحد مقاومت است طور ذیل تعریف می‌گردد. هر گاه در انجام‌های یک‌هادی تفاوت پوتانشیل یک ولت تطبیق گردد و در آن جریان یک امپیر جاری شود هادی نامبرده دارای مقاومت یک اوم می‌باشد. اگر  $I$  به امپیر و به ولت اندازه شود،  $R$  به اوم ( $\text{Ohm}$ ) اندازه می‌گردد. اگر  $L$  طول وایر و مقطع آن باشد، مقاومت هادی است به:

$$R \sim \frac{L}{A}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$



در این جا  $\rho$  ثابت تناسب است که به نام مقاومت مخصوصه یاد می شود و قیمت تابع ماده است که وایر از آن ساخته شده است. چون  $\rho = R \frac{A}{L}$  است بنابراین واحد مقاومت مخصوصه اوم متر  $Ohm \times m$  داست. گاه گاه برای توضیح خاصیت برقی یک ماده کمیتی دیگری به کار بره می شود که به نام هدایت مخصوصه یاد می شود. هدایت مخصوصه معکوس مقاومت مخصوصه است یعنی  $\delta = \frac{1}{\rho}$  هدایت مخصوصه را نشان می دهد.

### مثال:

در انجام های یک گروپ تفاوت پوتانشیل  $220v$  تطبیق شده است. اگر شدت جریان در گروپ  $0.44A$  باشد، مقاومت برقی گروپ را در یافت نمایید.

### حل:

$$V = 220v \cdot I = 0.44A \cdot R = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220v}{0.44A} = 500\Omega$$

## سوالات:

1- دریک سرکت از مقاومت برای چه استفاده می نمایند؟

## 1-2-7: انواع مقاومت ها

مقاومت ها که به نام عناصر سرکت یاد می شوند در بسیاری از سرکت های برقی جهت کنترل اندازه جریان برق قسمت های مختلف سرکت به کار برده می شود. مقاومت های عادی به دو نوع اند: یکی آن مقاومت ترکیبی است که دارای کاربن می باشد. و دیگر آن مقاومت وایر پیچده شده است قیمت های مقاومت ها توسط  $Ohm$  به صورت نورمال توسط رنگ ها نیز مشخص می شود چنان چه در جدول نشان داده شده است.

### جدول رنگ های که نشان دهنده قیمت های مقاومت ها است

رنگ	عدد	ضریب	خط
سیاه	0	$1 = 10^0$	
نصواری	1	$10^1$	
سرخ	2	$10^2$	
نارنجی	3	$10^3$	

	$10^4$	4	زرد
	$10^5$	5	سبز
	$10^6$	6	نیلی (Blue)
	$10^7$	7	بنفش
	$10^8$	8	خاکی (Gray)
	$10^9$	9	سفید
5%	$10^{-1}$		طلایی
10%	$10^{-2}$		نقره ای
20%			بیرنگ (Color less)

حال سوال این است که این مقاومت‌ها چگونه در یک سرکت وصل می‌شوند؟  
 نوت: روش خواندن این گونه مقاومت‌ها به تفصیل در شماره (6) درس مربوط کتاب راهنمای معلم وضاحت داده شده است.

## 2-2-7: اتصال مقاومت‌ها

فرض نمایید که با صدا در آوردن زنگ مکتب رخصت شدید و می‌خواهید با هم صنفیان خود از صنف و بعداً با گذشتن از صحن مکتب از مکتب خارج شوید. شما دو راه دارید:

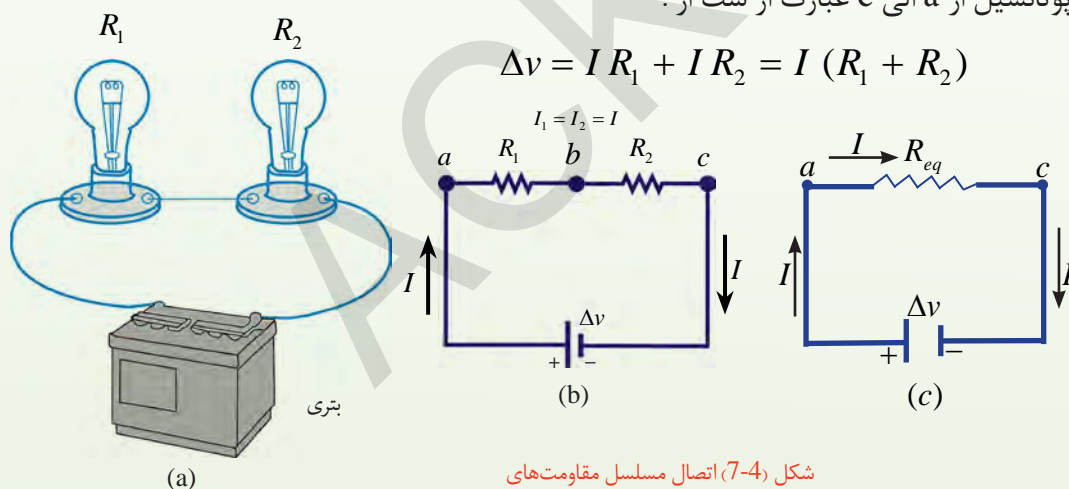
1 - می‌توانید از یک دروازه صنف خارج شوید و در صحن مکتب راهی را انتخاب نمایید که در آن گروه‌های زیادی از شاگردان یکی پی دیگری ایستاد باشند.

2 - هم‌صنفی‌های شما می‌توانند که بعد از خروج از صنف هر یک به طور انفرادی به خاطر عبور از صحن مکتب به راه‌های تقسیم شوند که در آن جا تنها یک یک گروه شاگردان ایستاد باشند.

در کدام حالت به وقت کمتر ضرورت است که شما با پیمودن صحن مکتب بیرون شوید؟  
 واضح است که پیمودن مسیری وقت کمتری را در برمی‌گیرد که در آن جا تنها یک یک گروه شاگردان ایستاده اند. می‌توانیم مسیری را که در آن گروه‌های پی در پی شاگردان ایستاده اند مقاومت‌های مسلسل و مسیری را که در آن تنها یک یک گروه شاگردان ایستاده اند



مقاومت‌های موازی بگوییم، از این تشبیه ساده می‌توانیم جریان برق را در سرکت‌های در یافت نماییم که دارای مقاومت‌های بیشتر باشند. اگر دو مقاومت ویا بیشتر از آن مطابق گروپ‌های شکل (7-4a) باهم وصل گردیده باشند آن‌را اتصال مسلسل گویند. شکل (7-4b) دیاگرام سرکتی را نشان می‌دهد که در آن گروپها مانند مقاومت‌ها با یک بتری وصل گردیده اند. اگر در یک اتصال مسلسل مقدرا چارج  $Q$  که از مقاومت  $R_1$  خارج گردد باید وارد مقاومت  $R_2$  گردد (این مشابه به حالتی است که هم صنفیان شما در صحن مکتب راهی را انتخاب کرده اند که در آن گروپ‌های زیاد شاگردان یکی پی دیگری ایستاده اند). به این سبب است که عین مقدار چارج از هر دو مقاومت در وقت معین عبور می‌نماید. بنابراین برای اتصال مسلسل دو مقاومت جریان در دو مقاومت دارای عین مقدار می‌باشد. زیرا مقدار چارجی که از مقاومت  $R_1$  عبور می‌نماید باید در عین زمان از مقاومت  $R_2$  نیز عبور نماید. تفاوت پوتانشیل تطبیق شده در انجام‌های اتصال مسلسل مقاومت بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شوند. در شکل (7-4b) تفاوت پوتانشیل از  $a$  الی  $b$  مساوی به  $R_1 I$  و تفاوت پوتانشیل از  $b$  الی  $c$  مساوی به  $R_2 I$  است. تفاوت پوتانشیل از  $a$  الی  $c$  عبارت از ست از :



شکل (7-4) اتصال مسلسل مقاومت‌های

- a- اتصال مسلسل مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  دیاگرام سرکتی با دو مقاومت.
- b- دیاگرام سرکتی با دو مقاومت. در  $R_{eq} = R_1 + R_2$  جریان عین قیمت را دارا است.
- c- یک مقاومت عوض دو مقاومت به‌کار برده شده است که دارای مقاومت معادل می‌باشد.  $R_g = R_1 + R_1$

تفاوت پوتانشیل بتری در انجام‌های مقاومت  $R_{eq}$  تطبیق می‌شود چنان‌چه در شکل (7-4c) نشان داده شده است.  $\Delta v = I R_{eq}$

در این جا می‌بینیم که مقاومت معادل بالای جریان عین اثری را دارد که در صورت دو مقاومت داشت. یعنی اگر  $R_{eq}$  به همین بتری وصل گردد عین جریان برق حاصل می‌شود. از ترکیب این دو معادله می‌توانیم عوض اتصال مسلسل این دو مقاومت یک مقاومت معادل که قیمت آن مساوی به مجموع قیمت‌های آن دو مقاومت باشد وصل نماییم.

$$\Delta v = I R_{eq} = I (R_1 + R_2)$$

$$R_{eq} = (R_1 + R_2)$$

مقاومت  $R_{eq}$  عبارت از مقاومت معادل ترکیب دو  $(R_1 + R_2)$  می‌باشد، زیرا اگر  $R_{eq}$  عوض  $R_1 + R_2$  گذاشته شود در سرکت جریان تغییر نمی‌کند. اگر سه مقاومت یا بیشتر از آن به صورت مسلسل وصل گردیده باشند مقاومت معادل آن عبارت است از:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که مقاومت معادل ترکیب مسلسل مقاومت‌ها عدداً مساوی به مجموع هر کدام از مقاومت‌ها می‌باشد. ترکیب مقاومت‌ها نسبت به هر کدام از مقاومت‌ها همیشه بزرگ‌تر می‌باشد.

قابل یاد آوری است که هر گاه در شکل فوق (7.4) فلمنت یک گروپ قطع گردد. بعد از این سرکت وصل نبوده بلکه یک سرکت باز می‌باشد. و گروپ دوم نیز خاموش می‌شود. این یک شکل عمومی سرکت مسلسل است. هر گاه در یک سرکت مسلسل یک آله از بین برود تمام آله‌ها از فعالیت باز می‌ماند.

### سوالات

1- فرض نمایید که در شکل (7.4) چارچ‌های مثبت اول از  $R_1$  و بعداً از  $R_2$  عبور می‌کنند. جریان برق در  $R_1$  به مقایسه جریان  $R_2$  :

a: کوچک است. b: بزرگ است. c: عین چیز است.

2- هر گاه در شکل (7.4) غرض اتصال نقاط b و c از یک وایر استفاده شود، آیا روشنایی گروپ  $R_1$  :

a: زیاد می‌شود. b: کم می‌شود. c: عین چیز باقی می‌ماند.



## سوال

1- سه مقاومت  $6.75\Omega$ ،  $15.3\Omega$  و  $21.6\Omega$  با باتری  $12V$  طور مسلسل وصل گردیده اند.

a- مقاومت معادل را محاسبه نمایید.

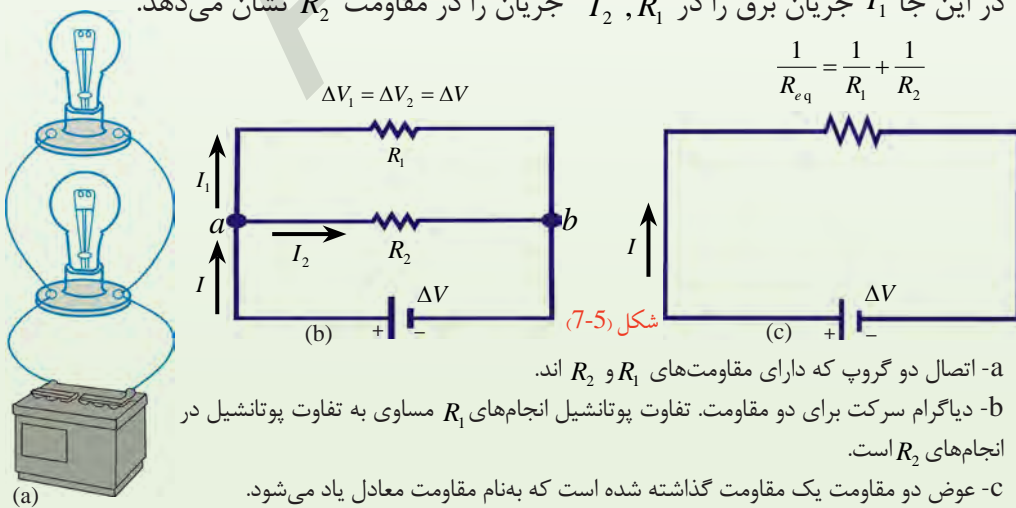
b- جریان را در سرکت معلوم نمایید.

حال دو مقاومت را در نظر می گیریم که به صورت موازی باهم وصل گردیده باشند چنانچه در شکل (7-5b) نشان داده شده است. وقتی که در شکل (7-5a) چارج به نقطه a که به نام نقطه انشعاب یاد می شود برسد. به دو قسمت جدا می شود. یک اندازه آن از طریق  $R_2$  و قسمت باقی مانده آن از طریق  $R_1$  عبور می نماید. در یک سرکت نقطه انشعاب عبارت از نقطه‌یی است که در آن جریان برق تقسیم می گردد (این حالت مشابه به حالتی است که هم صنفیان شما از صحن مکتب از راه‌های زیادی عبور می نمایند) این تقسیمات سبب می شود که جریان در هر مقاومت نسبت به آن کوچک تر است که از باتری منشأ می گیرد. و به اساس قانون تحفظ چارج جریان I که وارد نقطه a می شود باید مساوی جریانی باشد که از نقطه مذکور خارج می گردد، یعنی:

$$I = I_1 + I_2$$

در این جا  $I_1$  جریان برق را در  $R_1$ ،  $I_2$  جریان را در مقاومت  $R_2$  نشان می دهد.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



چنانچه در شکل (7-5) دیده می‌شود هر دو مقاومت طور مستقیم با بتری وصل است. بنابر این اگر مقاومت‌ها به‌طور موازی وصل گردیده باشند، در انجام‌های مقاومت‌ها تفاوت پوتانشیل عین چیز می‌باشد.

چون در انجام‌های مقاومت تفاوت پوتانشیل عین چیز می‌باشد، پس با در نظر داشت افاده  $\Delta v = I R$  حاصل می‌شود که:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta v}{R_1} + \frac{\Delta v}{R_2} = \Delta v \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$= \frac{\Delta v}{R_{eq}}$$

در این جا  $R_{eq}$  مقاومت معادل است که بالای سرکت همان اثری دارد که دو مقاومت موازی دارد، یعنی در سرکت جریان مجموعی ثابت باقی می‌ماند (7-5C) از این جا مقاومت معادل دو مقاومت موازی عبارت است از:

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

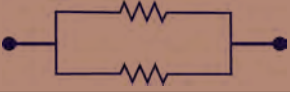

$$R_{eg} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

برای سه مقاومت و یا بیشتر از آن رابطه فوق را می‌توان چنین تحریر کرد.

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

از این افاده دیده می‌شود که معکوس مقاومت معادل دو یا بیشتر مقاومت‌های موازی مساوی به مجموع معکوس هر کدام مقاومت‌ها می‌باشد. برعلاوه، مقاومت معادل همیشه نسبت به کوچک‌ترین مقاومت این گروپ کوچک‌تر می‌باشد. خلاصه نتایج حاصله در مورد سرکت‌های مسلسل و موازی در جدول ذیل ترتیب گردیده است.



موازی	مسلسل	
		سرکت دیاگرام
$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ حاصل جمع جریان‌ها	$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$ برای هر مقاومت عین قیمت را دارد =	جریان برق
$\Delta v = \Delta v_1 = \Delta v_2 = \Delta v_3 \dots$ برای هر مقاومت عین قیمت را دارد	$\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + \dots$ مجموعه تفاوت‌های پتانسیل	تفاوت پتانسیل
$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ مجموعه معکوس مقاومت‌ها	$R_{eg} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ مجموعه هر کدام مقاومت‌ها	مقاومت معادل

### سوالات:

1- فرض نمایید که شما در شکل (4-7) مقاومت سومی را با آن دو مقاومت طور مسلسل افزود می‌کنید. آیا جریان در باتری:

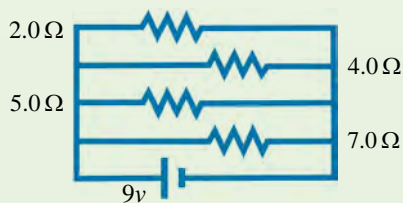
a. تزايد می‌نماید. b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند و d. آیا ولت‌ج انجام‌های باتری تزايد می‌نماید. e. کاهش می‌یابد. f. ثابت باقی می‌ماند.

2- فرض نمایید که شما در شکل (6-7) یک مقاومت سومی را با آن دو مقاومت طور موازی وصل نمایید. آیا در باتری جریان برق:

a. تزايد می‌نماید. b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند. و آیا ولت‌ج انجام‌های باتری: d. تزايد می‌نماید. e. کاهش می‌یابد. f. ثابت باقی می‌ماند.

### مثال:

یک باتری 9V با چهار مقاومت مطابق شکل ذیل وصل گردیده اند. مقاومت معادل سرکت و جریان مجموعی را در سرکت در یافت نمایید.



شکل (6-7)



حل: کمیات معلوم

$$\Delta v = 9v$$

$$R_1 = 2\Omega, R_2 = 4\Omega, R_3 = 5\Omega, R_4 = 7\Omega$$

کمیات مجهول  $R_{eq} = ?$   $I = ?$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{70 + 35 + 28 + 20}{140} = \frac{153}{140}$$

$$R_{eg} = \frac{140}{153} \Omega$$

$$I = \frac{\Delta v}{R_{eg}} = \frac{9v}{\frac{140}{153} \Omega} = \frac{9v \times 153}{140 \Omega} = \frac{1377}{140} A$$

$$I = 9.83A$$

### سوالات:

1- یک وایر طویل را به پنج قسمت مساوی قطع می‌نمایند. بعداً این پنج قسمت را به صورت موازی وصل می‌کنند، که مقاومت محصله آن  $2\Omega$  می‌باشد. قبل از این که وایر قطع گردد مقاومت طول ابتدایی وایر چند است.

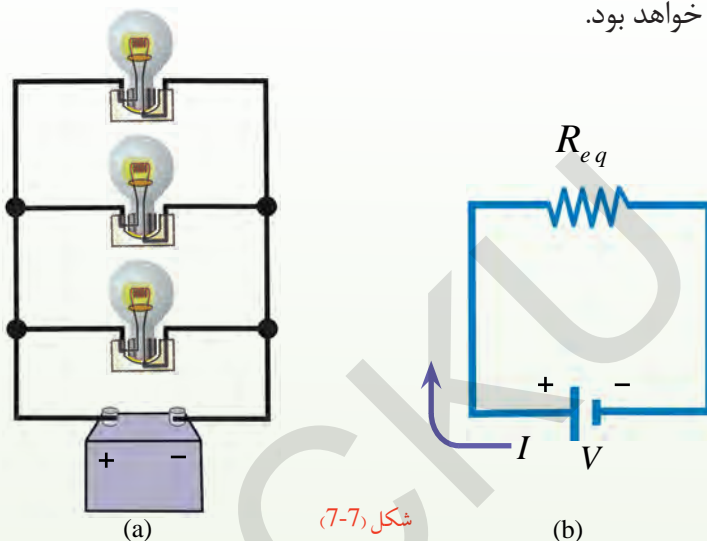
2- یک مقاومت  $4.2\Omega$ ، مقاومت  $8\Omega$  و یک مقاومت  $12\Omega$  در انجام‌ها بتری  $24v$  به صورت موازی وصل گردیده اند.

a. قیمت مقاومت معادل سرکت را حساب نمایید.

b. جریان برق را در هر مقاومت معلوم نمایید.

### 7-3: قوه محرکه برقی

به شکل ذیل (7-7) توجه نمایید، هر گاه شما از این سرکت بتری را بردارید آیا گروپ در سرکت روشن باقی خواهد ماند؟  
واضح است که بدون موجودیت تفاوت پتانسیل در سرکت نه چارج حرکت خواهد کرد و نه جریان برق موجود خواهد بود.



پس برای این که گروپ روشن باقی بماند باید به بتری وصل گردد. هر آله که در یک سرکت انرژی پتانسیل چارج متحرک را زیاد می نماید، عبارت از منبع قوه محرکه برقی (Electromotive Force) یا (emf) می باشد که توسط  $\mathcal{E}$  نشان داده می شود. یا به عبارت دیگر انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می گردد عبارت از قوه محرکه برقی (emf) می باشد. فکر نمایید که این نوع منبع مانند پمپ چارج است که بالای الکترون ها قوه وارد می نماید تا در یک جهت معین حرکت نمایند. هر گاه انرژی هر چارج  $q$  را توسط  $w$  نشان دهیم، برای  $\mathcal{E}$  قوه محرکه برقی (emf) می توانیم بنویسیم که:  $\mathcal{E} = \frac{w}{q}$

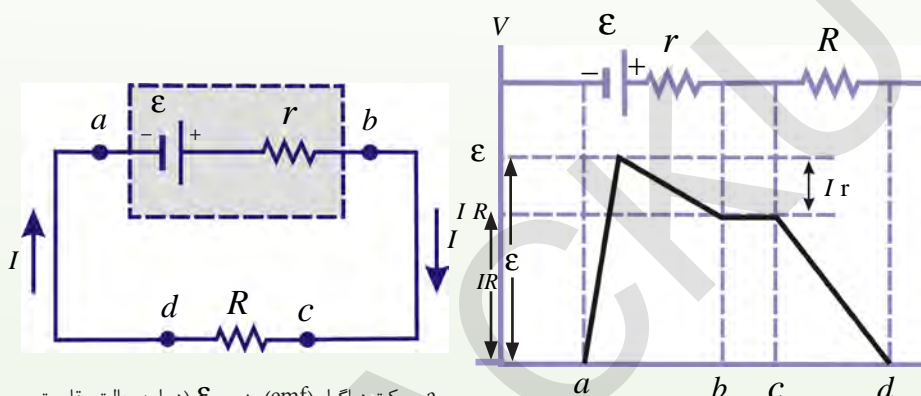
چون قوه محرکه برقی (emf) تمام چارج های یک بتری عبارت از همان ولتج اعظمی ممکنه است که یک بتری بین ترمینل های خود دارد. بنابر این می توانیم در را بطه فوق عوض قوه محرکه برقی  $\mathcal{E}$  تفاوت پتانسیل اعظمی بتری  $V$  را چنین بنویسیم:

$$V = \frac{w}{q}$$

بتری‌ها و جنراتورها منابع قوه محرکه برقی (emf) می‌باشند. چون بتری خود دارای مقاومت داخلی می‌باشد پس وقتی که چارج‌ها در بتری حرکت می‌نمایند تفاوت پتانسیل انجام‌های بتری (ولیتج ترمینل‌ها) نسبت به (emf) واقعی یک اندازه کاهش می‌یابد. با در نظر داشت مقاومت داخلی بتری معادله سرکت را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

#### 7-4: معادله سرکت برقی

برای حاصل کردن معادله سرکت برقی شکل (7-8) را بار دیگر در نظر می‌گیریم و فرض می‌نماییم که مقاومت وایرهای اتصال قابل صرف نظر است. سرکت فوق را با در نظر داشت مقاومت داخلی بتری طور ذیل رسم می‌نماییم قطب مثبت بتری نسبت به قطب منفی بتری دارای پتانسیل بلند است.



a. سرکت دیاگرام (emf) منبع  $\mathcal{E}$  (در این حالت مقاومت

داخلی بتری  $r$  با مقاومت خارجی  $R$  وصل گردید. است)

(b): نمایش تغییر گرافیکی پتانسیل برقی

شکل (7-8)

در سرکته که  
جریان موجود  
باشد تفاوت  
پو تا نشیل  
انجام های  
بتری آن با  
(emf) مساوی  
نمی باشد .

برای درک آن  
سرکت دیاگرام  
(7-8) را در نظر  
می‌گیریم، که

در آن قوه محرکه برقی (emf) بتری با مقاومت داخلی آن نشان داده شده است. حال فرض می‌نماییم که از  $a$  الی  $b$  از طریق بطری عبور می‌نماییم و در محل‌های مختلف پوتانشیل برقی را اندازه می‌کنیم. اگر از ترمینل (قطب) منفی به طرف قطب (مثبت) حرکت نماییم، پوتانشیل به اندازه  $\mathcal{E}$  زیاد می‌گردد. مگر وقتی که از مقاومت  $r$  عبور می‌نماییم، پوتانشیل به اندازه  $I r$  کاهش می‌یابد، درحالی که  $I$  جریان را در سرکت نشان می‌دهد. از این جا و لیتج بتری (تفاوت پوتانشیل بین ترمینل‌های بتری) عبارت است

$$\Delta v = I R = \mathcal{E} - I r \dots (1)$$

از این رابطه واضح می‌گردد که  $Ir$  مساوی با ولتج سرکت باز است یعنی این در حالی ولتج ترمینل‌های بتری را نشان می‌دهد که جریان صفر باشد. شکل (7-8b) نمایش گرافیکی تغییرات تفاوت پوتانشیل را در سرکت نشان می‌دهد. از شکل (7-8a) دیده می‌شود که ولتج ترمینل‌های بتری ( $\Delta v$ ) باید با تفاوت پوتانشیل انجام‌های مقاومت  $R$  مساوی باشد. مقاومت به حیث یک بار (Load) برای فعالیت آله، انرژی تهیه می‌نماید. در انجام این مقاومت مصرف کننده (بار) تفاوت پوتانشیل  $\Delta v = IR$  است. با در نظر داشت این افاده از معادله (1) حاصل می‌نماییم که:

$$\varepsilon = IR + Ir \dots\dots\dots(2) \text{ (ولتج داخلی بتری)}$$

برای جریان  $I$  دریافت می‌نماییم که:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \text{ (جریان کل)}$$

این افاده معادلۀ سرکت برقی است.

رابطۀ فوق نشان می‌دهد که جریان در این سرکت ساده تابع مقاومت مصرف کننده  $R$  که برای بتری مقاومت خارجی است و مقاومت داخلی  $r$  می‌باشد. اگر  $R$  نسبت به  $r$  خیلی بزرگ باشد، می‌توانیم از  $r$  صرف نظر نماییم. اگر در یک سرکت از تعداد زیاد مقاومت‌های مصرف کننده و بتری‌ها استفاده شده باشد، را بطۀ فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R + \sum r} \dots\dots\dots(3)$$

هر گاه از  $r$  به نسبت کوچک بودن آن صرف نظر نماییم داریم که:

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R}$$

اگر هر دو طرف این معادله را به  $I$  ضرب نماییم حاصل می‌شود که:

$$I\varepsilon = I^2 R + I^2 r$$

رابطۀ فوق نشان می‌دهد که طاقتی که توسط بتری تولید می‌شود در  $R$  و  $r$  ضایع می‌گردد.

**مثال:** emf بتری،  $12v$  و مقاومت داخلی آن  $0.05\Omega$  است. انجام‌های بتری با مقاومت مصرف کننده  $3\Omega$  وصل می‌شود.

جریان در سرکت و ولتج انجام‌های بتری (تفاوت پوتانشیل) را در یافت نماییم.

**حل:** چون جریان در سرکت عبارت است از:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{12v}{3\Omega + 0.05\Omega}$$

$$I = \frac{12v}{3.05\Omega}$$

$$I = 3.93A$$

$$v = \varepsilon - Ir$$

$$v = 12 - (3.93A)(0.05\Omega)$$

$$v = 11.79v$$

پس:

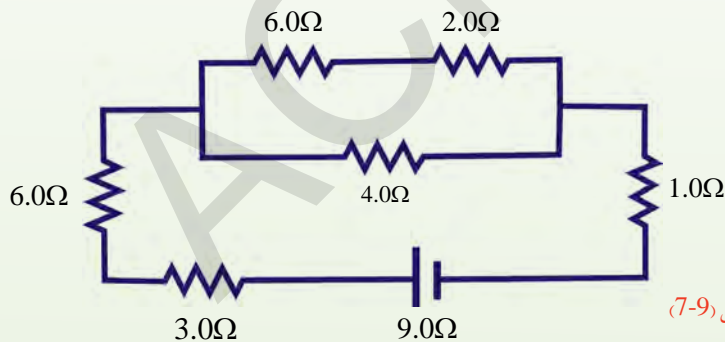
و

با استفاده از این قیمت می‌توانیم تفاوت پتانسیل انجام‌های مقاومت مصرف کننده  $R$  را محاسبه نماییم:

$$v = I R = (3.93A)(3\Omega) = 11.8v$$

## 7-5: تطبیقات

1. مقاومت معادل سرکت مغلق ذیل را در یافت نمایید.



شکل (7-9)

**حل:** برای در یافت مقاومت معادل سرکت طریقهٔ بهتر این است که سرکت را به گروپ‌های مقاومت‌های مسلسل و موازی تقسیم نماییم و بعداً برای هر گروپ، مقاومت معادل آنرا محاسبهٔ نماییم. برای رسیدن به این مقصد سرکت را بار دیگر مانند یک گروپ مقاومت‌ها یک طرف رسم می‌نماییم. چون موقعیت‌ها بالای سرکت اثر نه دارد، پس لازم نیست که در دیاگرام سیستماتیکی نشان داده شوند. سرکت را بدون در نظر داشت موقعیت‌ها بار دیگر رسم می‌نماییم، طوریکه ترتیب عناصر سرکت در آن حفظ گردیده باشد چنان‌چه در رسم ذیل نشان داده شده است.



• ترکیب مسلسل را تعیین نموده و مقاومت معادل را محاسبه می‌نماییم.

مقاومت‌های گروپ (a) و (b) به‌طور مسلسل می‌باشد.

$$R_{eq} = 3.0\Omega + 6.0\Omega = 9.0\Omega \quad \text{برای گروپ (a)}$$

$$R_{eq} = 6.0\Omega + 2.0\Omega = 8.0\Omega \quad \text{برای گروپ (b)}$$

• ترکیب موازی را تعیین نموده و مقاومت معادل آن را محاسبه می‌نماییم.

مقاومت‌های گروپ (c) موازی اند.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8.0\Omega} + \frac{1}{4.0\Omega} = 0.12\Omega + 0.25\Omega = 0.37\Omega \quad \text{برای گروپ (c)}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{0.37}\Omega$$

$$= \frac{100}{37}\Omega = 2.7\Omega$$

مراحل فوق را تازمانی تکرار می‌نماییم که مقاومت‌های سرکت به یک مقاومت کاهش نماید.

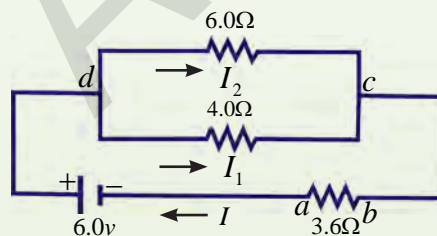
چنان‌چه بعداز تعیین گروپ‌های (b)، (a) و (c) مقاومت‌های گروپ (d) باقی می‌ماند که آن‌ها

طور مسلسل می‌باشد پس:

$$R_{eq} = 9.0\Omega + 2.7\Omega + 1.0\Omega \quad \text{برای گروپ (d)}$$

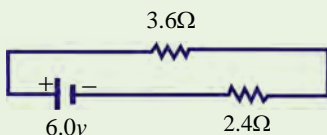
$$R_{eq} = 12.7\Omega$$

2. در سرکت ذیل قیمت‌های جریان‌های  $I$ ،  $I_1$  و  $I_2$  را در یافت نمایید.



شکل (7-10)

**حل:** اولاً مقاومت معادل ترکیب موازی مقاومت‌های  $4\Omega$  و  $6\Omega$  را در یافت می‌نماییم:



شکل (7-11)

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}$$

$$R_{dc} = R_{eq1} = \frac{12}{5} = 2.4\Omega$$

حال چنان چه در شکل فوق نشان داده شده است مقاومت‌های  $2.4\Omega$  ,  $3.6\Omega$  طور مثال وصل اند. بنابراین:

$$R_{ad} = R_{eq_2} = R_1 + R_2 = 2.4 + 3.6\Omega = 6.0\Omega$$

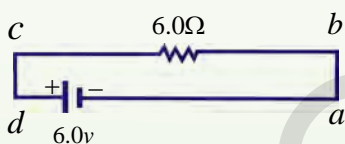
از این جا:

$$I = \frac{v_{ad}}{R_{ad}} = \frac{6v}{6\Omega} = 1 \text{ Amp}$$

برای دریافت  $I_1$  و  $I_2$  باید تفاوت پتانسیل بین نقاط d و c را بشناسیم. چون مقاومت معادل مقاومت‌های موازی  $2.4\Omega$  است. و جریان در سرکت یک امپیر است، از این جا تفاوت پتانسیل  $v_{bc}$  عبارت است از:

$$V_{dc} = IR_{dc} = 2.4 \times 1 = 2.4v$$

این در انجام‌های مقاومت‌های  $4\Omega$  و  $6\Omega$  نیز تفاوت پتانسیل می‌باشد. از آن جا که:



شکل (7-12)

$$I_1 = \frac{v_{dc}}{4} = \frac{2.4}{4} = 0.6A$$

$$I_g = \frac{v_{dc}}{6} = \frac{2.4}{6} = 0.4A$$

او: دیده می‌شود که مجموعه جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$ ،  $1A$  است که جریان مجموعی را در سرکت نشان می‌دهد.

## سوال

سرکت‌های خیلی مغلق را چگونه می‌توانیم حل نماییم؟  
سرکت‌های خیلی پیچیده را می‌توانیم با استفاده از قوانین کرشهوف حل نماییم که طور ذیل مطالعه می‌گردد.

## 7-6: قوانین کرشهوف

چنانچه دیدیم سرکتهای ساده را می توانیم به وسیلهٔ افادهٔ  $\Delta v = IR$  و ترکیب مسلسل و موازی مقاومتها حل نماییم. هرگاه یک سرکت خیلی مغلق باشد یعنی در آن مقاومتها و چندین منابع طوری وصل گردیده باشد که حل آن به وسیله قوانین متذکره ناممکن باشد پس آنها را توسط قوانین دیگر که به نام قوانین کرشهوف یاد می شود حل شده می توانند.

### 7-6-1: قانون اول کرشهوف

قانون اول کرشهوف که به نام قانون انشعاب نیز یاد می شود بیان می نماید که: مجموعهٔ تمام جریانهای که در سرکت داخل نقطهٔ انشعاب می شوند مساوی به مجموعهٔ جریانهای است که نقطهٔ انشعاب را ترک می نمایند. یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

نقطهٔ انشعاب در یک سرکت نقطه‌یی را می گویند که در آن مقاومت‌های بیشتر از لین وصل شده باشد.

### 7-6-2: قانون دوم کرشهوف

قانون دوم کرشهوف که به نام قانون حلقه یا دوره بسته نیز یاد می شود بیان می نماید که: مجموعه تفاوت‌های پوتانشیل انجام‌های تمام عناصر شامل یک حلقهٔ بسته باید مساوی به صفر باشد. یعنی:

$$\sum \Delta v = 0$$

قانون اول کرشهوف قانون تحفظ چارج را بیان می نماید. یعنی تمام چارج‌های که داخل یک نقطه می شوند باید از آن نقطه خارج شوند زیرا چارج نمی تواند در نقطه به وجود آید. قانون دوم کرشهوف از قانون تحفظ انرژی پیروی می نماید.





## خلاصه فصل

• جریان برق: عبور چارج برقی از هر مقطع عرضی یک سرکت عبارت از جریان برق می‌باشد و آن را توسط حرف  $I$  نشان می‌دهند یعنی.

$$I = \frac{q}{t}$$

واحد جریان برق امپیر است که توسط حرف  $A$  نشان داده می‌شود.

• مقاومت برقی: جلوگیری از حرکت چارج‌ها در بین‌های عبارت از مقاومت برقی می‌باشد. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به نام لود (مصرف کننده) یاد می‌شود. در یک سرکت مقاومت برقی با تفاوت پتانسیل انجام‌های مقاومت و جریان در آن طوری ذیل رابطه دارد.

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در این جا  $R$  عبارت از مقاومت‌های است و واحد آن اوم و یا  $\left(\frac{volt}{Amp}\right)$  می‌باشد.

• مقاومت‌های‌های به دو نوع اند.

یکی آن مقاومت ترکیبی است که دارای کاربن می‌باشد. و دیگر آن مقاومت وایر پیچیده شده است.



## • اتصال مقاومت‌ها:

الف: اتصال مسلسل مقاومت‌ها:

در اتصال مسلسل مقاومت‌ها و تفاوت پتانسیل تطبیق شده بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شوند.

$$\Delta v = I R_1 + I R_2$$

$$= I(R_1 + R_2)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

و مقاومت معادل درینصورت

ب: در اتصال موازی مقاومت‌ها جریان در نقطه انشعاب تقسیم می‌شود یعنی:

$$I = I_1 + I_2$$

و مقاومت معادل در این صورت عبارت است از:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

• هر آله که در یک سرکت انرژی پتانسیل چارج متحرک را زیاد می‌نماید عبارت از منبع قوه محرکه برقی (Electromotive Force) یا (emf) می‌باشد. که توسط حرف  $\mathcal{E}$  نشان داده می‌شود و یا انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می‌گردد عبارت از قوه محرکه برقی (emf) می‌باشد. هر گاه انرژی هر چارج  $q$  را توسط  $w$  نشان دهیم، به این قوه مرکه برقی (emf) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\mathcal{E} = \frac{w}{q}$$

که واحد آن ولت می‌باشد.

• معادله سرکت برقی عبارت است از :  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

در این جا  $\mathcal{E}$  قوه محرکه برقی سرکت،  $R$  مقاومت خارجی در سرکت و  $r$  مقاومت داخلی منبع می‌باشد. اگر در یک سرکت از تعداد زیاد مقاومت‌های مصرف کنند و بتری‌ها استفاده شده باشد.



رابطه فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum r}$$

### • قوانین کرشهوف:

الف: قانون اول کرشهوف:

مجموعه تمام جریان‌های که در یک سرکت داخل نقطه انشعاب می‌شوند مساوی به مجموعه جریان‌های است که نقطه انشعاب را ترک می‌نمایند. یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

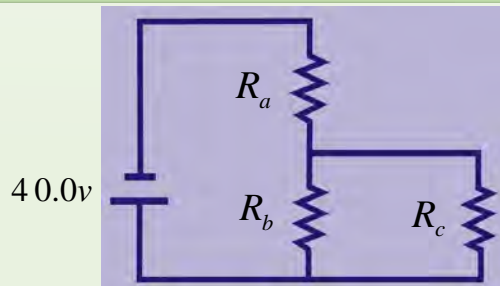
ب: قانون دوم کرشهوف:

مجموعه تفاوت‌های پتانسیل انجام‌های تمام عناصر شامل یک حلقه بسته باید مساوی به صفر باشد یعنی:

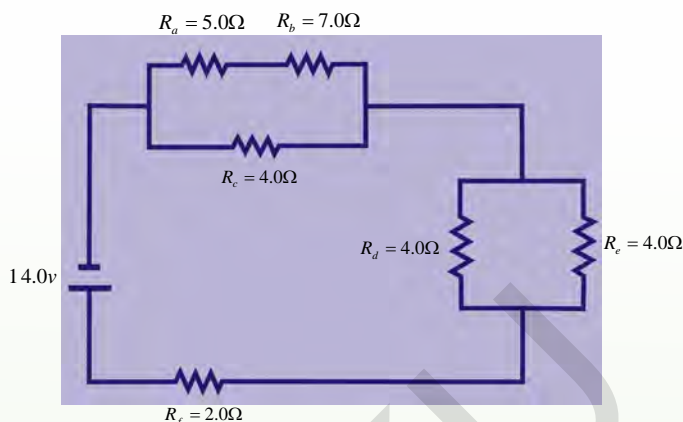
$$\sum \Delta v = 0$$

## سوالات اخیر فصل

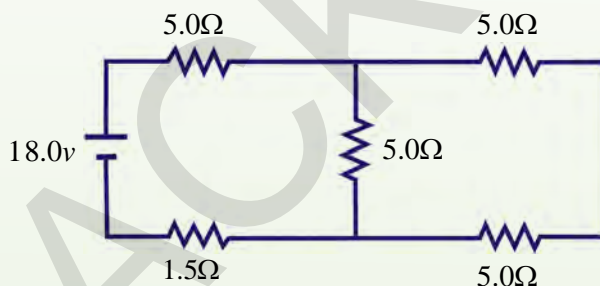
1. برای سرکت ذیل مقاومت معادل آن را محاسبه نمایید.



2. در سرکت ذیل تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر مقاومت و جریان آن را محاسبه نمایید.



3. (a) مقاومت معادل سرکت مغلق ذیل را در یافت نمایید.



(b) در مقاومت  $1.5\Omega$  سرکت مغلق فوق جریان برق را در یافت نمایید.

(c) در انجام‌های مقاومت  $1.5\Omega$  سرکت مغلق فوق تفاوت پوتانشیل را در یافت نمایید.

4. برای عناصر یک سرکت با استفاده از سمبول‌های معیاری سرکت دیاگرام را ترسیم نمایید که دارای یک باتری یک دانه سویچ باز، یک گروپ و یک مقاومت را طور موازی داشته باشد. هر گاه سویچ وصل گردد جهت جریان برق را در سرکت توسط وکتور نشان می‌دهد.

5. در سرکتهای ذیل تفاوت پوتانشیل انجامهای هر مقاومت و جریان را در آن دریافت نمایید.

a) یک مقاومت  $4\Omega$  و یک مقاومت  $12.0\Omega$  با منبع  $4.0\text{V}$  طور موازی وصل گردیده باشند.

b) یک مقاومت  $4\Omega$  و یک مقاومت  $12.0\Omega$  با منبع  $4.0\text{V}$  طور مسلسل وصل گردیده باشند.

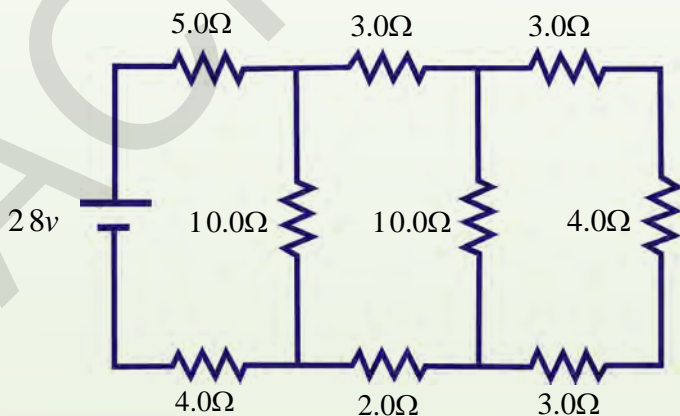
6. ولتج انجامهای (ترمینلهای) یک بتری از emf آن بیشتر است؟ توضیح نمایید که این دو کمیت چرا باهم برابر نیستند؟

7. توضیح نمایید که چرا سرکت شارژ می شود (آتش می گیرد).

8. برای سرکت ذیل.

a) مقاومت معادل سرکت، و

b) جریان در مقاومت  $5.0\Omega$  را دریافت نمایید.



## مقناطیس



اکثر مردم مقناطیس را به خاطر داشتن خاصیت جذب کننده آن می‌شناسند، چنانچه در شکل فوق نشان داده شده است. ممکن است شما اشکال مختلف مقناطیس مانند مقناطیس نعل مانند، میله مانند و پهن را دیده باشید، مقناطیس چیست؟ تمام اشکال مقناطیس، اشیای آهن دار مانند گیرای کاغذ و میخ‌ها را جذب می‌نمایند. این جذب در کدام قسمت

مقناطیس بیشتر صورت می‌گیرد؟ جذب شدید اشیای آهنی در انجام‌های مقناطیس صورت می‌گیرد و انجام‌های مقناطیس به نام قطب‌های مقناطیس یاد می‌شوند که یکی آن را قطب شمال و دیگر آن قطب جنوب می‌گویند. چرا قطب‌های شمال و جنوب؟ این نام‌ها از عمل کرد یک مقناطیس بالای زمین اشتقاق گردیده است، زیرا اگر یک مقناطیس میله مانند از قسمت وسط آن آویزان گردد طوری که در یک مستوی افقی طور آزاد دوران کرده بتواند، میله تا زمانی دوران خواهد کرد تا جهت‌های شمال و جنوب مقناطیس را اختیار نماید. در این حالت آن انجام مقناطیس میله مانند که در جهت قطب شمال مقناطیسی زمین قرار دارد، قطب جنوب و انجامی که به طرف قطب جنوب مقناطیسی زمین واقع است به نام قطب شمال مقناطیس یاد می‌شود. از مقناطیس در کدام چیزها استفاده می‌شود؟ از مقناطیس در میترها، موتورها و لودسپیکرها استفاده صورت می‌گیرد. مقناطیس‌ها بین هم چگونه عمل متقابل انجام می‌دهند؟ قوه مقناطیسی بین دو مقناطیس را می‌توانیم با قوه برقی بین دو ذره چارج دار تشبیه نمائیم طوری که قطب‌های مشابه دو مقناطیس، یک‌دیگر را دفع کرده و قطب‌های مختلف یک‌دیگر را جذب می‌نمایند. بنابر این، قطب شمال یک مقناطیس، قطب جنوب مقناطیس دیگر را جذب می‌نماید، و اگر دو قطب شمال (یا قطب‌های جنوب) با یک‌دیگر نز دیک آورده شوند یک‌دیگر را دفع می‌کنند. چنانچه ما می‌توانیم یک چارج برقی جداگانه را داشته باشیم، پس آیا می‌توانیم یک قطب مقناطیس را حاصل نماییم؟ اگر یک مقناطیس دایمی طور متواتر قطع

گردد، مهم نیست که چند مرتبه قطع می‌شود، باز هم هر پارچه آن همیشه دارای قطب‌های شمال و جنوب خواهد بود زیرا که قطب‌های مغناطیس همیشه یک‌جا بوده و نمیتوانیم یک قطب مغناطیس را به تنهایی حاصل نمائیم. چون آهن توسط مغناطیس جذب می‌گردد، آیا آهن نیز مغناطیسی شده می‌تواند؟ بلی، یک پارچه آهن مغناطیس نشده می‌تواند به وسیله مالش با مغناطیس دائمی مغناطیس گردد. مغناطیسیت توسط یک مغناطیس نیز القا شده می‌تواند، طور مثال، اگر یک پارچه آهن مغناطیس نشده نزدیک یک مغناطیس دائمی قوی گذاشته شود، این پارچه آهن مغناطیسی می‌گردد. عکس عملیه نیز شده می‌تواند یعنی یک آهن مغناطیس شده توسط حرارت دادن یا سرد ساختن و یا به وسیله چکش زدن می‌تواند مغناطیسیت خود را از دست دهد.

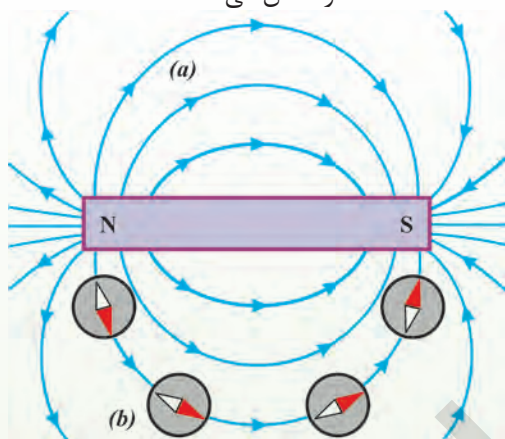
سوال این است که آهن مغناطیس شده تا چه زمانی مغناطیس باقیمانده می‌تواند؟ از نظر مغناطیسیت مواد را به دو طبقه تقسیم می‌نمایند. یک‌دسته آن موادی اند که به آسانی مغناطیس می‌شوند و هم به آسانی مغناطیسیت خود را از دست می‌دهند، این نوع مواد را مواد نرم گویند مانند آهن، و نوع دیگری آن موادی اند که به سختی مغناطیس می‌شوند و به سختی مغناطیسیت خود را از دست می‌دهند که این دسته مواد را به نام مواد سخت یاد می‌نمایند مانند کوبالت و نکل. عمل متقابل بین مغناطیس‌ها با استفاده از مفهوم ساحة مغناطیسی تشریح می‌شود، پس ساحة مغناطیسی چیست؟ ساحة مغناطیسی تنها توسط مغناطیس دائمی به وجود می‌آید و یا جریان برق دریک‌هادی نیز سبب تولید ساحة مغناطیسی می‌گردد؟ اگر چنین باشد پس بین جریان برق و ساحة مغناطیسی رابطه ای وجود دارد. بنابراین سوالی طرح می‌گردد که آیا در یک ساحة مغناطیسی بالای یک‌هادی جریان دار قوه مغناطیسی عمل می‌نماید؟ اگر توسط یک‌هادی مستقیم جریان دار ساحة مغناطیسی تولید می‌گردد، پس آیا بوسیله کویل و سولینوئید نیز ساحة مغناطیسی تولید می‌شود؟ در این مورد قانون بیوت - ساواری چگونه بیان می‌نماید؟ با مطالعه این فصل برای تمامی این سوالات جواباتی در یافت می‌گردد. هم‌چنان توقع می‌رود که در اخیر این فصل شاگردان بدانند که یک کویل انتقال دهنده جریان نیز مانند یک مغناطیس عمل می‌نماید.

## 8-1: مغناطیس و ساحة مغناطیسی

یونانی‌ها 800 سال قبل از میلاد سنگی را شناختند که عبارت بود از اکساید آن ( $Fe_3 O_4$ ) که پارچه‌های آهن را جذب می‌کرد. رابطه بین مغناطیس و جریان برق توسط عالم دنمارکی اوریستد در سال 1819 مشاهده گردید. موصوف دریافت که در نزدیک یک سیم انتقال دهنده جریان برق، عقربه قطب نما انحراف می‌نماید. نامبرده از این حادثه نتیجه گرفت که بین جریان برق و

مقناطیس رابطه‌ی وجود دارد. ساحهٔ مقناطیسی چگونه یک کمیت است؟ ساحهٔ مقناطیسی که

(a) مقناطیس میله مانند  
(b) عقربهٔ قطب نما جهت  
خط ساحه را نشان می‌دهد.



شکل 1-8 ساحهٔ مقناطیسی

هر مقناطیس را احاطه کرده است، یک کمیت وکتوری است، یعنی هم مقدار و هم جهت دارد و معمولاً توسط (B) نشان داده می‌شود. ساحهٔ مقناطیسی چگونه نشان داده می‌شود؟ به‌حیث نمونه ساحهٔ مقناطیسی اطراف یک میلهٔ مقناطیسی را با استفاده از یک قطب نما پیدا کرده می‌توانیم. چنان‌چه در شکل ذیل نشان داده شده است، هر گاه یک مقناطیس میله مانند کوچک که طور آزاد آویخته شده باشد به یک ساحهٔ مقناطیسی نزدیک آورده شود، مانند عقربهٔ قطب نما با خطوط ساحهٔ مقناطیسی در یک خط واقع می‌گردد. دیده می‌شود که خطوط ساحهٔ

مقناطیسی از یک قطب مقناطیس خارج شده و به قطب دیگر مقناطیس داخل می‌گردد. (قبول شده است که از قطب شمال خارج و به قطب جنوب داخل می‌گردد). یعنی که خطوط ساحهٔ مقناطیسی نه آغاز دارد و نه انجام. این خطوط یک حلقهٔ بسته را تشکیل می‌دهند. در مقناطیس دایمی خطوط ساحه در داخل خود مقناطیس ادامه پیدا می‌کند تا حلقهٔ بسته را تشکیل بدهد. با لایحه آن فضای نزدیک یک مقناطیسی که در آن جا اثر مقناطیسیت ملاحظه می‌گردد به‌نام ساحهٔ مقناطیسی یاد می‌گردد. انحراف عقربهٔ قطب نما از اثر مقناطیسیت است. چگونه می‌توانیم به شدت ساحهٔ مقناطیسی پی ببریم؟ برای تعیین شدت ساحهٔ مقناطیسی، کمیتی را تعریف می‌نماییم که به‌نام فلکس مقناطیسی یاد می‌شود. فلکس مقناطیسی عبارت از تعداد خطوط ساحه‌یی است که از یک مساحت معین سطح عمود بالای ساحه عبور می‌نماید. فلکس مقناطیسی بوسیلهٔ  $\phi_m$  نشان داده می‌شود و ذریعهٔ فورمول ذیل محاسبه می‌گردد، که ثبوت این فورمول در فصل نهم صورت می‌گیرد.

$$\phi_m = A.B. \cos \theta$$

(مركبة عمودی ساحه بالای مساحت سطح)  $\times$  (مساحت سطح) = فلکس مقناطیسی

چگونه می‌توانیم بدانیم که ساحهٔ مقناطیسی در کدام قسمت مقناطیس قویتر است؟

برای دانستن این موضوع فعالیت ذیل را انجام دهید.





## فعالیت

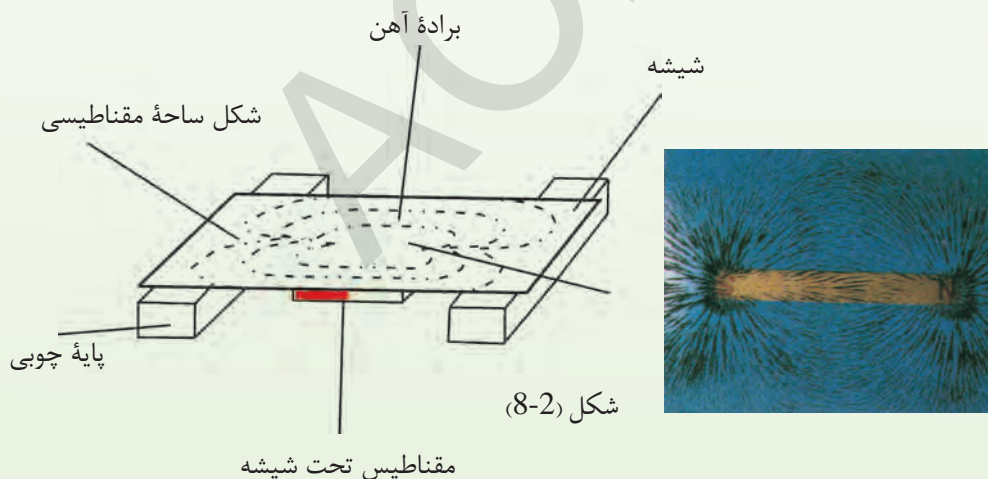
**هدف:** تشخیص ساحةٔ مقناطیسی در قسمت‌های مختلف یک میلهٔ مقناطیسی.

**مواد مورد ضرورت:**

میلهٔ مقناطیس و شیشه.

### طرز العمل:

شیشه را بالای میلهٔ مقناطیسی گذاشته و بر روی شیشه، برادهٔ آهن پاش دهید. شیشه را آهسته ضربه بزنید، شما خواهید دید که برادهٔ آهن بروی شیشه به خطوط منحنی تنظیم می‌شود که از یک انجام شروع و به انجام دیگری ختم می‌گردد. دیده می‌شود که این خطوط در انجام‌های میله با هم نزدیک و در قسمت وسط از همدیگر دورتر واقع اند. ازینجا نتیجه می‌شود که ساحةٔ مقناطیسی در انجام‌های مقناطیس قوی و در قسمت وسط آن ضعیف است.



هم‌چنان به خاطر شناخت قطب‌های مقناطیسی و دانستن چگونگی عمل متقابل بین شان این فعالیت را انجام می‌دهیم .

## فعالیت

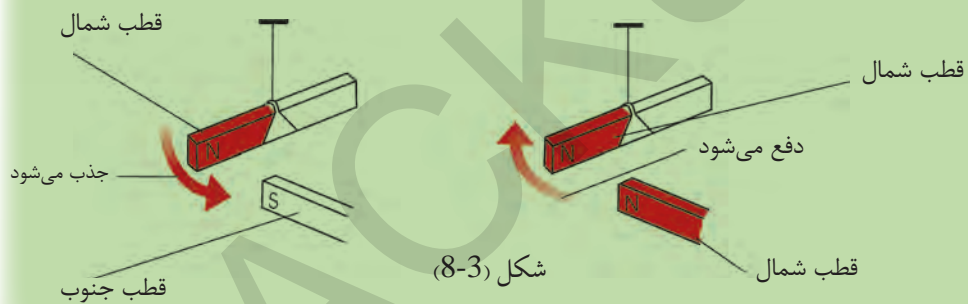
**هدف:** شناخت قطب‌های مقناطیسی و عمل متقابل بین شان.

**مواد مورد ضرورت:**

میله‌های مقناطیسی دو دانه، تار به اندازه ضرورت، میخ دو دانه، چکش.

**طرز العمل:**

هر دو میله مقناطیسی را طور آزاد آویزان نمایید. شما خواهید دید که این مقناطیس‌ها در امتداد شمال و جنوب قرار می‌گیرند. بنابراین آن انجام‌های مقناطیس‌ها که به طرف شمال واقع می‌گردند به نام قطب‌های جنوب مقناطیس‌ها و انجام‌هایی که به طرف جنوب زمین قرار می‌گیرند به نام قطب‌های شمال مقناطیس‌ها یاد می‌شوند.

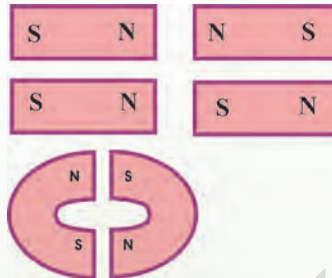


بعداً قطب‌های شمال مقناطیس‌ها و مرتبه دوم قطب‌های جنوب را باهم نزدیک نمایید. در مرتبه سوم قطب‌های شمال و جنوب را با همدیگر نزدیک نمایید. در نتیجه شما خواهید دید که قطب‌های شمال و هم‌چنان قطب‌های جنوب یک‌دیگر را دفع می‌نمایند، مگر قطب‌های مخالف یک‌دیگر را جذب می‌نمایند.



### سوال:

1. در اشکال ذیل نشان دهید که در کدام حالت مقناطیسی ها یکدیگر را جذب و در کدام حالت یکدیگر را دفع می نمایند.



2. اگر یک میله مقناطیسی را دونصف نمایید، هر پارچه دارای چند قطب خواهد بود؟

### سوال:

می دانید که در یک ساحة مقناطیسی، با لای یک ذره چارج دار متحرک یک قوه عمل می نماید. چون جریان برق عبارت از جریان چارج های متحرک است، پس آیا در بین یک ساحة مقناطیسی بالای یک هادی حامل جریان، قوه وارد می شود؟ برای ارایه جواب به این پرسش، بحث ذیل را ادامه می دهیم.

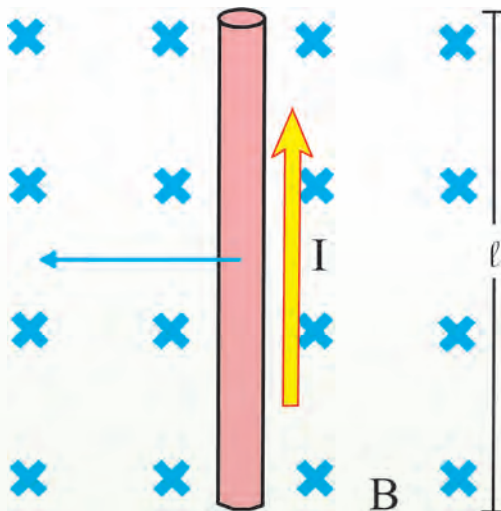
## 8-2: قوه مقناطیسی بالای یک هادی حامل جریان

یک قطعه وایر مستقیم را با طول  $l$  که جریان  $I$  را انتقال می دهد، در بین یک ساحة منظم مقناطیسی  $B$  مطابق شکل (8-4) در نظر می گیریم. هر گاه سمت های جریان برقی و ساحة مقناطیسی بالای یکدیگر عمود باشند، مقدار قوه مقناطیسی مجموعی بالای وایر توسط رابطه ذیل نشان داده می شود.

$$F_m = B \cdot I \cdot l$$

(طول هادی در  $B$ )  $\times$  (جریان)  $\times$  (مقدار ساحة مقناطیسی) = مقدار قوه مقناطیسی





شکل (4-8)، یک‌هادی حامل جریان برق در یک ساحة مغناطیسی یک قوه‌یی را که به جهت جریان عمود است تولید می‌کند.

جهت قوه مغناطیسی را بالای وایر می‌توانیم با استفاده از قانون دست راست دریافت نماییم. دست راست خود را طوری قرار دهید که کف دست تان در جهت ساحة مغناطیسی و چهار انگشت تان جهت جریان را داشته باشد. این چهار انگشت را طوری انحناء دهید

که جهت جریان برق با جهت ساحة مغناطیسی مطابقت نماید. در این حالت شصت تان جهت قوه مغناطیسی را بالای‌هادی نشان می‌دهد. بنابر این در شکل (4-8) جهت قوه مغناطیسی بالای وایر به طرف چپ می‌باشد. هر گاه جهت جریان برق هم جهت ساحة باشد یا جهت مخالف ساحة را داشته باشد، در این صورت‌ها قوه مغناطیسی بالای وایر صفر است. از رابطه

$$F = IlB \sin \theta$$

فوق می‌توانیم بنویسیم که:

در این معادله می‌بینیم که در سیستم SI، واحد ساحة مغناطیسی نیوتن (N) بر کولمب ضر در متر فی ثانیه است که به نام تسلا (Tesla) یا د می‌شود و به T نشان داده می‌شود.

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

چون کولمب بر ثانیه عبارت از امپیر است، پس می‌توانیم بنویسیم که:

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

### مثال:

وایری که دارای طول 36m است جریان، 22Amp را از طرف شرق به طرف غرب انتقال می‌دهد. هر گاه بالای وایر، قوه مغناطیسی به سبب ساحة مغناطیسی زمین به طرف پائین (به طرف زمین) و دارای مقدار  $4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$  باشد. در آن صورت مقدار ساحة مغناطیسی و جهت آن را دریافت نمایید.

## حل:

کمیت داده شده:  $l = 36m$ ,  $I = 22 \text{ Amp}$ ,  $F_m = 4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$

کمیت مجهول  $B = ?$

معادله‌ی را مینوسیم که بالای یک‌هادی حامل جریان برق از طرف ساحهٔ مقناطیسی عمودی، قوهٔ مقناطیسی را بیان می‌نماید:

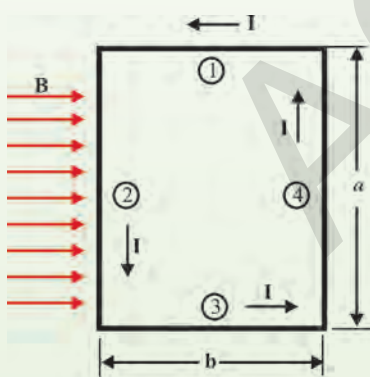
$$F_m = B I l \dots \dots \dots (3)$$

$$B = \frac{F_m}{I l}$$

$$B = \frac{4.0 \times 10^{-2} \text{ N}}{(22 \text{ Amp})(36m)} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$$

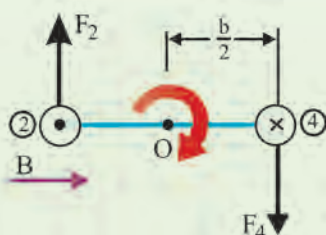
با استفاده از قانون دست راست برای پیدا کردن جهت  $\vec{B}$  طوری ایستاده شوید که روی تان به طرف شمال باشد، شصت دست راست تان به طرف غرب (در جهت جریان برق) و کف دست تان را به طرف پائین (به طرف قوه) قرار دهید. جهت انگشتان دیگر تان به طرف شمال خواهد بود. بنابراین جهت ساحهٔ مقناطیسی زمین از طرف جنوب به طرف شمال می‌باشد.

## 1-2-8: مومنت بالای یک کویل جریان دار



قبلاً نشان دادیم که بالای یک‌هادی حامل جریان در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید. بالای یک کویل جریان دار در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه مومنت مقناطیسی عمل می‌نماید؟ به خاطر دریافت جواب برای این پرسش یک کویل مستطیل شکل که جریان (I) را انتقال می‌دهد در یک ساحهٔ منظم مقناطیسی که موازی با مستوی حلقه است، مطابق شکل در نظر می‌گیریم. بالای کنارهای 1 و 3 کویل هیچ قوه‌یی عمل نمی‌کند، زیرا این وایرها با ساحه موازی اند. بالای کنارهای 2 و 4 قوه‌های مقناطیسی عمل می‌کند زیرا این کنارها بالای ساحه عمود می‌باشد. مقدار این قوه‌ها براساس معادلهٔ (3) مساوی است به:  $F_2 = F_4 = I \cdot a \cdot B$

شکل (5-8)



a) کویل مستطیل شکل در یک ساحهٔ

مقناطیسی منظم

b) منظرهٔ کویل از جانب پایین

بالای وایر 2، جهت قوهٔ مغناطیسی  $\vec{F}_2$  از صفحهٔ کاغذ به طرف خارج است، چنانچه در شکل (8-5a) نشان داده شده است. و بالای وایر 4، جهت قوهٔ مغناطیسی  $\vec{F}_4$  از طرف صفحهٔ کاغذ به طرف داخل است. اگر از کنار 3 به طرف حلقه در امتداد کنارهای 2 و 4 دیده شود، مانند شکل (8-5b) دیده می‌شود، و جهت‌های دو قوهٔ مغناطیسی  $\vec{F}_4$  و  $\vec{F}_2$  مطابق شکل دیده می‌شود. یاد آوری می‌شود که این دو قوه دارای جهت‌های مخالف بوده، مگر دارای عین خط عمل نمی‌باشند. بنابراین قوه‌ها یک جفت را تشکیل می‌دهند که در نقطهٔ 0 در اطراف یک محور سبب دوران گردیده و یک مومنت تولید می‌نماید. مقدار این مومنت یا تورک عبارت است از:

$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} \\ = Iab B$$

در این جا بازوی مومنت در اطراف O برای هر قوه  $\frac{b}{2}$  است. چون مساحت اشغال شده توسط حلقه  $A=ab$  است پس تورک اعظمی را می‌توانیم طور ذیل بنویسیم:

$$\tau_{\max} = IAB$$

تورک اعظمی تنها زمانی صدق می‌نماید که ساحةٔ مغناطیسی موازی با مستوی حلقه باشد.

### مثال:

یک کویل مستطیل شکل دارای ابعاد  $5.40\text{cm} \times 8.50\text{cm}$  و 25 حلقه بوده و جریان،  $15.0\text{m amp}$  را انتقال می‌دهد. کویل در بین ساحةٔ مغناطیسی  $0.350T$  که با مستوی کویل موازی است گذاشته شده است. مقدار تورک عامل را بالای حلقه محاسبه نمایید.

**حل:** چون  $\vec{B}$  بالای I و A عمود است پس داریم که:

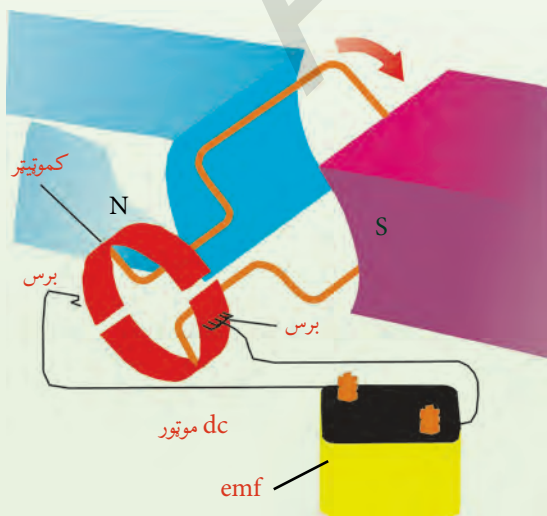
$$\tau = N I A B = (25)(15.0 \times 10^{-3} A)(0.0540\text{m})(0.0850\text{m})(0.350T) \\ = 6.02 \times 10^{-4} \text{ N.m}$$

در این جا، N تعداد حلقه‌های کویل است.

## 2-2-8: موتور برقی

موتور برقی چیست و چگونه کار می‌کند؟

موتور برقی ماشینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید. کار موتور مبتنی بر حقیقتی است که در یک ساحةً مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان، قوهً مقناطیسی عمل می‌کند. در موتور نیز جریان به کوایل داده می‌شود. و بالای یک کوایل جریان دار قوهً مقناطیسی سبب دوران آن می‌شود (شکل دیده شود)، کوایل موتور بالای یک میلهٔ دوار نصب و در بین قطب‌های مقناطیس قرار داده شده است. بورش‌ها با کموتیتر که در کوایل جریان را تغییر می‌دهد تماس دارد. این تغییر جریان سبب می‌شود که ساحةً مقناطیسی تولید شده توسط جریان باید به صورت منظم تغییر نماید و به همین علت توسط ساحةً مقناطیسی ثابت همیشه دفع می‌گردد. بنابراین کوایل و میلهٔ دوار به حرکت ادامه می‌دهد. یک موتور می‌تواند در حالی کار میخانیکی را انجام دهد که کوایل دوار با یک آلهٔ خارجی وصل گردد. زمانی که کوایل در موتور دور می‌زند، مرکبهٔ عمودی ساحةً مقناطیسی در آن تغییر می‌نماید و یک قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) را تولید می‌کند که در کوایل جریان را کاهش می‌دهد. این emf تولید شده به نام emf معکوس یا د می‌گردد. emf معکوس با ازدیاد تغییر ساحةً مقناطیسی تزايد می‌نماید. به عبارت دیگر، با دور خوردن سریع کوایل، emf معکوس نیز زیاد می‌گردد. تفاوت پوتانشیل که برای موتور جریان تهمیه می‌نماید مساوی به تفاوت بین پوتانشیل تطبیق شده و emf معکوس است. در نتیجه، به سبب موجودیت emf معکوس نیز در کوایل جریان کاهش می‌یابد. به هر اندازه که موتور به سرعت دور می‌زند، در انجام‌های موتور emf خالص و در کوایل جریان خالص هر دو کوچک می‌گردد.



شکل (6-8) در موتور، جریان کوایل با ساحةً مقناطیسی عمل متقابل انجام می‌دهد که سبب دوران کوایل و میلهٔ بی می‌گردد که کوایل بالای آن نصب شده است.

## سوالات:

1. هر گاه در یک موتور از کموتیتر استفاده صورت نگیرد چه واقع می شود؟ توضیح نمایید.

### 8-3: قانون بیوت - ساواریت

ساحه های مقناطیسی که توسط قانون بیوت - ساواریت توضیح گردیده است ساحه هایی است که توسط یک هادی انتقال دهنده جریان تولید شده باشد. این هادی می تواند یک هادی مستقیم طویل باشد، شکل کوایل را داشته باشد و یا سولینوئید باشد.

#### 8-3-1: ساحه مقناطیسی یک هادی مستقیم طویل

ساحه مقناطیسی تولید شده توسط یک هادی حامل جریان طویل مستقیم را ذریعه تجربه ذیل بینید:

#### فعالیت

هدف: مشاهده ساحه مقناطیسی یک وایر حامل جریان.

#### مواد مورد ضرورت:

یک وایر طویل، یک ورق کاغذ سفید، بطری، براده آهن به اندازه ضرورت، یک تعداد قطب نماها.

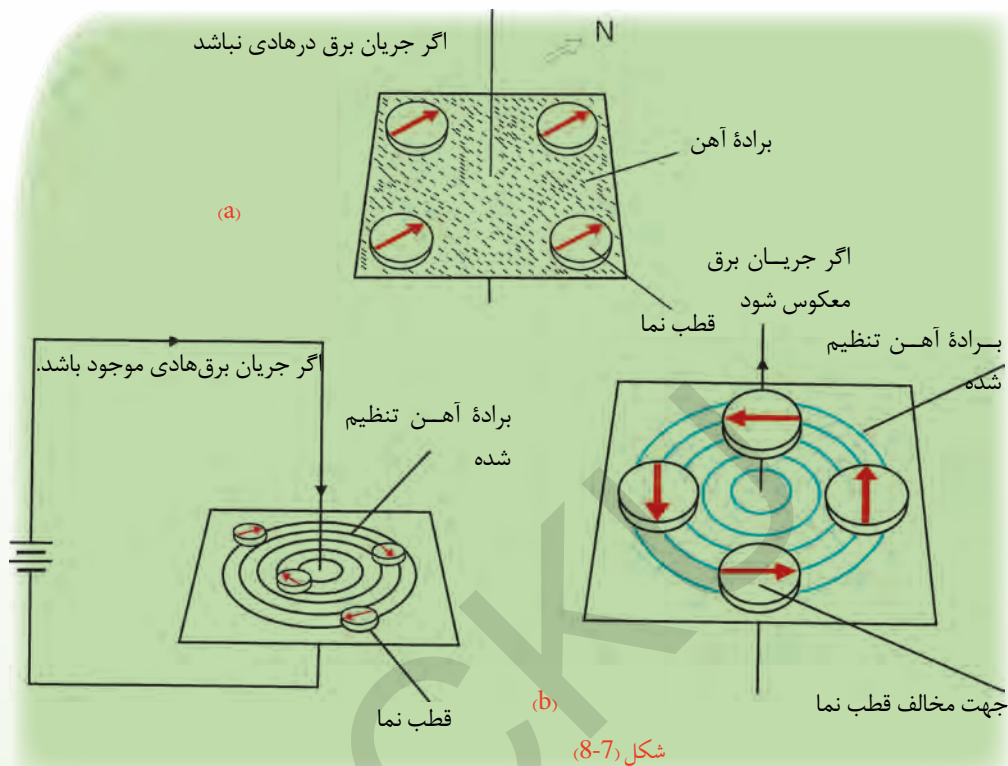
#### طرزالمعل:

- وایر طویل را از کاغذ سفید طوری عبور دهید که کاغذ به صورت افقی قرار داشته باشد.

- بالای کاغذ براده آهن را پاش دهید.

- انجام های وایر را با بطری وصل نمایید و جریان را از آن عبور دهید. چیزی را که مشاهده می نمایید آن را باهم صنفیان خویش شریک سازید، شکل (7-8)

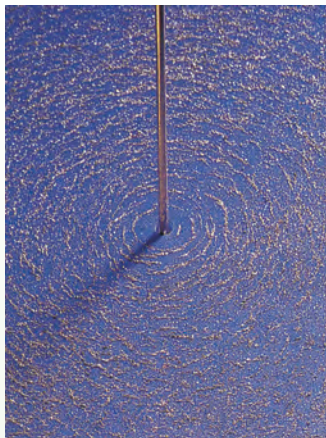




همچنان یک تعداد قطب‌ها را نزدیک وایر عمودی بالای مستوی افقی قرار دهید. زمانی که در وایر جریان وجود نداشته باشد، شما ببینید که عقربه‌های قطب نماها چگونه واقع می‌شوند. مرتبه دیگر از وایر جریان را عبور دهید، ببینید که در موقعیت‌های عقربه‌های قطب نماها چگونه تغییر به وجود می‌آید؟ مشاهدات خویش را بایک دیگر تان شریک سازید.

حالت اول نشان می‌دهد که هر گاه از وایر جریان عبور نماید، براده آهن در اطراف وایر دایره متحدالمرکز را تشکیل می‌دهد. در حالت دوم که در وایر جریان وجود نداشته باشد تمام عقربه‌ها به سبب ساحة مقناطیسی زمین در عین جهت قرار می‌گیرند، مگر زمانی که از وایر یک جریان مستقیم قوی عبور نماید، عقربه‌های قطب نماها در اطراف وایر در جهت مماس به دایره متحدالمرکز انحراف می‌نماید. از این تجارب واضح می‌گردد که ساحة مقناطیسی توسط جریان تولید می‌شود. هر گاه جهت جریان تغییر نماید جهت عقربه‌ها نیز تغییر می‌نماید.

چگونه می‌توانیم جهت این ساحةٔ مقناطیسی را تعیین نماییم؟ از تجارب فوق واضح می‌گردد که جهت ساحةٔ مقناطیسی  $B$  برای جریان قرار دادی توسط یک قانون ساده تعیین می‌گردد که به نام قانون دست راست یاد می‌شود. اگر وایر را طوری در دست راست بگیریم که شصت ما جهت جریان را داشته باشد، چنانچه در شکل نشان داده شده است، انحنای چهار انگشت دیگر ما در جهت  $B$  می‌باشد.



شکل (8-8)

- a- وقتی که وایر یک جریان قوی را انتقال می‌دهد.  
b- عقربه‌های قطب نماها می‌تواند غرض نشان دادن ساحةٔ مقناطیسی به کار برده شود.

همچنان شکل (8-9) نشان می‌دهد که  $B$  در هر محل مسیر دایروی یا مرکزیت وایر، دارای عین مقدار بوده و در مستوی عمودی بالای وایر واقع می‌باشد. تجارب نشان می‌دهد که  $B$  با جریان در وایر تناسب مستقیم و به فاصله از وایر تناسب معکوس دارد. یعنی  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$  در این جا،  $\frac{\mu_0}{2\pi}$  ثابت تناسب است که به صورت تجربی حاصل می‌گردد.



$\mu_0$  به نام ضریب نفوذ فضای آزاد یاد می‌شود و قیمت آن  $4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{weber}}{\text{A.m}}$  و یا  $\frac{T}{m}$  است.

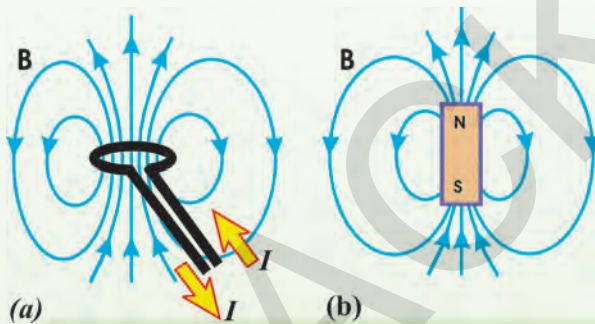
شکل (8-9) استفاده از قانون دست راست برای تعیین  $B$

### 8-3-2: ساحةً مقناطیسی یک کوایل

چگونه می‌توانیم جهت ساحةً مقناطیسی تولید شده توسط یک کوایل دایروی حامل جریان را تعیین نماییم؟ جهت ساحةً مقناطیسی یک کوایل دایروی حامل جریان را چنانچه در شکل (8-10a) نشان داده شده است با استفاده از قانون دست راست پیدا کرده می‌توانیم. بدون این‌که توجه گردد که قانون دست راست در کدام محل حلقه تطبیق می‌شود، ساحة در نقاط داخل حلقه دارای عین جهت بوده و به طرف بالا می‌باشد. یاد آوری می‌گردد که خطوط ساحةً مقناطیسی یک حلقهً حامل جریان مشابه به خطوط یک میلهً مقناطیسی می‌باشد، چنانچه در شکل (8-10b) نشان داده شده است.

برای یک حلقه، ساحة در مرکز حلقه عبارت است از:  $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$

در این جا  $R$  شعاع حلقه است و کوایلی که دارای  $N$  حلقه باشد در آن صورت  $B = \frac{N\mu_0 I}{2R}$  می‌باشد.



شکل (8-10)

a- ساحةً مقناطیسی یک کوایل  
دایروی حامل جریان  
b- ساحةً مقناطیسی یک میلهً  
مقناطیسی

### فعالیت

هدف: ساختن الکترو مقناطیس

مواد مورد ضرورت: بطری‌های خشک، وایر پوش دار به اندازه یک متر، یک میز بزرگ، عقربهً مقناطیسی.

### طرز العمل:

وایر را به اطراف میخ پچانیده، از انجام‌های وایر پوش آن را دور ساخته و بعداً این انجام‌ها را به ترمینال‌های بطری و صل نمائید. از عقربهً مقناطیسی به خطری استفاده نمایید که نشان دهید آیا میخ مقناطیس شده است یا خیر. بعداً بطری را طور معکوس وصل نمایید تا جهت جریان تغییر نماید. بار دیگر عقربهً مقناطیسی را به همان قسمت میخ نزدیک سازید. شما خواهید دید که نوک عقربهً مقناطیسی تغییر می‌نماید. آیا می‌توانید توضیح نمائید که چرا جهت عقربهً مقناطیسی تغییر می‌نماید؟ گیراهای کاغذ را به میخ در حالی نزدیک نمائید که بطری وصل باشد. با گیراهای کاغذ چه واقع می‌شود؟

با تغییر دادن تعداد حلقه‌ها بالای میخ و هم‌چنان با اتصال دو بطری، تجربه را تکرار نمایید و چیزی را که می‌بینید توضیح نمایید.

### 8-3-3: ساحةً مقناطیسی سولینوئید

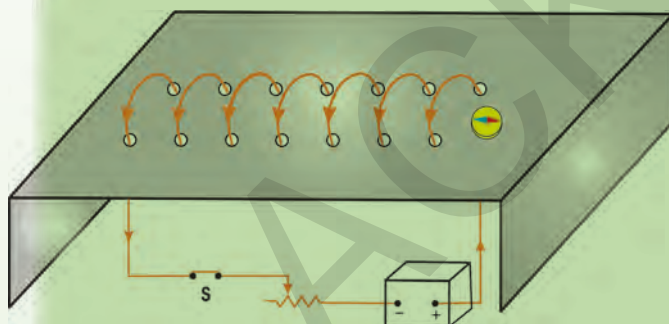
سولینوئید چیست؟ ساحةً مقناطیسی تولید شده توسط سولینوئید در کدام محل قویتر می باشد؟ گذاشتن یک میله آهن در داخل سولینوئید بالای ساحةً مقناطیسی چه تأثیر دارد؟ سولینوئید عبارت از یک وایر طویل است که به شکل فنر پیچیده شده باشد، چنانچه در شکل (8-11) نشان داده شده است.

### فعالیت زیر را انجام دهید:



#### فعالیت

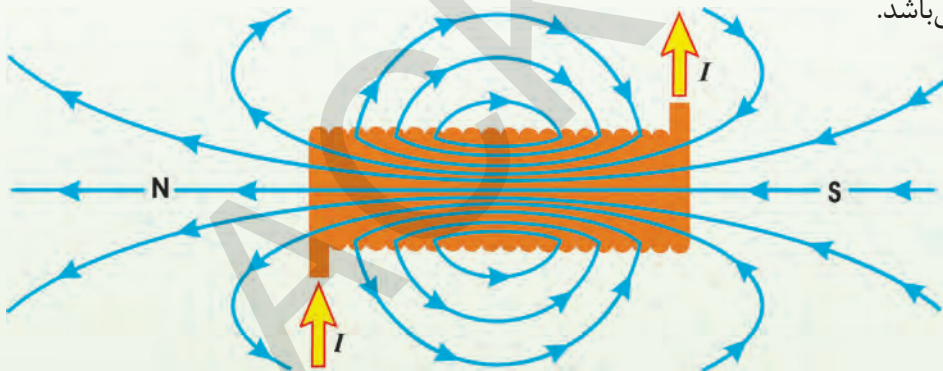
یک قطی پلاستیکی یا کاغذی را گرفته و در امتداد دو خط به فاصله‌های مساوی آنرا سوراخ نمایید. یک سیم را از سوراخ‌ها طوری عبور دهید که مطابق شکل، یک سولینوئید ساخته شود. از سولینوئید یک



شکل (8-11)

جریان ثابت را عبور دهید و با استفاده از عقربه مقناطیسی یا براده آهن خطوط ساحةً مقناطیسی سولینوئید را نشانی کنید. مشاهدات خویش را باهم شریک ساخته و بعداً با معلوماتی که در مورد ساحةً مقناطیسی سولینوئید بدست آورده اید مقایسه نمایید.

سولینوئید در بسیاری موارد مهم است زیرا وقتی که سولینوئید جریان را انتقال می‌دهد، مانند یک مغناطیس عمل می‌نماید. ساحهٔ مغناطیسی در داخل سولینوئید نسبت به جریان تزاید می‌نماید و با تعداد حلقه‌های واحد طول متناسب است یعنی:  $B = n\mu_0 I$  در این جا  $n = \frac{N}{l}$  (تعداد حلقه‌ها فی واحد طول) است.  $N$ ، تعداد حلقه‌ها و  $l$ ، طول سولینوئید را نشان می‌دهد.  $\mu_0$  ثابت و  $I$  اندازهٔ جریان مستقیم در سولینوئید است. در داخل کویل با گذاشتن یک میلهٔ آهنی می‌توانیم ساحهٔ مغناطیسی سولینوئید را افزایش دهیم: این آله عموماً به نام الکترومگنیت یاد می‌شود. ساحهٔ مغناطیسی که در میله تولید می‌شود، با ساحهٔ مغناطیسی سولینوئید جمع می‌شود، که معمولاً یک مغناطیس قوی را می‌سازد. شکل (8-12) خطوط ساحهٔ مغناطیسی یک سولینوئید را نشان می‌دهد. گفتنی است که خطوط ساحه در داخل سولینوئید دارای عین جهت بوده، تقریباً موازی اند، طور منظم واقع اند و باهم نزدیک می‌باشند. این نشان می‌دهد که ساحه در داخل سولینوئید قوی و تقریباً منظم است. ساحهٔ خارج سولینوئید غیر منظم و نسبت به ساحهٔ داخل سولینوئید ضعیفتر می‌باشد.



شکل (8-12) در داخل سولینوئید ساحه قوی و منظم است.

### سوالات:

- 1- ساحهٔ مغناطیسی تولید شده توسط یک وایر حامل جریان مستقیم دارای کدام شکل است؟
- 2- چرا ساحهٔ مغناطیسی در داخل سولینوئید نسبت به خارج سولینوئید قوی‌تر است؟

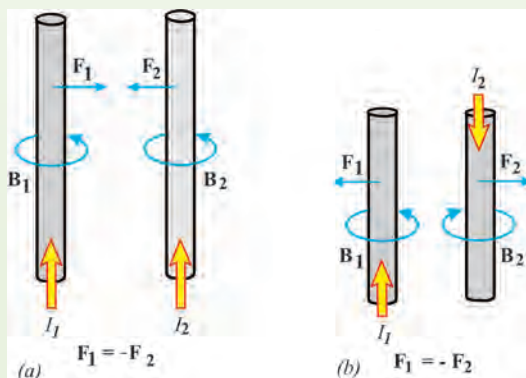
#### 8-4: قوه‌های مقناطیسی بین دو وایر حامل جریان

هر گاه یک‌هادی حامل جریان در یک ساحة خارجی واقع گردد، آیا بالای‌هادی قوه مقناطیسی عمل می‌نماید؟ چرا؟ قوه‌های مقناطیسی بین‌هادی‌های حامل جریان با جهات جریان‌های داخل‌هادی چگونه را بطه دارند؟

از قبل می‌دانیم که هر گاه یک‌هادی حامل جریان در بین یک ساحة مقناطیسی خارجی واقع گردد، بالای آن قوه مقناطیسی عمل می‌نماید، زیرا جریان‌هادی، خود یک ساحة مقناطیسی را تولید می‌نماید و در نتیجه عمل متقابل بین این دو ساحة مقناطیسی، بالای‌هادی، قوه مقناطیسی عمل می‌کند. از این جا به آسانی فهمیده می‌توانیم که هر گاه دوهادی حامل جریان نزدیک یک‌دیگر قرار داده شود، یکی بالای دیگر قوه‌های مقناطیسی وارد می‌نمایند. هر گاه دوهادی با هم موازی باشند، جهت ساحة مقناطیسی که توسط یک‌هادی تولید می‌شود بالای جهت جریان‌هادی دیگر عمود می‌باشد، و برعکس نیز چنین است. به این ترتیب قوه مقناطیسی  $F_m = BIl$  را بالای یک‌دیگر وارد می‌نمایند، در این جا  $B$  مقدار ساحة مقناطیسی است که توسط یک‌هادی به‌وجود می‌آید.

حال دو وایر طویل مستقیم و موازی را طوری در نظر می‌گیریم که در شکل (8-13) نشان داده شده است. هر گاه جریان‌ها در هر دو وایر دارای عین جهات باشند، دو وایر یک‌دیگر را جذب می‌نمایند. این ادعا با استفاده از قانون دست راست به اثبات می‌رسد.

جهت شصت شما جهت جریان در یک وایر، جهات انگشتان شما جهت ساحة تولید شده توسط وایر و جهت و کتوری که از کف دست شما در این حالت خارج می‌گردد، جهت قوه را به طرف وایر دیگر نشان می‌دهد. هر گاه جریان‌ها در وایرها دارای جهات مخالف باشند، وایرها یک‌دیگر را دفع می‌نمایند.



شکل (8-13) دو وایر موازی که هر کدام آن جریان ثابت را انتقال می‌دهد، یکی بالای دیگری قوه مقناطیسی وارد می‌نماید.

a- هر گاه جریان‌ها دارای عین جهت باشند وایرها یک‌دیگر را جذب می‌نمائید.

b- هر گاه جریان‌ها دارای جهات مخالف باشند، وایرها یک‌دیگر را دفع می‌نمایند.



## خلاصه فصل

• مقناطیس طبیعی همان اکسایدهای سنگی ( $Fe_3O_4$ ) اند که پارچه‌های آهنی را جذب می‌نمایند.

• فضای نزدیک یک مقناطیس که در آن جا مقناطیسیت اثر می‌نماید و این اثر مقناطیسیت مانند انحراف عقربه قطب نما مشاهده می‌گردد به نام ساحه مقناطیسی یاد می‌شود.

• بالای یک وایر مستقیم با طول  $l$  که جریان  $I$  را انتقال می‌دهد در بین ساحه مقناطیسی، قوه مقناطیسی ذیل می‌نماید.  $F = BIl$

• هر گاه یک حلقه مستطیل شکل که دارای عرض  $a$  و طول  $b$  بوده و جریان  $I$  در آن جاری باشد در ساحه مقناطیسی قرار گیرد که با مستوی حلقه موازی باشد، مومنت اعظمی بالای حلقه عبارت است از:  $\tau_{\max} = IabB = IAB$  در این جا  $A$  مساحت حلقه است.

• موتور برقی ماشینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید.  
• قانون بیوت-ساواریت آن ساحه مقناطیسی را بیان می‌نماید که توسط یک‌هادی حامل جریان تولید شده باشد. این‌هادی می‌تواند یک‌هادی مستقیم طویل باشد، شکل کویل را داشته باشد یا سولینوئید باشد.

• ساحه مقناطیسی ( $B$ ) یک‌هادی مستقیم طویل با جریان‌هادی تناسب مستقیم و با فاصله از هادی تناسب معکوس دارد یعنی:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$$

در این جا  $\frac{\mu_0}{2\pi}$  ثابت تناسب است.  $\mu_0$  به نام ضریب نفوذ فضای آزاد یاد می‌شود و قیمت آن  $4\pi \times 10^{-7} \frac{wb}{A.m}$  است.



• خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان، مشابه به خطوط میلهٔ مقناطیسی است و در مرکز حلقه، ساحه عبارت است از:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R} \text{ در این جا } R \text{ شعاع حلقه است.}$$

• شدت ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینوئید نسبت به جریان تزايد می‌نماید. به تعداد حلقه در فی واحد طول متناسب است یعنی:  $B = n\mu_0 I$  و در این جا  $n = \frac{N}{l}$  (تعداد حلقه فی واحد طول) است.  $N$  تعداد حلقه‌ها و  $l$  طول سولینوئید است.

## سوالات اخير فصل

- 1- هر گاه شما در قطب شمال زمین قرار داشته باشید جهت عقربهٔ مقناطیسی چگونه خواهد بود؟
- 2- هر گاه یک پارچهٔ آهنی مقناطیس نشده توسط یک قطب مقناطیس جذب گردد، آیا توسط قطب مخالف دفع خواهد شد؟
- 3- شما دو میلهٔ آهنی و پارچهٔ تار محکم دارید. هر گاه یک میلهٔ مقناطیس شده و دیگران مقناطیس نشده باشد، چگونه می‌دانید که کدام میله مقناطیس شده است.
- 4- یک‌هادی حامل جریان طوری قرار گرفته است که در آن الکترون‌ها از شرق به طرف غرب در حرکت اند. هر گاه یک عقربهٔ مقناطیسی را بالای این‌هادی بگذارید، عقربه به کدام جهت انحراف می‌نماید؟ (گفتنی است که جهت حرکت چارج‌های مثبت به‌حیث جهت مثبت جریان تعریف شده است)
- 5- شدت ساحهٔ مقناطیسی یک سولینوئید تابع کدام فکتورها است؟
- 6- هر گاه یک سولینوئید توسط تاری طوری آویخته شده باشد که بتواند طور آزاد دور بزند،





زمانی که سولینوئید جریان مستقیم را انتقال دهد آیا از آن به‌حیث یک قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ هرگاه جریان آن متناوب باشد، آیا بازهم از آن به‌حیث قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ توضیح دهید.

7- یک وایر، جریان  $10.0A$  را در جهتی انتقال می‌دهد که با ساحةً مقناطیسی زاویه  $90^\circ$  را تشکیل می‌دهد. هر گاه بالای طول  $50m$  این وایر، مقدار قوهً مقناطیسی  $15.0N$  باشد، شدت ساحةً مقناطیسی را در یافت نمایید؟

8- جریان  $I = 15A$  در جهت مثبت محور  $X$  و عمود بالای ساحةً مقناطیسی جاری می‌باشد. بالای‌هادی در جهت منفی محور  $Y$  قوهً مقناطیسی در فی واحد طول آن  $0.12 \frac{N}{m}$  است. مقدار و جهت ساحةً مقناطیسی را در ناحیه‌ی محاسبه نمایید که جریان از آن عبور می‌نماید.

9- ساحةً مقناطیسی را در داخل سولینوئید چگونه می‌توانیم قوی کرد؟

a- با از دیاد تعداد حلقه‌ها در فی واحد طول.

b- با تزاید جریان.

c- با گذاشتن میله آهنی در بین سولینوئید.

d- توسط تمام نقاط ذکر شده فوق.

10 - فرض می‌کنیم برق در دوهادی (وایرهای 1 و 2) در جریان است:

هر گاه وایر 1 جریان  $I_1$  را انتقال و ساحةً مقناطیسی  $B_1$  را تولید نماید و وایر 2 جریان  $I_2$  را در عین جهت انتقال و ساحةً مقناطیسی  $B_2$  تولید نماید. جهت قوهً ساحةً مقناطیسی در موقعیت وایر 2:

a- به‌طرف چپ است.

b- به‌طرف راست است.

c- به‌طرف داخل صفحه است.

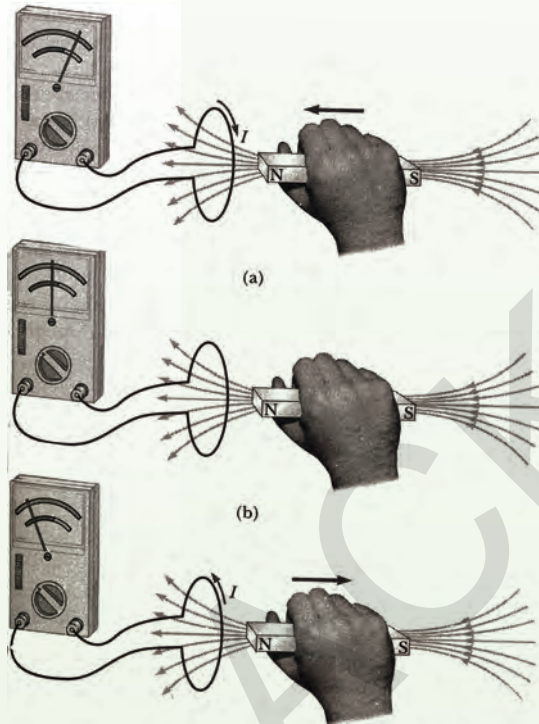
d- از صفحه به طرف خارج است



## القای الکترومقناطیسی و برق متناوب

قبلاً دیدیم که توسط القای برقی می‌توانیم اجسام را برقی (چارج دار) نماییم. هم‌چنان

القای مقناطیسی را نیز شناختیم. در حالت اول به سبب القأ در ماده‌هادی، چارج برقی تولید می‌شود و در حالت دوم به سبب القأ در یک ماده فیرومگنتیک، خاصیت مقناطیسی به وجود می‌آید. حال پرسش مطرح می‌گردد که آیا ممکن است در یک سرکت بدون بتری یا منبع، جریان برق تولید شود؟ اگر این کار ممکن باشد پس سوالی مطرح می‌گردد که قوه محرکه برقی این جریان القأ شده را چه می‌گویند؟ القای خودی چیست؟ برای این پرسش‌ها با مطالعه این فصل جواب گفته می‌توانیم. زمانی که این موضوعات را درک نمودیم بعداً به سوالاتی مانند این که سرکت RL چگونه سرکتی است؟ در



کوابل انرژی چگونه ذخیره می‌شود؟ سرکتهای RC و LC چگونه سرکتهایی اند؟ القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد؟ ترانسفارمر چیست؟ و جنراتور برقی داینامو چیست؟ نیز می‌توانیم جواب دریافت نماییم. آیا ممکن است در یک سرکت در عدم موجودیت بتری یا منبع برق جریان برق تولید گردد؟

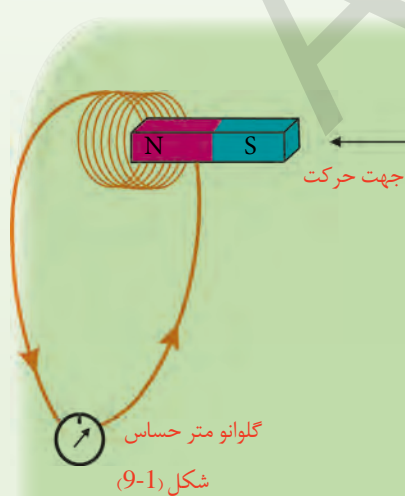
برای دریافت جواب به این پرسش فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم:

یک حلقه سیم را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل فوق با یک گلوآنومتر وصل شده است. زمانی که یک مقناطیس به این حلقه نزدیک آورده شود عقربه گلوآنومتر به یک طرف انحراف می‌نماید و این عقربه در حلقه موجودیت جریان برق را نشان می‌دهد که در شکل (a) انحراف عقربه گلوآنومتر به طرف راست نشان داده شده است. زمانی که حرکت

مقناطیسی توقف داده شود و مقناطیس نسبت به حلقه حالت سکون را اختیار نماید مطابق شکل (a)، انحراف عقربه گلوانومتر مشاهده نمی‌شود. این عملیه عدم موجودیت جریان برق را در حلقه نشان می‌دهد. زمانی که مقناطیس از حلقه دور می‌شود عقربه گلوانومتر در جهت مخالف حرکت می‌نماید. چنانچه در شکل (b) نشان داده شده است، این کار در حلقه موجودیت جریان برق را در جهت مخالف نشان می‌دهد. بالاخره اگر مقناطیس در حالت سکون حفظ گردد و حلقه به آن نزدیک یا از آن دور ساخته شود، عقربه گلوانومتر انحراف می‌نماید. از این مشاهدات نتیجه می‌شود که در وقت حرکت مقناطیس نسبت به حلقه در حلقه ساحة مقناطیسی تغییر می‌نماید. بنابراین مشاهده می‌شود که بین جریان و ساحة مقناطیسی متغیر رابطه‌ی وجود دارد. نتایج این تجارب حقیقتی را آشکار می‌سازد که در یک سرکت حتا در صورت عدم موجودیت بطری هم جریان برق تولید می‌شود. این نوع جریان به نام جریان القا شده یاد می‌شود و گفته می‌شود که این جریان به وسیله یک قوه محرکه برقی ( $emf$ ) القا شده تولید می‌شود. بنابر این مفهوم جریان القایی و  $emf$  القایی را باید شناخت، و به این منظور سرکتهای  $RC$ ،  $RL$  و  $LC$  مطالعه می‌شود، این که در کویل انرژی چگونه ذخیره می‌شود نیز در این فصل مطالعه می‌گردد. به همین گونه این که القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد، ترانسفارمر چیست و جنراتور چگونه فعالیت می‌نماید را نیز تا پایان این فصل مطالعه خواهیم کرد.

## 9-1: مفهوم القا

به خاطر درک مفهوم القا فعالیت ذیل را انجام دهید:



### فعالیت

#### مواد مورد ضرورت:

مقناطیس میله مانند، گلوانومتر حساس، کویل ساخته از سیم، لین‌های اتصالی

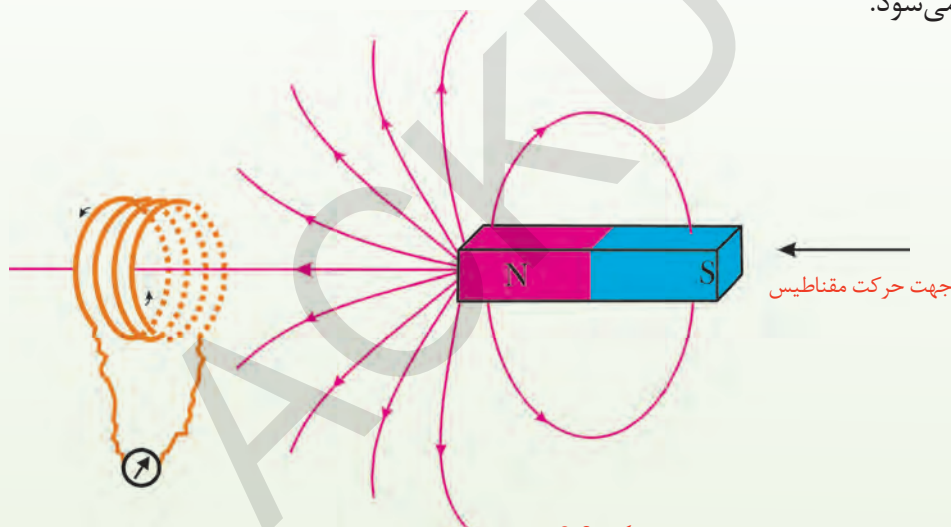
#### طرز العمل:

1. کویل و گلوانومتر را مطابق شکل ذیل وصل نمایید.
2. میله مقناطیسی را به کویل نزدیک نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را بنویسید.
3. میله مقناطیسی را از کویل دور نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را یادداشت نمایید.

### نتیجه:

شما مشاهده خواهید کرد که با نزدیک یا دور ساختن میلهٔ مغناطیسی به کویل، عقربهٔ گلوانومتر انحراف می‌نماید و این موجودیت جریان برق را در کویل نشان می‌دهد. یعنی که به سمت حرکت میلهٔ مغناطیسی نسبت به کویل، در کویل جریان برق تولید می‌شود. این حادثه را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان برقی القا شده می‌گویند. این که چگونه حرکت میلهٔ مغناطیسی نسبت به کویل سبب تولید جریان برقی القا شده می‌گردد، آن را چنین توضیح می‌نماییم:

نزدیک یا دور شدن میلهٔ مغناطیسی به کویل سبب تغییر ساحةٔ مغناطیسی در کویل می‌شود.



شکل (2-9)

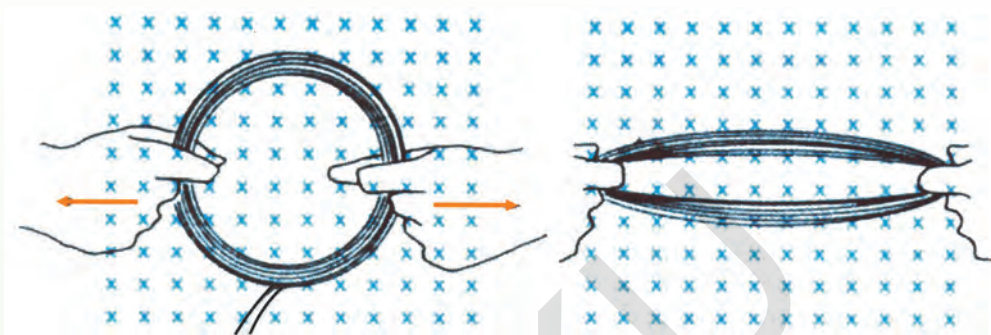
و به این سبب در کویل جریان القای برقی به وجود می‌آید. ازینجا نتیجه می‌گیریم که: تغییر ساحةٔ مغناطیسی از یک حلقهٔ بسته سبب ایجاد جریان برقی القا شده در حلقه می‌گردد.

برعلاوهٔ طریقه‌های ذکر شدهٔ فوق طریقه‌های دیگری نیز وجود دارند که می‌تواند توسط آن‌ها جریان برق در کویل تولید شود.

اگر یک کویل در بین ساحةٔ مغناطیسی منظم گذاشته شود، بعداً شکل کویل را تغییر

دهیم طوری که مساحت کویل تغییر نماید، مشاهده می‌شود که به سبب این عمل در کویل جریان برق تولید می‌شود. از این جا نتیجه می‌شود که:

در بین یک ساحهٔ مقناطیسی به وسیلهٔ تغییر مساحت یک حلقهٔ بسته نیز، در حلقه جریان القایی به وجود می‌آید.



شکل (3-9) جریان برق القا شده به اساس تغییر مساحت حلقه در ساحهٔ مقناطیسی.

## 9-2: قوهٔ محرکهٔ برقی جریان القایی

شما دیدید زمانی که میلهٔ مقناطیسی به حلقه نزدیک آورده می‌شود یا از حلقه دور می‌گردد، در حلقه جریان برق تولید می‌شود، که این جریان به وسیلهٔ  $emf$  القایی تولید می‌شود. از این تجربه آشکار می‌گردد که با نزدیک کردن و دور ساختن میلهٔ مقناطیسی از حلقه و هم‌چنان در صورت تغییر سائز حلقه، شدت ساحهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید. و در نتیجهٔ این تغییر  $emf$  در سرکت تولید می‌گردد. یک طریقهٔ پیشبینی تولید جریان در حالت داده شده این است که باید ملاحظه گردد چقدر خطوط ساحهٔ مقناطیسی توسط حلقه قطع می‌گردد. طور مثال، حرکت سرکت در بین ساحهٔ مقناطیسی سبب می‌شود که تعداد خطوط در حلقه تغییر نماید.

با تغییر دادن سائز حلقهٔ سرکت یا به سبب دوران حلقه، تعداد خطوط ساحه‌یی که از حلقه عبور می‌کنند تغییر می‌نماید، و این سبب تغییر شدت یا جهت ساحهٔ مقناطیسی می‌شود. چون عبور خطوط ساحهٔ مقناطیسی از مساحت یک حلقهٔ هادی عبارت از فلکس مقناطیسی است، پس از تجارب فوق گفته می‌توانیم که در نتیجهٔ تغییر فلکس نظر به زمان از حلقه، قوهٔ محرکهٔ برقی ( $emf$ ) تولید می‌شود، که به نام قوهٔ محرکهٔ برقی  $emf$  القا شده یاد می‌گردد.

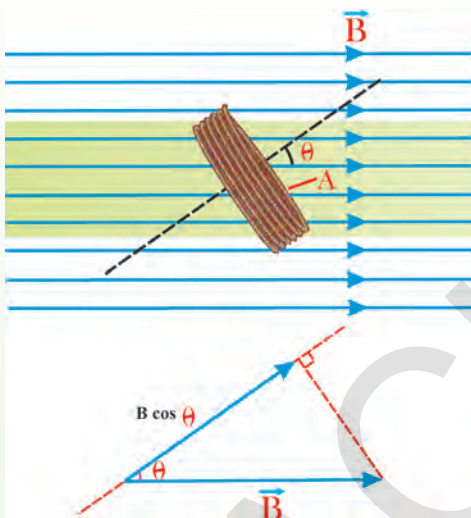


برای محاسبه  $emf$  القا شده باید از قانون اندکشن مغناطیسی فارادی استفاده نماییم. برای یک حلقه سرکت، این قانون طور ذیل بیان می‌شود:

$$emf = - \frac{\Delta \phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مغناطیسی  $\phi_M$  را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم:

$$\phi_M = AB \cos \theta$$



شکل (9-4) زاویه بین ساحت مغناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه با شدت ساحت مغناطیسی بالای مستوی حلقه مساوی می‌باشد.

این رابطه بیان می‌نماید که تغییر شدت ساحت مغناطیسی  $B$ ، مساحت حلقه  $A$  و زاویه  $\theta$  نظریه زمان،  $(emf)$  القا شده را تولید می‌کند و حد  $B \cos \theta$  مرکبه عمودی ساحت مغناطیسی را بالای مستوی حلقه نشان می‌دهد. زاویه  $\theta$  عبارت از زاویه بین ساحت مغناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه می‌باشد، چنانچه در شکل نشان داده شده است:

$$emf = - \frac{\Delta \phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مغناطیسی  $\phi_M$  را چنین نوشته کرده می‌توانیم:

$$\phi_M = AB \cos \theta$$

علامه منفی نشان می‌دهد که ساحت مغناطیسی القا شده، مخالف تغییر ساحت مغناطیسی تطبیق شده است. اگر تعداد حلقه‌های پیچیده شده  $N$  باشد،  $emf$  القا شده وسطی به طور ساده،  $N$  برابر  $emf$  القا شده است که برای یک حلقه می‌باشد. بنابر این شکل عمومی قانون اندکشن مغناطیسی فارادی عبارت است از:  $emf = -N \frac{\Delta \phi_M}{\Delta t}$ ، در این جا  $N$  تعداد حلقه‌ها است.

گفتنی است که واحد ساحت مغناطیسی در سیستم SI تسلا (T) است که با  $1 \frac{N}{m^2}$  مساوی می‌باشد. چون  $N = V \cdot A \cdot s / m$  است، پس می‌توانیم تسلا را با واحد معادل  $\frac{V \cdot S \cdot A \cdot m}{m^2}$  نیز نشان دهیم.

### 9-3: القای خودی (Self Induction)

کلمه القای برای کدام ( $emf$ ) ها و جریان‌ها به کار برده می‌شود؟  
کلمه القای برای  $emf$  ها و جریان‌هایی به کار برده می‌شود که توسط تغییر ساحة مقناطیسی تولید شده باشند. برای وضاحت این موضوع، سرکتی را در نظر می‌گیریم که متشکل از یک سویچ، یک مقاومت و یک منبع  $emf$  باشد.

آیا با وصل کردن سویچ، جریان ناگهانی در سرکت به قیمت اعظمی خود می‌رسد؟  
زمانی که وصل گردد جریان از صفر الی قیمت اعظمی اش ( $\mathcal{E}/R$ ) به طور ناگهانی جهش نمی‌کند و این موضوع را قانون اندکشن فارادی طور ذیل بیان می‌نماید:  
زمانی که جریان برق نظر به وقت تزايد می‌نماید، از بین حلقه سرکت، فلکس مقناطیسی نیز به سبب این جریان نظربه وقت تزايد می‌کند. این فلکس زیاد شونده در سرکت یک  $emf$  القا شده را تولید می‌کند  $emf$  القا شده دارای جهتی می‌باشد که در حلقه جریان تولید نماید تا ساحة مقناطیسی ناشی از آن مخالف تغییر ساحة مقناطیسی اصلی باشد. بنابر این  $emf$  القا شده دارای جهت مخالف  $emf$  بتری می‌باشد. این حالت به نسبت تزايد لحظوی جریان برق الی قیمت نهایی حالت تعادل آن بیشتر تزايد تدریجی آن را نشان می‌دهد. به این سبب است که جهت  $emf$  القا شده به نام  $emf$  معکوس نیز یاد می‌شود. این اثر به نام اندکشن خودی یاد می‌شود، زیرا فلکس در سرکت تغییر می‌نماید و در نتیجه  $emf$  القا شده به وجود می‌آید که خود سرکت آن را تولید می‌نماید. قوه محرکه برقی  $\mathcal{E}_1$  که در این حالت تولید می‌شود، به نام  $emf$  القا شده یاد می‌گردد.





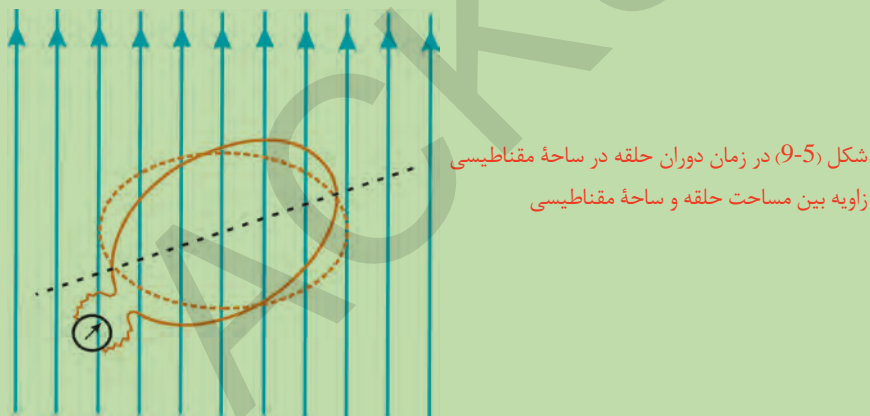
## فعّالیت

با اجرای فعّالیت ذیل با طریقه دیگری تولید جریان برق القأ شده آشنا می‌شویم.

میله مقناطیسی را در نزدیک یک حلقه بگذارید. بدون این که فاصله میله مقناطیسی از حلقه تغییر نماید، حلقه را دور بدهید. چیزی را که در گلوآنومتر مشاهده می‌کنید آن را یادداشت نمایید. شما خواهید دید که با انجام این کار، گلوآنومتر یک جریان برق را نشان می‌دهد. علت آن این است که با دور دادن حلقه در بین ساحة مقناطیسی مطابق شکل (5-9) شدت ساحة مقناطیسی و مساحت حلقه تغییر نمی‌کند، بلکه زاویه بین ساحة مقناطیسی و مساحت تغییر می‌نماید. از این فعّالیت نیز نتیجه می‌شود که:

تغییر زاویه بین حلقه و ساحة مقناطیسی نیز عامل ایجاد جریان القأ شده می‌گردد.

طرق ایجاد جریان القأ شده در یک حلقه طور ذیل خلاصه می‌شود:





مشاهده می‌شود که یا تغییر ساحت مغناطیسی در حلقه، تغییر مساحت حلقه، و یا با تغییر زاویه بین مساحت و جهت ساحت مغناطیسی، در کویل جریان برق تولید می‌شود. حال کمیتی را تعریف می‌نماییم که این سه کمیت نامبرده در آن شامل باشد و آن عبارت از فلکس مغناطیسی می‌باشد.

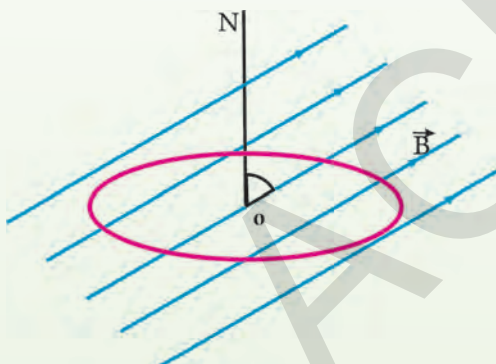
### فلکس مغناطیسی

فرض نمایید که با مساحت  $A$  یک حلقه مطابق شکل ذیل در ساحت منظم  $B$  قرار دارد. فلکس مغناطیسی که از این سطح عبور می‌نماید طور ذیل تعریف و توسط  $\phi$  نشان داده می‌شود.

$$\phi = BA \cos \theta$$

در رابطه فوق  $\theta$  زاویه بین جهت ساحت مغناطیسی  $\vec{B}$  و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد. در سیستم SI واحد فلکس مغناطیسی ویر (Wb) است. از معادله فوق نتیجه می‌شود که:

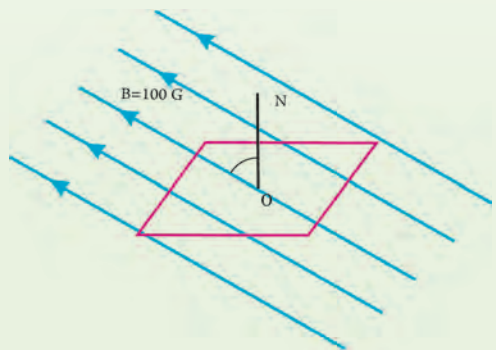
$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \times 1 \text{ m}^2$$



شکل (9-6) در یک ساحت مغناطیسی منظم  $\vec{B}$  حلقه و عمود  $N$  بالای سطح حلقه و  $\theta$  زاویه بین عمود  $N$  و ساحت مغناطیسی است.

### مثال:

الف) فلکس مغناطیسی را از بین سطح حلقه مستطیل شکلی که دارای ابعاد  $20\text{cm} \times 30\text{cm}$  باشد در حالی دریافت نمایید که عمود بالای سطح آن با ساحت مغناطیسی  $100$  گوس، زاویه  $60^\circ$  را تشکیل بدهد.



شکل (9-7)

ب) اگر این حلقه را طوری دور بدهیم که زاویه بین خط عمود بالای آن و خطوط ساحه مقناطیسی از  $60^\circ$  به  $30^\circ$  کاهش یابد، تغییر فلکس مقناطیسی را دریافت نمایید.

### حل:

الف) مطابق شکل، خط ON را بالای سطح طور عمود رسم نمایید. زاویه بین ساحه مقناطیسی و خط ON،  $60^\circ$  است، بنابراین داریم که:

$$A = 30 \times 20 = 600 \text{ cm}^2 = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$B = 100 \text{ G} = 10^{-2} \text{ T}$$

$$\begin{aligned} \phi &= BA \cos \theta = 10^{-2} \times 6 \times 10^{-2} \cos 60^\circ \\ &= 3 \times 10^{-4} \text{ Wb} \end{aligned}$$

ب) در وضعیت جدید داریم که:

$$\theta' = 30^\circ$$

$$\phi' = BA \cos \theta' = 10^{-2} \times 6,0 \times 10^{-2} \cos 30^\circ$$

$$\phi' = 5,2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

تغییر فلکس به سبب این دوران عبارت است از:

$$\Delta \phi = \phi' - \phi = 5,2 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-4} = 2,2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$



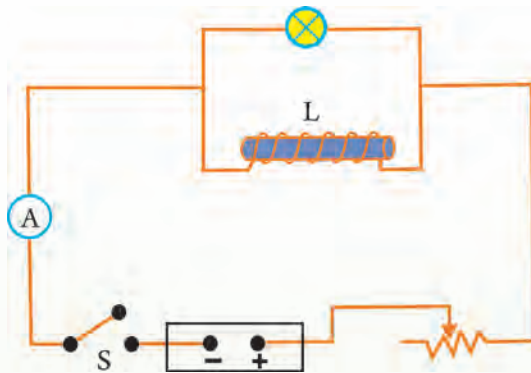
### فعالیت

**هدف:** مطالعه تغییر جریان در یک سرکت و ترسیم گراف آن.  
**مواد مورد ضرورت:** یک چراغ 12 ولت، باتری، ریوستات، سویچ، لین‌های ارتباطی، کوایل (دارای 200 یا 400 حلقه باشد)، هسته آهنی

### طزرا العمل:

1. سرکت را مطابق شکل ذیل وصل نمایید.
2. ریوستات را طوری تنظیم نمایید که چراغ طور ضعیف روشن گردد.
3. سویچ را ناگهانی قطع نمایید و مشاهدات خویش را با گروه خود تحت بحث قرار داده و بعداً با هم صنفان خود آن را شریک سازید.

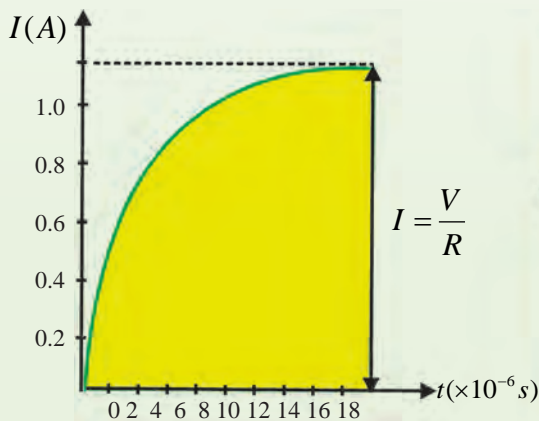




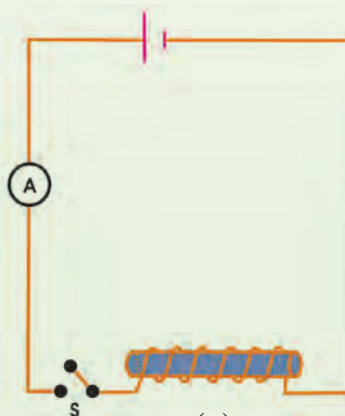
شکل (8-9)

**نتیجه:** چنانچه می‌دانید، تغییر جریان در یک کویل سبب تولید قوه محرکه برقی در کویل می‌گردد. تولید قوه محرکه برقی سبب می‌شود که جریان به سرعت به قیمت نهایی خود نرسد. به طور مثال سرکت (9-9) را در نظر بگیرید که در آن یک کویل با حلقه‌های نسبتاً بیشتری به انجام‌های یک بتری وصل گردیده است.

زمانی که سوئیچ را وصل می‌نماییم جریان به طور ناگهانی به همان اندازه نمی‌رسد که از قانون اوم ( $I = \frac{V}{R}$ ) بدست می‌آید. ازین جا نتیجه می‌شود که در حین وصل سوئیچ، جریان با تزاید آغاز می‌نماید و قوه محرکه برقی خود در مقابل قوه محرکه برقی بتری القا می‌گردد. در نتیجه جریان در سرکت از حالتی کوچک‌تر می‌شود که کویل در سرکت نباشد. یعنی جریان از آن اندازه کوچک‌تر است که از رابطه  $I = \frac{V}{R}$  حاصل می‌شود. با گذشت زمان و با نزدیک شدن جریان به قیمت  $I$  چگونگی تغییر جریان بطی می‌گردد. چون جریان برابر به قیمت  $I$  گردید بعد از این جریان تغییر نکرده و قوه محرکه برقی صفر می‌شود.



(b)

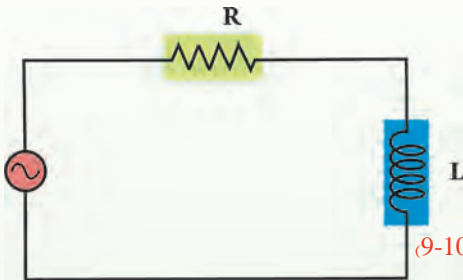


(a)

شکل (9-9) در سرکتی که شامل کویل است اثر کویل بالای:  
(a) مقاومت  $R$  کویل.  
(b) چگونگی تغییر جریان در حین وصل کردن سوئیچ.

#### 9-4: سرکتهای RL

سرکتهای را در نظر می‌گیریم که شامل یک مقاومت و یک کویل باشد. چنانچه در شکل (9-10) نشان داده شده است. به اساس دیاگرام فاز که در شکل (9-10) رسم گردیده است، ولتیی انجام‌های مقاومت با جریان هم فاز می‌باشد و ولتیی انجام‌های کویل با جریان به اندازه زاویه  $90^\circ$  تفاوت فاز دارد. ولتیی مجموعی عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد. مقدار ولتیی مجموعی عبارت است از:



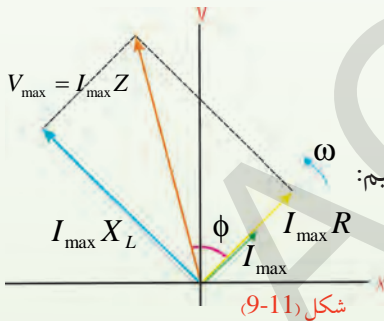
شکل (9-10)

$$V_{\max} = \sqrt{(I_{\max} R)^2 + (I_{\max} X_L)^2}$$

$$= I_{\max} \sqrt{R^2 + X_L^2} = I_{\max} Z$$

افاده‌یی که در این حالت امپیدنس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$



شکل (9-11)

واحد امپیدنس اوم است.

برای سرکت RL فکتور طاق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

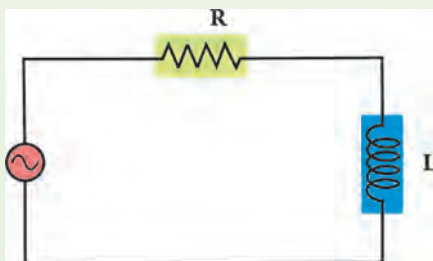
#### مثال:

کویلی با اندکتیویته  $0.38H$  (هنری) و  $L =$  یک مقاومت  $225\Omega$  با جنراتور ac که دارای ولتیی  $rms$  برابر به  $30.0v$ ، و فریکونسی  $60.0Hz$  می‌باشد، طور مسلسل وصل گردیده است.

(a) قیمت  $rms$  جریان را در سرکت دریافت نمایید.

(b) قیمت  $rms$  ولتیی را در انجام‌های مقاومت دریافت نمایید.

(c) قیمت  $rms$  ولتیی را در انجام‌های کویل دریافت نمایید.



شکل (9-12)

شکل نشان می‌دهد که یک جنراتور ac با فریکونسی  $60.0\text{Hz}$  به صورت مسلسل با مقاومت  $22.5\Omega$  و کوایل به اندکیتیویتی  $0.38H$  وصل گردیده است.

چون در صورت اتصال مسلسل از هر عنصر سرکت عین جریان عبور می‌نماید از این جا  $rms$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} \quad \text{جریان برق در سرکت عبارت است از:}$$

در این جا امپیدنس عبارت است از:  $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$   
ولتیج  $rms$  در انجام‌های مقاومت  $V_{rmsR} = I_{rms} \cdot R$  است.  
ولتیج  $rms$  در انجام‌های کوایل  $V_{rmsL} = I_{rms} \omega L$  می‌باشد.

**حل:**

(a) نخست امپیدنس سرکت را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (\omega = 2\pi f L)^2} \\ &= \sqrt{(225\Omega)^2 + [2\pi (60.0s^{-1})(0.38H)]^2} \\ &= 267\Omega \end{aligned}$$

حال برای دریافت جریان  $rms$  از  $Z$  استفاده می‌نماییم.

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{30.0V}{267\Omega} = 0.112A$$

(b) با ضرب کردن  $R$  در  $I_{rms}$  ولتیج  $rms$  را در انجام‌های مقاومت دریافت می‌نماییم:

$$V_{rmsR} = I_{rms} R = (0.112A)(225\Omega) = 25.2V$$

(c) با ضرب کردن ریکتنس کوایل در  $I_{rms}$  و ولتیج  $rms$  را در انجام‌های کوایل حاصل می‌نماییم:

$$\begin{aligned} V_{rmsL} &= I_{rms} X_L = I_{rms} \omega L \\ V_{rms} &= (0.112A)2\pi (60.0s^{-1})(0.38H) = 16.0V \end{aligned}$$

## 5-9: انرژی ذخیره شده در کوایل

هر گاه در انجام‌های یک کوایل تفاوت پوتانسیل تطبیق گردد، از طرف منبع به کوایل انرژی داده می‌شود. یک قسمت این انرژی در مقاومت  $R$  که با هر سیم می‌باشد، ضایع می‌گردد و قسمت باقیمانده آن در ساحة مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شود که توسط رابطه ذیل



حاصل می‌گردد.

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

این انرژی در ساحةٔ مقناطیسی که بر سبب عبور جریان از کوایل تولید می‌شود، ذخیره می‌گردد.

**مثال:** کوایلی را که دارای ضریب اندک‌تیویتی  $0.4H$  و مقاومت  $100\Omega$  می‌باشد در نظر بگیرید. کوایل با باتری  $6V$  وصل گردیده است. مقدار انرژی ذخیره شده را در کوایل معلوم نمایید.

**حل:**

بعد از این که جریان در سرکت به قیمت نهایی خود برسد داریم که:

$$I = \frac{v}{R} = \frac{6}{100} = 0.06 \text{ Amp}$$

با استفاده از رابطه (4) فوق، انرژی ذخیره شده در کوایل عبارت است از:

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} LI^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.4) (0.06)^2 = 7.2 \times 10^{-4} \text{ Joul} \end{aligned}$$

#### 9-6: سرکت RC

یک سرکت ac را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (9-13) شامل یک خازن با ظرفیت C و یک مقاومت R باشد.

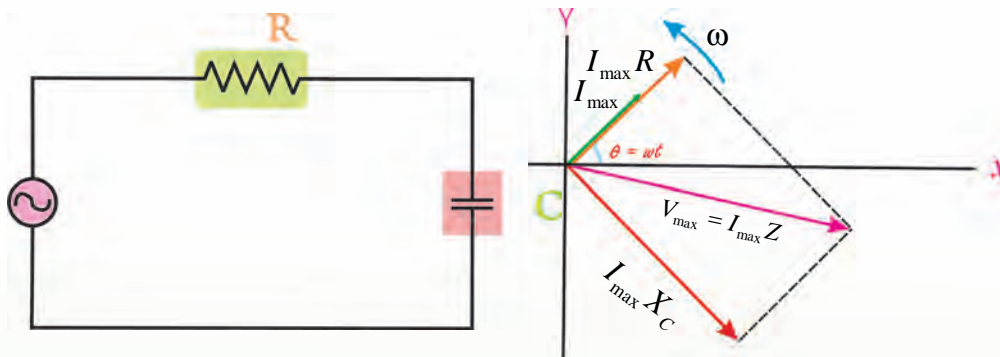
چنانچه در دیاگرام فازی (9-13) رسم گردیده است، ولتیج انجام‌های خازن با جریان به اندازهٔ زاویهٔ  $90^\circ$  تفاوت فاز دارد، طوری که ولتیج مجموعی نسبت به جریان تاخیر فاز دارد. ولتیج مجموعی سرکت عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد. مقدار ولتیج مجموعی عبارت است از:

$$\begin{aligned} V_{\max} &= \sqrt{(I_{\max} R)^2 + (I_{\max} X_c)^2} \\ &= I_{\max} \sqrt{R^2 + X_c^2} = I_{\max} Z \end{aligned}$$

افاده‌یی که در این حالت امپدانس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$Z = \sqrt{R^2 + x_c^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega c}\right)^2}$$





شکل (9-13)

فکتور طاق‌ت متوسط را برای سرکت RC می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \cdot \cos\phi$$

و در صورت جریان و خازن:

در سرکت جریان و ولتاژ:  $\cos\phi = 0$  بوده و با وضع

$$P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \times 0 = 0$$

یعنی  $P_{av} = 0$  به دست می‌آید.

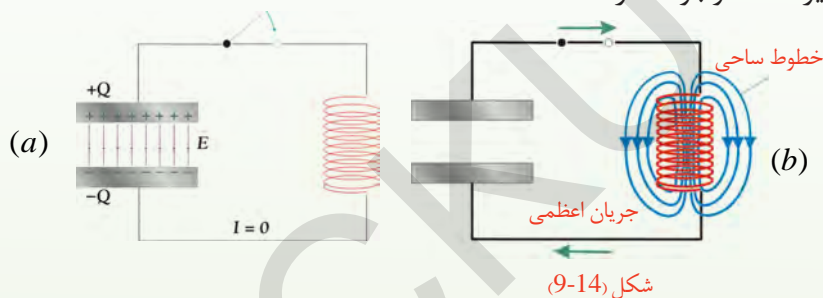
$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

## 9-7: سرکتهای LC

ساده‌ترین سرکتهی که بدون جنراتور، یک جریان برقی نوسانی را نشان می‌دهد عبارت از سرکت LC است، یعنی این سرکتهی است که بدون یک کوایل و یک خازن چیزی دیگری ندارد. طور مثال فرض می‌نماییم که در  $t = 0$  یک خازن چارج دار با یک کوایلی وصل می‌گردد که در این لحظه در سرکت جریان برق وجود ندارد، چنان‌چه در شکل (9-14a) نشان داده شده است. چون خازن چارجدار است و دارای ولتیی  $v = \frac{Q}{C}$  می‌باشد، بنابراین سبب جاری شدن جریان در سرکت می‌شود، چنان‌چه در شکل (9-14b) نشان داده شده است. خازن به سرعت از چارج خالی می‌گردد و ولتیی آن به صفر سقوط می‌کند، ولی جریان در سرکت جاری خواهد بود. زیرا کوایل جریان را در سرکت حفظ می‌نماید. در حقیقت، جریان برق تا زمانی جاری باقی می‌ماند که خازن به صورت مکمل در جهت مخالف به خاطر توقف جریان، چارج گردد، چنان‌چه در شکل (9-14c) نشان داده شده است. در این وقت جریان برق واپس به مسیری جاری می‌گردد که از آن آمده است و حوادث مشابه تکرار می‌گردند، که سبب اهتزازات متواتر جریان می‌شود. این اهتزازات دوام می‌کند زیرا نه کوایل و نه هم خازن انرژی را ضایع می‌کند. این حالت به صورت مکمل مشابه به حالتی است که یک کتله توسط یک فنر در محیطی اهتزاز می‌کند که در آنجا اصطکاک وجود ندارد، چنان‌چه در شکل (9-14) نشان داده شده است. در  $t = 0$  خازن بالای لوحه‌های خود دارای چارج Q



می‌باشد، یعنی که خازن به اندازه  $U_c = \frac{Q^2}{2C}$  ذخیره انرژی دارد. این حالت مشابه به حالتی است که فنر به اندازه فاصله  $x$  منقبض گردیده و به اندازه  $U = \frac{1}{2} k x^2$  انرژی پوتانسیل را ذخیره می‌نماید. بعد از مدتی چارج خازن صفر می‌شود، بنابر این دارای انرژی نمی‌باشد. مگر این انرژی ضایع نمی‌گردد، بلکه حال این انرژی در کوایل می‌باشد، چیزی که جریان برق  $I$  را انتقال می‌دهد و انرژی  $U_L = \frac{1}{2} LI^2 = U_c$  را ذخیره می‌کند. این حالت در سیستم کتله - فنر مطابقت به وضعیتی می‌نماید که فنر در حالت تعادل واقع باشد. در این وقت انرژی مجموعی سیستم عبارت از انرژی حرکی کتله ( $K_E = \frac{1}{2} mv^2 = U$ ) می‌باشد، و در فنر انرژی ذخیره شده وجود ندارد.



چون جریان برق ادامه دارد، این جریان خازن را با قطبیت مخالف تا زمانی چارج می‌کند که اندازه چارج آن به  $Q$  و ذخیره انرژی آن به  $U_c$  حالتی برسد که در حالت داشتن ظرفیت بزرگ بوده. در سیستم کتله - فنر این حالت به همان حالت فنر مطابقت می‌نماید که به اندازه مشابه  $x$  انبساط کرده باشد، که تمام انرژی ابتدایی را به شکل انرژی پوتانسیل دوباره ذخیره می‌کند. بنابر این می‌بینیم که بین خازن، فنر، کوایل و کتله شباهت نزدیک وجود دارد. بر علاوه چارج خازن با انبساط فنر و جریان در کوایل با سرعت کتله شباهت دارد. به طور مثال انرژی ذخیره شده در کوایل ( $\frac{1}{2} LI^2$ ) با انرژی حرکی کتله ( $\frac{1}{2} mv^2$ ) مطابقت دارد. از مقایسه انرژی پوتانسیلی فنر ( $\frac{1}{2} kx^2$ ) و انرژی ذخیره شده در خازن ( $\frac{Q^2}{2C}$ ) می‌بینیم که سفتی فنر مشابه  $\frac{1}{C}$  است. از این جا نتیجه می‌شود که یک خازن با داشتن ظرفیت بزرگ (C) می‌تواند مقدار زیادی چارج را ذخیره نماید. چنانکه یک فنر با داشتن (ثابت قوه‌یی کوچک) می‌تواند با آسانی انبساط نماید (اگر C بزرگ باشد، پس  $k = \frac{1}{C}$  کوچک است).



در سیستم کتله - فنر، فریکونسی طبیعی زاویه‌ای اهتزاز از خواص سیستم تعیین می‌گردد. یعنی:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

در شکل (9-14) فریکونسی طبیعی سرکت LC را می‌توانیم با در نظر داشت این دریافت نماییم که ولتج  $rms$  انجام‌های خازن  $C$  باید مساوی به ولتج  $rms$  انجام‌های کوایل باشد. این شرط را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$V_{rmsC} = V_{rmsL}$$

$$I_{rms} X_C = I_{rms} X_L$$

$$I_{rms} \left( \frac{1}{\omega C} \right) = I_{rms} (\omega L) \quad \text{برای } \omega \text{ دریافت می‌نماییم که:}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f \dots\dots\dots (10-24) \quad \text{[فریکونسی طبیعی سرکت LC]}$$

واحد آن در SI،  $s^{-1}$  است.

اگر تبدلات ذیل را به وجود آوریم  $m \rightarrow L$  و  $k \rightarrow \frac{1}{C}$ ، می‌توانیم دریافت نماییم که:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

مشابهت سیستم کتله - فنر و سرکت LC در جدول ذیل نشان داده شده است.

### جدول: مشابهت بین سیستم کتله - فنر و سرکت LC.

سرکت LC	سیستم کتله - فنر
<p>چارج <math>Q</math></p> <p>جریان برق <math>I = \frac{\Delta q}{\Delta t}</math></p> <p>اندکتنس <math>L</math></p> <p>معکوس ظرفیت <math>\frac{1}{C}</math></p> <p>فریکونسی طبیعی <math>\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}</math></p>	<p>موقعیت <math>x</math></p> <p>سرعت <math>v = \frac{\Delta x}{\Delta t}</math></p> <p>کتله <math>M</math></p> <p>ثابت قوه وی <math>K</math></p> <p>فریکونسی طبیعی <math>\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}</math></p>



### تمرین:

می‌خواهیم که فریکونسی طبیعی یک سرکت LC را با استیشن رادیویی FM وصل نماییم که سکنال  $88.5\text{MHz}$  را پخش می‌نماید. اگر در این سرکت با  $1.5\mu\text{Hz}$  یک کوایل به کار برده شده باشد، به کدام ظرفیت خازن ضرورت می‌باشد.

**حل:** از رابطه  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  برای ظرفیت دریافت می‌نماییم که:

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 88.5 \times 10^6 \text{ s}^{-1})^2 (1.50 \times 10^{-6} \text{ H})}$$
$$= 2.16 \times 10^{-12} \text{ F}$$

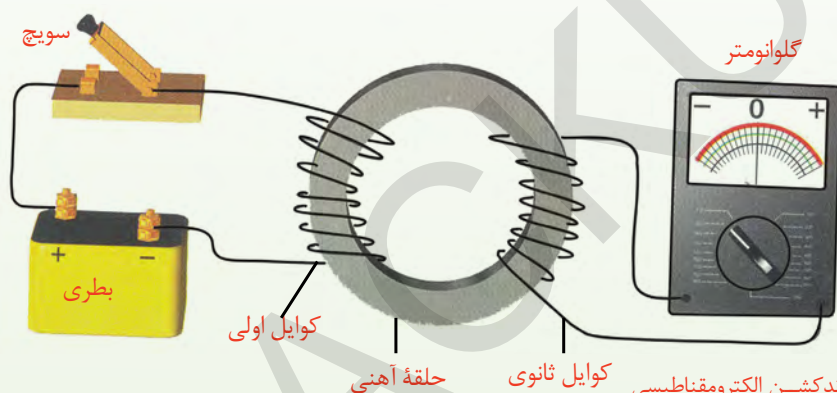
### 9-8: القای متقابل

اصول اساسی اندکشن الکترومقناطیسی مرتبه اول توسط میخایل فارادی (Michael Faraday) تشریح شد. از آلات تجربی که موصوف استفاده کرده است، در شکل (9-15) نشان داده شده است. این آلات یک کوایل بوده که با سوییچ وصل گردیده و یک بتری است که عوض مقناطیس غرض تولید ساحة مقناطیسی به کار برده شده است. این کوایل به نام کوایل اولی یاد می‌شود و سرکت آن به نام سرکت اولی یاد می‌گردد. ساحة مقناطیسی توسط خاصیت مقناطیسی حلقه آهنی که در اطراف آن کوایل اولی پیچانیده شده است قوی می‌گردد. کوایل دومی در طرف دیگر حلقه آهنی پیچانیده شده و با یک گلوانومتر وصل گردیده است. زمانی که ساحة مقناطیسی کوایل اولی تغییر می‌نماید، یک قوه محرکه برقی ( $emf$ ) در کوایل دوم تولید می‌گردد. وقتی که سوییچ در کوایل اول وصل شود، عقربه گلوانومتر در سرکت دوم به یک جهت انحراف می‌نماید و بعداً به صفر بر می‌گردد. زمانی که در سرکت اول جریان برق ثابت باشد عقربه گلوانومتر صفر خوانده می‌شود. پیشگویی مقدار این  $emf$  به اساس قانون اندکشن فارادی صورت می‌گیرد، می‌توانیم قانون فارادی را طوری بنویسیم که  $emf$  تولید شده در کوایل اول متناسب یا تغییر جریان است. این کار را انجام داده می‌توانیم، زیرا بین ساحة مقناطیسی تولید شده توسط جریان در کوایل یا سولینوئید و خود جریان تناسب مستقیم وجود دارد. قانون فارادی از اثر تغییر جریان در سرکت اول شکل ذیل را دارد.

$$emf = -N \frac{\Delta \phi_M}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ثابت  $M$  به نام اندکتنس متقابل سیستم دو کویل یاد می‌شود. اندکتنس متقابل کویل‌ها مربوط به خواص هندسی و موقعیت‌های شان نسبت به یکدیگر می‌باشد. یک جریان متغیر در کویل دوم نیز یک  $emf$  را در سرکت اول تولید می‌نماید. در حقیقت زمانی که در کویل دوم جریان تغییر می‌نماید،  $emf$  تولید شده در کویل اول با داشتن عین قیمت  $M$  از معادله مشابه پیروی می‌کند.

$emf$  تولید شده در کویل دوم، با تغییر تعداد حلقه‌های کویل دوم تغییر کرده می‌تواند. این ترتیب اساس یک آله برقی خیلی مفید را تشکیل می‌دهد که به نام ترانسفارمر یاد می‌شود و بعداً آن را مطالعه می‌نماییم.



شکل (9-15) تجربه اندکشن الکترومقناطیسی فارادی

تغییر جریان برق در یک سرکت برای تولید جریان برق در سرکت به کار برده می‌شود.

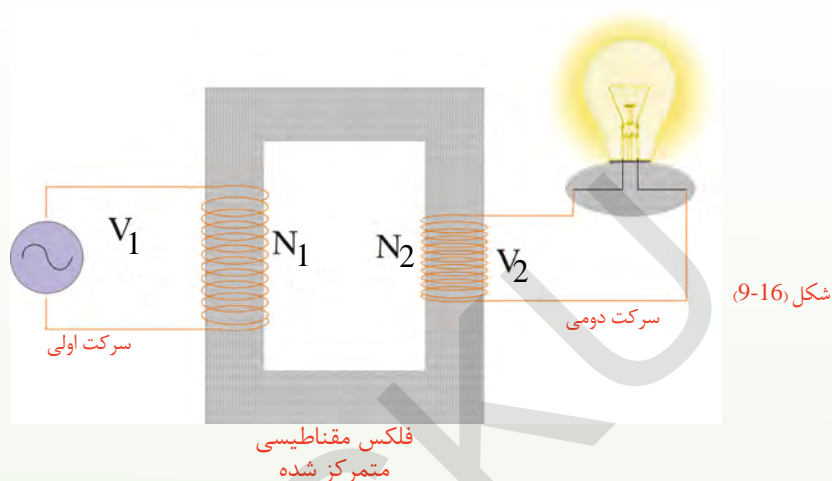
## 9-9: ترانسفارمر

اکثراً ضرورت واقع می‌شود که یک  $emf$  کوچک تر  $ac$  به  $emf$  بزرگ تر تبدیل گردد، یا یک  $emf$  تطبیق شده بزرگ تر به  $emf$  کوچک تر تبدیل شود. آله یی که این تبدیلات را ممکن می‌سازد عبارت از ترانسفارمر است.

شکل خیلی ساده آن یک ترانسفارمر  $ac$  است که مشابه به و سایل تجربه فارادی، در اطراف یک هسته آهنی نرم از پیچانیدن وایر دو کویل ساخته می‌شود. در شکل (9-16) طرف چپ که دارای  $N_1$  حلقه است به یک منبع تفاوت پوتانسیل  $ac$  وصل می‌گردد. این کویل



به نام حلقه‌های اولی یا کوایل اولی یاد می‌شود. کوایل طرف راست که با مقاومت  $R$  وصل می‌شود و دارای حلقه‌های  $N_2$  می‌باشد به نام حلقه‌های دومی یاد می‌گردد. مانند تجربه فارادی، هسته آهنی تقریباً تمامی خطوط ساحة مقناطیسی را طوری یک‌جا می‌نماید که از هر دو کوایل عبور نماید.



چون شدت ساحة مقناطیسی در هسته آهنی و مقطع عرضی هسته برای هر دو حلقه اولی و دومی مشابه اند، پس مقدار تفاوت پوتانسیل‌های ac در انجام‌های هر دو حلقه تنها به سببی تفاوت می‌نماید که تعداد حلقه‌های کوایل‌ها متفاوت می‌باشد  $emf$  تطبیق شده که در حلقه‌های اولی سبب به وجود آمدن ساحة مقناطیسی متغیر می‌شود، با ساحة متغیر به اساس قانون اندکشن فارادی رابطه دارد.

$$\Delta v_1 = -N_1 \frac{\Delta \phi_M}{\Delta t}$$

به عین ترتیب،  $emf$  تولید شده در انجام‌های کوایل دومی عبارت است از:

$$\Delta v_2 = -N_2 \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

نسبت  $\Delta v_2$  بالای  $\Delta v_1$  سبب می‌شود که تمام حدود طرف راست هر دو معادله به استثنای  $N_2$  و  $N_1$  اختصار گردد. معادله ذیل حاصل شده عبارت از معادله ترانسفارمر است.

$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1 \quad (\text{معادله ترانسفارمر})$$

$$emf \text{ تطبیق شده در کوایل اول} \times \frac{\text{تعداد حلقه‌های کوایل دوم}}{\text{تعداد حلقه‌های کوایل اول}} = emf \text{ تولید شده در کوایل دوم}$$

طریق دیگر نشان دادن این معادله این است که نسبت تفاوت پوتانسیل‌ها مساوی به نسبت تعداد حلقه‌ها وضع شود.

$$\frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

اگر  $N_2$  نسبت به  $N_1$  بیشتر باشد،  $emf$  انجام‌های کوایل دومی نسبت به کوایل اولی بیشتر می‌باشد، و این نوع ترانسفارمر به نام ترانسفارمر افزایشنده (step-up transformer) یاد می‌نماید. اگر  $N_2$  نسبت به  $N_1$  کمتر باشد،  $emf$  انجام‌های کوایل دومی نسبت به کوایل اولی کوچک‌تر بوده و این نوع ترانسفارمر به نام ترانسفارمر کاهش دهنده (step-down transformer) یاد می‌شود. از این جا دیده می‌شود که یک ترانسفارمر بعضی کمیات را طور رایگان تهیه می‌نماید. طور مثال یک ترانسفارمر افزایشنده می‌تواند  $emf$  تطبیق شده را از 10v به 100v بلند ببرد طوری‌که طاقت خروجی از کوایل دوم مساوی به طاقت ورودی به کوایل اولی می‌باشد. در حقیقت انرژی به شکل حرارت و تشعشع ضایع می‌شود، بنابراین طاقت خروجی نسبت به طاقت ورودی کوچک‌تر خواهد بود. تزیاید  $emf$  تولید شده در کوایل دوم به این معنی است که در آن باید در جریان یک کاهش متناسب صورت بگیرد.

**مثال:** از یک ترانسفارمر افزایشنده در لین 120v استفاده می‌شود تا تفاوت پوتانسیل 2400v تهیه نماید اگر کوایل اولی دارای 75 حلقه باشد کوایل دومی باید دارای چند حلقه باشد؟

**حل:**

کمیت‌های معلوم:  $\Delta v_1 = 120v$  ,  $\Delta v_2 = 2400v$  ,  $N_1 = 75 \text{ turns}$

کمیت مجهول:  $N_2 = ?$

یک حالت را انتخاب نمایید: از معادلهٔ ترانسفارمر استفاده نمایید:

$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1$$



شکل (9-17)

برای دریافت کمیت مجهول معادله را دوباره بنویسید:

$$N_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} N_1$$

قیمت‌های مربوط را در معادله وضع و آن را حل نمایید:

$$N_2 = \left(\frac{2400v}{120v}\right) 75 \text{ turns} = 1500 \text{ turns}$$

$$N_2 = 1500 \text{ turns}$$

از دیاد حلقه‌ها در کوایل دومی نشان می‌دهد که emf در کوایل دوم بیشتر است و ضریب افزایشدهنده ترانسفارمر 20:1 می‌باشد.

#### 9-10: جنراتورها (Generators)

شما می‌دانید که در یک سرکت، جریان برق می‌تواند یا توسط تغییر ساحة مقناطیسی و یا توسط حرکت سرکت در داخل یا خارج ساحة مقناطیسی تولید گردد. طریق دیگر تولید جریان برق عبارت از تغییر موقعیت حلقه نسبت به ساحة مقناطیسی می‌باشد. طریقۀ دوم برای تولید جریان برق طریق عملی تولید انرژی برقی را نشان می‌دهد. در حقیقت انرژی میخانیکی که برای چرخانیدن حلقه به کار برده می‌شود، به انرژی برقی تبدیل می‌گردد. آله‌یی که این تغییر را انجام می‌دهد. به نام جنراتور برقی یاد می‌شود. در بیشتر دستگاه‌های تجارتی طاق، انرژی میخانیکی به شکل انرژی دورانی تهیه می‌شود. طور مثال در دستگاه تولید برق آبی، آب از یک ارتفاع بالای پره‌های توربین طور مستقیم سقوط می‌کند و سبب دوران توربین می‌شود. در دستگاه‌های تولید برق حرارتی از ذغال سنگ و گاز طبیعی به حیث مواد سوخت به خاطر تبدیل آب به بخار استفاده می‌شود، و این بخار برای دوران توربین مستقیماً بالای پره‌های توربین وارد می‌گردد.

اساس یک جنراتور را حرکت دورانی یک توربین به خاطر چرخانیدن حلقه وایر در یک ساحة مقناطیسی تشکیل می‌دهد. یک جنراتور ساده در شکل (9-18) نشان داده شده است. زمانی که حلقه می‌چرخد مساحت مؤثر حلقه نسبت به وقت تغییر می‌نماید، و در سرکت خارجی که در انجام‌های حلقه وصل گردیده است، یک emf و جریان برق را تولید می‌نماید. یک جنراتور به صورت متمادی یک جریان متغیر را تولید می‌کند. حلقه‌یی از وایر را در نظر می‌گیریم که با سرعت زاویوی ثابت در یک ساحة مقناطیسی منظم می‌چرخد. می‌تواند حلقه متشکل از چهار وایرهادی باشد.





شکل (9-18) در یک جنراتور ساده، از اثر چرخیدن حلقه‌های هادی در یک ساحة مغناطیسی، در حلقه‌ها جریان متناوب برق تولید می‌شود.

در این مثال حلقه در ساحة مغناطیسی در جهت مخالف عقربه ساعت می‌چرخد که جهت آن به طرف چپ است.

زمانی که مساحت حلقه بالای خطوط ساحة مغناطیسی عمود باشد، چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است، هر قسمت وایر در حلقه با خطوط ساحة مغناطیسی طور موازی حرکت می‌نماید. در این لحظه ساحة مغناطیسی بالای چارج‌های هر قسمت وایر قوه وارد نمی‌کند.

بنابر این در هر قسمت،  $emf$  القا شده صفر است. زمانی که چرخش حلقه از این موقعیت عبور می‌کند، قسمت‌های  $a$  و  $c$  خطوط ساحة مغناطیسی را قطع می‌کند، بنابر این قوه مغناطیسی بالای چارج‌های این قسمت‌ها عمل می‌نماید، و به این سبب  $emf$  القا شده

بیشتر می‌گردد. جهت قوه مغناطیسی بالای چارج‌های قسمت‌های  $b$  و  $d$  از

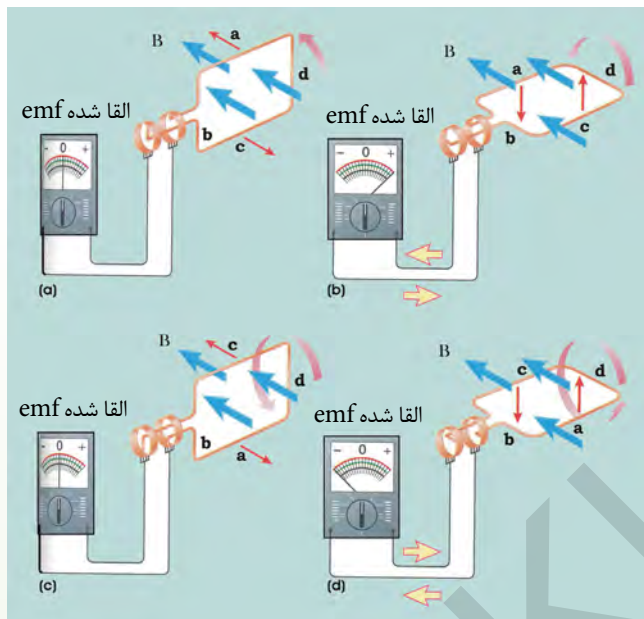
وایر به طرف خارج است. بنابرین حرکت این قسمت‌ها  $emf$  و جریان را حمایت نمی‌کند. بالای چارج‌ها بزرگ‌ترین قوه مغناطیسی و

کوچک‌ترین  $emf$  در لحظه‌ی واقع می‌گردد که قسمت‌های  $a$  و  $c$  بالای خطوط ساحة مغناطیسی طور عمود حرکت می‌نماید، چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است. این حالت زمانی واقع می‌شود که مستوی حلقه با خطوط ساحة موازی باشد.

چون قسمت  $a$  در ساحة به طرف پایین حرکت می‌نماید درحالی که قسمت  $c$  به طرف بالا می‌رود، پس  $emf$ ‌های آن‌ها دارای جهات مخالف می‌باشند، مگر هر دو، جریانی در جهت مخالف عقربه ساعت تولید می‌کنند. تا وقتی که حلقه به دوران ادامه می‌دهد، قسمت‌های  $a$  و  $c$  کمترین خطوط را قطع می‌نماید و  $emf$  کوچک می‌شود. زمانی که مستوی حلقه بالای ساحة مغناطیسی عمود می‌شود، حرکت قسمت‌های  $a$  و  $c$  بار دیگر با خطوط ساحة مغناطیسی موازی می‌گردند و  $emf$  القا شده یک بار دیگر صفر می‌شود، چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است. حال قسمت‌های  $a$  و  $c$  در جهات مخالف همان موقعیت‌ها در حرکت می‌باشند که در حالات  $a$  و  $b$  داشت. در نتیجه قطبیت،  $emf$  القا شده و جهت جریان در جهت مخالف تغییر می‌نماید. چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است

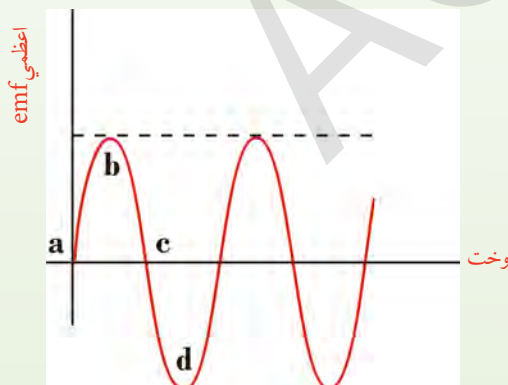






شکل (9-19) در ساحةً مقناطیسی برای  
حلقهً دورانی،  $emf$  القا شده  
زمانی صفر است که حلقه بالای ساحة  
عمود باشد،  
مانند حالات  $a$  و  $c$ ، و قیمت اعظمی را  
دارد زمانی که  
حلقه با ساحة موازی باشد. چنان چه در  
حالات  $b$  و  $d$  نشان داده شده است.

زمانی که حلقه می چرخد، گراف  
تغییر  $emf$  به تابع وقت در شکل (9-20)  
نشان داده شده است. گفتنی است که بین  
این گراف و منحنی سین (sin) شباهت  
و جود دارد. چهار محل نشانی شده بالای  
منحنی شکل (9-19) با چهار موقعیت حلقه  
نسبت به ساحةً مقناطیسی مطابقت می نماید.  
در موقعیت های  $a$  و  $c$   $emf$  صفر است. این  
موقعیت ها به همان لحظه یی مطابقت می کند  
که مستوی حلقه با جهت ساحةً مقناطیسی  
موازی باشد، در موقعیت های  $b$  و  $d$   $emf$   
دارای قیمت های اعظمی و اصغری خود  
می باشد.



شکل (9-20) در حلقهً دورانی تغییر القا شده  
نسبت به وقت توسط یک موج سینوسايدل  
مانند نشان داده می شود.  
حروف  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $d$  بالای منحنی با موقعیت های  
حلقه در شکل مطابقت می نماید.

این موقعیت ها با لحظاتی مطابقت می کند که  
مستوی حلقه بالای ساحةً مقناطیسی عمود  
باشد.  $emf$  القا شده در حلقه در نتیجه تغییر



ثابت زاویه بین عمود بالای حلقه و خطوط ساحهٔ مقناطیسی حاصل می‌شود. معادله برای  $emf$  تولید شده را توسط جنراتور می‌توانیم از قانون اندکشن فارادی بدست آریم. در این معادله ( $emf$ ) زاویهٔ موقعیت نسبی توسط افادهٔ معادل آن ( $\omega L$ ) تعویض گردیده است. در این جا  $\omega$  فریکونسی زاویوی موقعیت نسبی  $2\pi f$  می‌باشد.

$$emf = NAB\omega \sin \omega t$$

معادلهٔ فوق مانند گراف شکل (9-20) تغییر سینوسايدل  $emf$  را نسبت به وقت نشان می‌دهد. با آسانی می‌توانیم قیمت اعظمی  $emf$  را برای یک تابع سینوسايدل محاسبه نماییم.  $emf$  زمانی قیمت اعظمی را دارد که مستوی حلقه با ساحهٔ مقناطیسی موازی باشد، یعنی زمانی که  $\sin \omega t = 1$  باشد. از این جا  $\omega t = \theta = 90^\circ$ ، می‌باشد. در این حالت افادهٔ فوق شکل ذیل را اختیار مینماید:

$$emf = NAB\omega \text{ اعظمی}$$

گفتنی است که  $emf$  اعظمی، تابع چهار کمیت می‌باشد، که آن‌ها عبارت اند از: تعداد حلقه‌ها ( $N$ )، مساحت حلقه ( $A$ )، ساحهٔ مقناطیسی ( $B$ ) و فریکونسی زاویوی دورانی ( $\omega$ ).

### جهت جریان متناوب با فریکونسی ثابت تغییر می‌نماید

گفتنی است که در شکل (9-20)  $emf$  از مثبت به منفی تبدیل می‌گردد. در نتیجه، جریان خروجی از جنراتور جهت خود را طور منظم تغییر می‌دهد. این نوع جریان برق به نام جریان متناوب (alternating current) یا  $ac$  یاد می‌شود.

در یک جنراتور  $ac$  اندازهٔ دوران‌های کویل قیمت اعظمی  $emf$  تولید شده را تعیین می‌نماید. فریکونسی جریان متناوب یک کشور نسبت به کشور دیگر تفاوت دارد. در آیالات متحده، کانادا و امریکای مرکزی برای جنراتورهای تجارتي، فریکونسی دارای  $60Hz$  است. این چنین معنی می‌دهد که جهت یک سایلکل مکمل  $emf$  در هر ثانیه 60 مرتبه تغییر می‌نماید. در انگلستان، اروپا و تعداد بیشتر کشورهای آسیایی و آفریقایی  $50Hz$  به کار برده می‌شود،  $\omega = 2\pi f$  است و فریکونسی  $f$  توسط  $Hz$  اندازه می‌شود).



## خلاصه فصل

- در اثر حرکت میلهٔ مقناطیسی نسبت به کوایل در کوایل جریان تولید می‌گردد. این واقعه را القای الکترومقناطیسی و جریان تولید شده را جریان القا شدهٔ برقی می‌گویند.
- عبور خطوط ساحهٔ مقناطیسی از مساحت یک حلقه عبارت از فلکس مقناطیسی است، پس در نتیجهٔ تغییر فلکس نظر به زمان در حلقه، قوهٔ محرکهٔ برقیی تولید می‌شود که به نام قوهٔ محرکه برقی (emf) القا شده یاد می‌شود.

- فلکس مقناطیسی که از یک سطح عبور می‌کند طور ذیل تعریف و توسط حرف  $\phi$  نشان داده می‌شود.  $\phi = AB \cos \theta$

- در این جا  $\theta$  زاویه بین جهت ساحهٔ مقناطیسی  $\vec{B}$  و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد.
- انرژی که در ساحهٔ مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل بدست می‌آید.

$$U_c = \frac{1}{2} LI^2$$

- انرژی که در ساحهٔ برقی خازن ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$U_c = \frac{Q^2}{2C}$$

- آلهی که یک emf کوچک تر ac را به emf بزرگ تر یا یک emf تطبیق شدهٔ بزرگ تر را به emf کوچک تر تبدیل می‌نماید عبارت از ترانسفارمر است.
- آلهی که انرژی میخانیکی را به انرژی برقی تبدیل می‌نماید به نام جنراتور یاد می‌شود.



## سوالات اخیر فصل

1. تفاوت بین فلکس مقناطیسی و ساحة مقناطیسی چیست؟
2. یک حلقه‌یی از وایر در بین ساحة مقناطیسی قرار دارد. برای کدام موقعیت حلقه، فلکس اعظمی است؟ و برای کدام موقعیت، فلکس صفر است؟
3. یک کوایل مستطیل شکل که دارای 50 حلقه و  $50\text{cm} \times 10.0\text{cm}$  ابعاد می‌باشد از محلی که  $B = 0$  است به محلی که  $B = 0.500\text{T}$  است طوری سقوط می‌نماید که جهت ساحة مقناطیسی بالای مستوی حلقه عمود می‌باشد. اگر این تغییر مکان برای مدت  $0.250\text{s}$  صورت بیگیرد، قوه محرکه برقی القا شده وسطی را در کوایل محاسبه نمایید.
4. یک الکترومقناطیس قوی بالای مساحت مقطع عرضی  $0.200\text{m}^2$  یک ساحة مقناطیسی منظم  $1.60\text{T}$  را تولید می‌نماید. یک کوایلی که دارای 200 حلقه و به صورت کل  $20.0\Omega$  مقاومت دارد در اطراف الکترومقناطیس گذاشته می‌شود. بعداً در الکترومقناطیسی جریان برق را کاهش می‌دهیم تا این که در مدت  $20.0\text{ms}$  به صفر برسد. جریان برق القا شده را در کوایل دریافت نمایید
5. یک کوایل که دارای مساحت  $0.100\text{m}^2$  می‌باشد، با  $60.0 \frac{\text{rev}}{\text{sec}}$  در اطراف محوری می‌چرخد که بالای ساحة مقناطیسی  $0.200\text{T}$  عمود باشد.
- a) اگر کوایل دارای 1000 حلقه باشد، emf تولید شده اعظمی را در کوایل دریافت نمایید؟
- b) زمانی که ولت‌یج تولید شده اعظمی باشد، کوایل نسبت به ساحة مقناطیسی دارای چگونه موقعیت می‌باشد؟



## مأخذ

1. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS), by Douglas C. Gain Coli, Published by Pearson Education Inc, 2005.
2. PHYSICS by James S. Walker, Pearson Education Inc. USA, New Jersey, 2004
3. PHYSICS by R.A. Serwey and J.S. Faughn, 2006 by Holt, Rin - hart and Winston.
4. PHYSICS, A Text book, published by Surat Publishing Co - pany, Printed in TURKEY, 1996.
5. Physics for Scientists and Engineers, by Raymond- A. Serway, Thomsan Asia PTE. LTD, 2003
6. Physics 3 (OPTICS), by Mehmet Ali YAZ, SURAT Publication, ISTANBUL, 1996

7. کتاب درسی فزیک صنف یازدهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1381. هـ.ش.
8. اصول فزیک (جلد اول)، هانس سی. اوہانیان، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1383 هـ.ش.
9. فزیک (1) و آزمایشگاه، شورای برنامه ریزی و تألیف سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، وزارت آموزشی و پرورش ایران، 1386 هـ.ش.
10. فزیک (3) و آزمایشگاه، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، 1385 هـ.ش.

