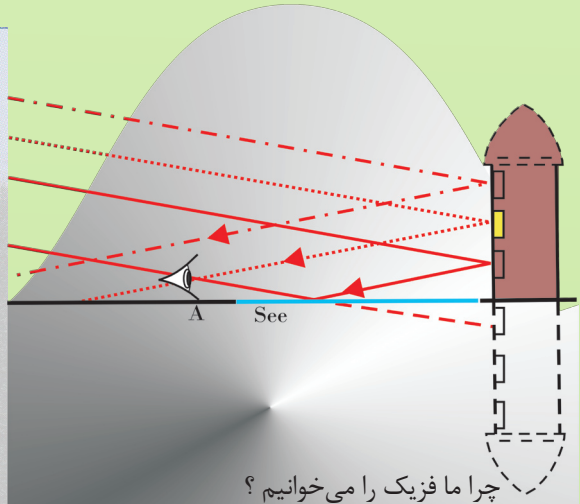
فزیک چیست؟

اکثر ما به‌صورت تصادفی فزیک‌دان تولد شده ایم. در جریان زنده‌گی به سرعت می‌آموزیم که قوانین چه نوع عمل می‌کنند. به‌طور مثال اگر یک جسم از یک ارتفاع به‌طور آزاد رها شود، به‌طرف زمین سقوط می‌کند. این یکی از قوانین فزیک است که در زمانه‌های قدیم کشف شده است. با گذشت زمان بدون این‌که توجه نماییم، همواره در امور روزمره از فزیک 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 نقطهٔ رسیدن به زمین دارای سرعت بیش‌تر می‌باشد. پس می‌توان گفت که در همه جا پدیده‌های فزیکی ما را احاطه کرده اند، و علم فزیک 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 را مطالعه نمودید. اکنون می‌بینیم این موضوعات با علم فزیک چه رابطه‌یی دارند؟ علم فزیک چیست؟ فزیک‌دان‌ها در اجرای کارهای شان از چه استفاده می‌نمایند؟ مطالعهٔ علم فزیک چگونه آغاز می‌شود؟ چرا بعضی‌ها می‌گویند که فزیک زنده‌گی است. شما به این چنین سؤال‌ها وقتی جواب خواهید گفت که این فصل را مطالعه کنید. هم‌چنان شما در پایان این فصل مهارت‌ها و سود مندی‌های ذیل را حاصل خواهید کرد:

- تعریف علم فزیک.
- بحث و مناقشهٔ مفید پیرامون تاریخچهٔ فزیک .
- توضیح و تشریح ضرورت ریاضی در مطالعهٔ علم فزیک.
- تحلیل و ارزیابی علم فزیک
- توضیح میتودهای علمی‌تحقیق به اساس اجرای تجارب.
- توضیح کمیت‌های فزیکی با استفاده از ریاضی.
- آشنایی با تیوری‌های مشهور و مهم فزیک.



چرا ما فزیک را می‌خوانیم ؟

آیا می‌توانید بدون وسایل اندازه‌گیری زنده‌گی کنید

1-1: مقدمه بر فزیک

فزیک عبارت از علم مطالعهٔ مجموعهٔ قوانین طبیعت است که در بر دارندهٔ تمام پدیده‌های فزیکی 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 شده اند و مشاهدات از تجربه‌ها عملی نمود. آن‌چه به‌طورخاص این علم را شگفت‌آور می‌سازد این حقیقت است که فزیک به هر چیز در کاینات ار تباط 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 قدارت خداوند (ج) در قالب چند اصول و قوانین اساسی ظاهر می‌شوند و در کنترول 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 مغشوش کننده و متراکم از یک سلسله فورمول‌ها به‌نظر می‌آید. ولی در حقیقت این فورمول‌ها می‌توایند مانند درختانی باشند که جنگل را احاطه کرده اند و برای یک فزیک‌دان فورمول‌های زیاد می‌توانند به‌سادگی مفاهیم و مفکوره‌های اساسی را بیان نماید. 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 دست آوردهای وسیع علمی‌می‌باشند؛ لیکن همهٔ شان به اساس قوانین و مفکوره‌های فزیکی پایه‌گذاری شده اند.

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 علمی‌مفاهیم و ارایهٔ آن به وسیلهٔ معادلات ریاضی و تطبیق عملی آن در ابعاد فلسفی» هم تعریف کرد.

بالآخره 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:

دیا گرام(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؟

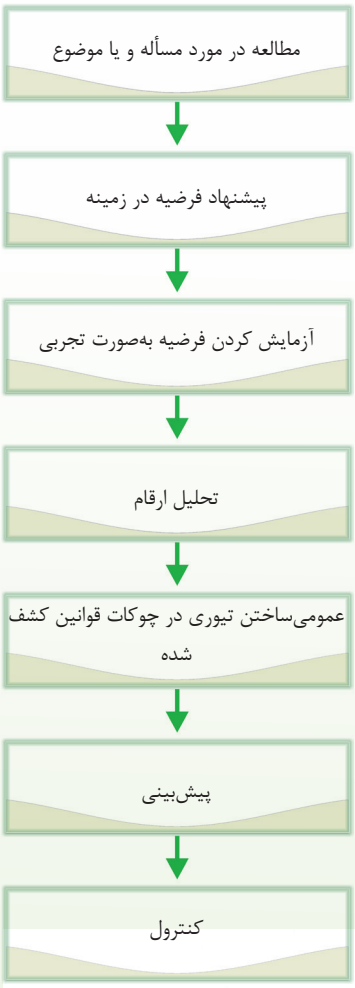
3- چرا بسیاری‌ها می‌گویند که تجربه مرحلهٔ مهم مباحثه می‌باشد؟

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 کنترول به‌عمل می‌آوریم؟

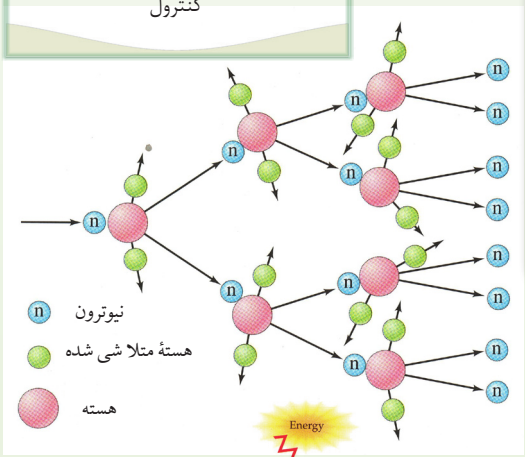
در این او اخر مفهوم ماده به‌حیث انرژی تفهیم شده اســت، چنان‌چه ذرات مســتقر و غیر مستقر و هم‌چنان عمل متقابل بین ماده و انرژی و انتقال انرژی شــواهدی برای اثبات این حقیقت می‌باشــند. هدف اساسی مطالعهٔ فزیک عبــارت از مطالعهٔ حقایق در طبیعت (از نظام‌های کهکشــان‌ها به مقیاس بزرگ الی ذرات اتم‌های مســتقر و غیر مســتقر) و ذرات کوچک دیگر و..... می‌باشــد. با الآخره فزیک سعی می‌نماید تا خصوصیات ماده را توضیح کنــد و قانونمندی‌هــای طبیعت را توســط معادله‌های ریاضی، ســاده و قابل فهم بسازد. اشکال (1-1) و (1-2) را مشاهده نمایید.





شکل (1-1)





شکل (2-1)

1-2: تاریخچهٔ 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 بوده اند. 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 و جود داشتند که تحت نام فلسفهٔ طبیعی و یا فلسفهٔ تجربی مطالعه می‌شدند و این نام به‌حیث نقطهٔ 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 بالآخره در سال 1850 میلادی، کیمیا، ستاره شناسی، زمین شناسی و غیره از بدنهٔ فلسفهٔ تجربی مجزا گردید و به حیث بخشی از علوم مستقل عرض وجود کردند. بعد از وقوع این حادثه، گنجینهٔ مابقی بدنهٔ فلسفهٔ 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 درجهٔ حرارت ارتباط دارد.
3- الکترو مقناطیس: برق، مقناطیس و تشعشع اشعهٔ الکترومقناطیسی 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) ا نکشاف نمود. این تیوری زمانی که نیوتن کتاب مشهور خود را تحت عنوان میخانیک به رشتهٔ تحریر درآورد، به اوج خود رسید. میخانیک نیوتن طی قرون هفدهم و هجدهم رقیبی نداشت. بعداً درسال‌های قرن نزدهم، الکترو دینامیک و ترمو دینامیک به‌وجود آمدندکه 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، درحالی‌که میخانیک کوانت (نسبیت) به‌نام فزیک معاصر یا مدرن یاد می‌گردد.

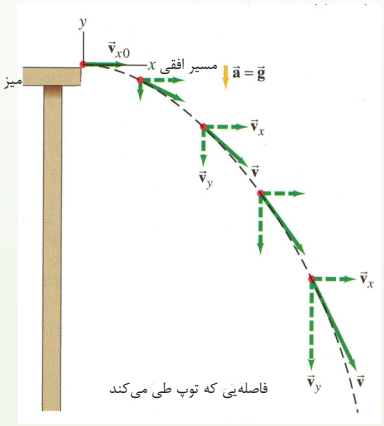
در این او اخر دو بخش دیگر تحت نام‌های فزیک تراکم ماده و فزیک ذرات بسیط دارای انرژی بلند در علم فزیک زیاد شده اند. که هر دو تحت نام فزیک مدرن مطالعه می‌شوند.

تحقیق کنید:

خلص بیوگرافی یک فزیک‌دان را که دریکی از پنج بخش فزیک معادله‌یی 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**

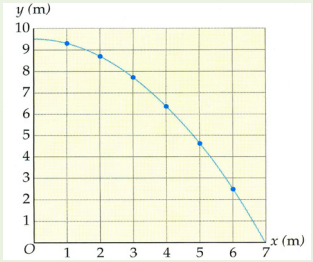
مطالعهٔ جهان فزیک خیلی پیچیده است، فزیک‌دان‌ها معمولاً برای توضیح مطالب اساسی و مهم فزیک و فرضیه‌های آن از مودل‌ها استفاده به‌عمل می‌آورند. فزیک‌دان‌ها برای توضیح و تشـریح فزیک، مودل‌های خیلی‌ها دقیق را ایجاد کرده اند. امروز بسـیاری از این مودل‌ها، مودل‌های ریاضی می‌باشـند. معمولاً ابتدا مودل‌های بسـیط ایجاد می‌شوند، زیرا استفاده از این مودل‌ها نظر به مودل‌های پیچیده و و سـیع آسـان‌تر است. مودل‌های بسیط بعضاً برای حصه‌های معینی از فرضیه‌ها اسـتعمال می‌گردند. فرض می‌کنیم یک توپ پرتاب شدهٔ افقی را می‌خواهیم قسـماً در مطالعهٔ مبحث حرکت مودل‌سازی نماییم. این توپ مودل، در حالت دوران و یا خیز نمی‌باشد، نه صدای ضربهٔ دندهٔ توپ و نه هم صدای توپ که به زمین بخورد، به گوش می‌رسد.



شکل (1-3)

ما سیسـتمی‌را برای حرکت توپی معرفی می‌کنیم که می‌خواهیم آن را مطالعه نماییم. مسیر حرکت ساده و مواد داخل آن را که بالای حالت وی مؤثر می‌باشـد، در نظر می‌گیریم. غرض روشن شدن موضوع، به شکل (1-3) ببینیـد. زمانی‌که مسـیر را مطالعه می‌نماییم، حتماً سیسـتمی‌که تحت مطالعه قرار می‌گیرد، شامل توپ و اصابت آن به زمین می‌شـود، بدون این‌که، رنگ هـوا و یا اندازهٔ صـدا را درنظر بگیریـد، تنها تغییر در موقعیت آن‌ست که می‌تواند در سیتم، مورد تحقیق و مطالعه قرار بگیرد.

فزیک‌دان‌ها حرکت توپ را فقط یک مودل کوچک ایجاد شـده که مجزا از اندازهٔ رنگ، صدا و چرخش می‌باشـد، مطالعه می‌نمایند که اجزای این سـیتم فقط نقطه با یک مسـیر (خط) می‌باشد، شکل (1-4) را مشاهده کنید.



شکل (1-4)
مودل حرکت توپ

فزیک‌دان‌هـا مودل‌هـای سـاده را بـرای آن ایجاد می‌نمایند تا با جهان حقیقی آشـنا شـوند. فزیک‌دان‌ها از ریاضی برای تفسیر و خلاصهٔ حقایق به‌حیث افـزار اسـتفاده می‌نمایند. ایشـان روابط



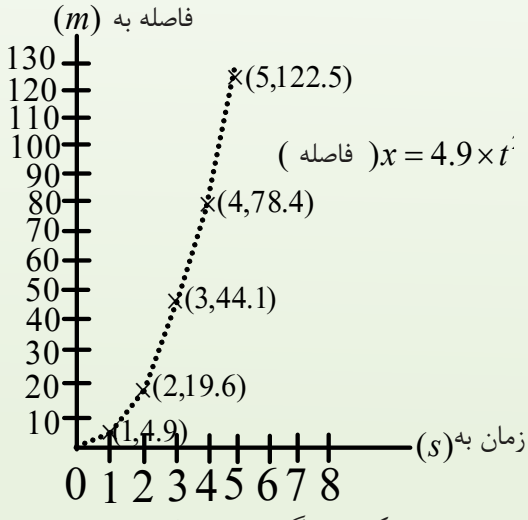
شکل (1-5)

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

از این جا است که ریاضی منحیث زبان فزیک عمل می‌کند و یا به‌عبارۀ دیگـر می‌توان گفـت که ریاضی عبارت از زبانی اسـت با خصوصیات خاص که توسـط معادلات، جدول‌ها، گراف‌ها و سـوال‌ها، تحلیل و ارزیابی ارقام و احصاییه‌ها را آسان‌تر می‌سازد. به گونۀ مثال اگر ما تجربه‌یی را مطابق شکل (1-5) اجرا نماییم، مشـاهده می‌کنیم که در این تجربه، توپ به صورت آزاد سقوط کرده است و به صورت کل نتیجۀ حرکت سقوط منحیث فاصلۀ سقوط تابع به وقت یادداشـت گردیده اسـت. معمولاً در تجارب، ارقام درجدول یاد داشـت می‌شـوند، چنان‌چه در جدول مرتبه از تجربۀ فوق دیده می‌شود که با افزایش وقت، فاصلۀ سقوط بزرگ‌تر می‌شود.

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

یکی از میتودهای تحلیل ار قام عبارت از ترسیم گراف فاصله نظربه وقت می‌باشد. این گراف در شکل (1-6) نشان داده شده است. برای هر نقطۀ منحنـی گراف می‌توانیم روی محورهای فاصله و وقت مطابقتاً کمیات وضعیۀ مربوطه را مشخص نماییم. هم‌چنان شکل گراف، معلومات لازمه بین کمیت‌ها را ارایه می‌کند، چنان‌چه در شکل، ارتباط بین فاصله و و قت دیده می‌شود. هـر گاه فاصلـه را به x و وقـت را به t نمایش دهیم، ما می‌توانیم با ضرب نمودن عدد 4.9 به مربع وقت، معادلۀ تغییر موقعیت جسم را در هر لحظۀ زمانی به‌دست 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 مودل چیست؟

2 - آیا فزیک‌دان‌ها هنگام تحقیقات شان استفاده از ریاضی را صرف نظر کرده می‌توانند؟ چرا؟

خلاصهٔ 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 به‌صورت علمی، از مطالعات و جمع‌آوری مواد آغاز می‌نماییم. این عمل اجازه می‌دهد تا فرضیهٔ مناسب غرض توضیح مطالب انتخاب و بعداً این فرضیهٔ را توسط تجربه امتحان می‌کنیم و با نتیجه‌گیری و عمومی‌ساختن 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 فزیک‌دان‌ها 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. الکترودینامیک　　د. کوانتم میخانیک و نسبیت

2- کدام ساحهٔ فزیک با درجهٔ 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 نموی نباتات

ج. جوش دادن آب　　د. طبقه‌های زمین

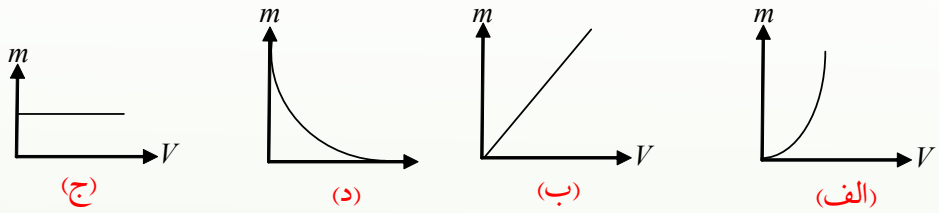
4- در روش‌های علمی‌ذیل برای تحقیق، مرحلهٔ خیلی مهم عبارت است از:

الف. فرضیه‌ها　　ب. تجربه

ج. قوانین　　د. پیش‌گویی

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

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



6- کدام یک از معادلات ذیل با ار قام 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 زیادتر مرتبط می‌باشد؟ بنگارید.

الف. بازی فوتبال

ب. تهیهٔ غذا

ج. عینک‌های آفتابی

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

10- کدام یک از افاده‌های ذیل را بیانیهٔ علمی‌گفته می‌توانیم ؟

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

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

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

اندازه‌گیری

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.

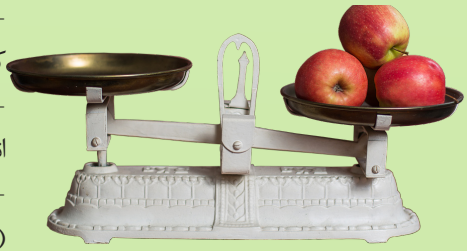
ولی اگر در مورد یک جسم یا یک شی سخن می‌گوییم و آن‌را اندازه کرده نتوانیم و توسط یک عدد نشان داده نتوانیم، پس یقیناً که در مورد آن دانش ما ناقص می‌باشد. آیا می‌دانید که ضخامت کتاب شما چقدر است؟ در کدام درجهٔ حرارت آب به جوش می‌آید؟ نمک به کدام سرعت در آب حل می‌گردد؟ این پرسش و مانند این، پرسش‌های دیگر 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.

زمانی‌که یک شی اندازه شود، باید توسط یک عدد و از جنس یک واحد نشان داده شود. واحدات در فزیک اهمیت زیاد دارد. در این فصل در مورد سیستم واحدات بین‌المللی (SI) روشنی انداخته خواهد شد و واحدات اصلی و فرعی به تفصیل مطالعه خواهند گردید. واحدات در حل سوالات خیلی کمک می‌نماید و برای استفاده درست از آنها به تحلیل ابعاد ضرورت وجود دارد. این موضوع نیز در این فصل مطالعه خواهد شد. درجهٔ 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؟
- واحدات اصلی و فرعی اندازه‌گیری کدام‌ها اند؟
- منشأ اشتباهات در اندازه‌گیری کدام‌ها اند؟
- در اندازه‌گیری، ارقام قابل اهمیت کدام‌ها اند؟
- در تحلیل ابعاد تفاوت بین کمیت (بُعد) فزیکی و واحد چیست؟



2-1: اندازه‌گیری چیست؟

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

بلـی: ایـن معرفت را حاصل کـرده می‌توانیم ولی مهمترین گام درین طریقه این اسـت که از اندازه‌گیری اسـتفاده نماییم. انسـان‌ها از قرن‌ها به این طرف برای شـناخت جهان از اندازه‌گیری اسـتفاده نمـوده و طریقه‌هـای مختلف اندازه‌گیـری را دریافت کرده اند. خصوصاً سـاینس دان‌ها طریقه‌های خیلی مغلق به کار برده و از آن مسـتفید گردیده اند. برای شـاگردان فزیک نیز لازم است که همان طریقه‌های اندازه‌گیری را بشناسند که به آنها ضرورت دارند و محدودیت‌های شان را بدانند. قرار تعریف وقتی‌که یک کمیت فزیکی با یک مقدار خاص که واحد آن کمیت باشد مقایسه گردد، این عملیه را اندازه‌گیری می‌گویند. ولی امروز سـاینس دان‌ها تزاید اعتماد و اطمینان را در مورد معرفت اشـیا اندازه‌گیری می‌گویند. یعنی تا وقتی‌که اشـیا 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 آلهٔ اندازه‌گیری یک‌سـان باشد. در گزارش دهی اندازه‌گیری، کاربرد ارقام قابل اهمیت (Significant figures) سبب وضاحت بیشتر معلومات شده می‌تواند.

فعالیت

مـواد مورد ضـرورت: خط کش به طول ۳۰cm با تقسـیمات ملـی متر و یک ورق کاغذ.

طرزالعمل:

1 - طول، عرض و ضخامت کتاب (فزیک) خود را اندازه نمایید.

2 - هـر یک از اندازه‌های فـوق الذکر را چهار، چهار مرتبه اجرا نمایید و در یک ورق کاغذ قرار ذیل بنویسید.

کتاب فزیک	مرتبهٔ اول	مرتبهٔ دوهم	مرتبهٔ سوم	مرتبهٔ چهارم
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 تفاوت ها 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. زمانی‌که یک شخص ذریعهٔ یک آله، یک کمیت فزیکی را اندازه می‌نماید، یک قیمت این آله را خوانده و آن‌را توسط یک عدد نشان می‌دهد. تمام ارقام این عدد که از آلهٔ اندازه‌گیری خوانده شده است، جمع یک رقم مشکوک به نام ارقام قابل اهمیت یاد می‌شود. از جملهٔ این ارقام، رقم مشکوک تقریبی بوده و به کوچک‌ترین تقسیمات آلهٔ اندازهٔ گیری مربوط می‌باشد. به هر اندازه‌یی که در گزارش دهی اندازه‌گیری ارقام اهمیت بیشتر باشد، به همان اندازه گزارش دقیق خواهد بود. به خاطر وضاحت ارقام قابل اهمیت مثال ذیل را در نظر میگیریم. می‌خواهیم که طول کنار یک مکعب را توسط خط کش معلوم کنیم. 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. وقتی‌که توسط این آله کنار معکب اندازه‌گیری گردیده است، شخص اندازه گیری کننده آن‌را توسط عدد $16.84cm$گزارش داده است.در این حالت 1، 6 و 8 دقیقا از روی خط کش خوانده شده است اما 4 یک رقم تخمینی است، که بین نشانه‌های هشتم و نهم ملی مترها قرار دارد. در گزارشات علمی‌این رقم مشکوک یا تخمینی طوری نوشته می‌شود که بالای آن علامهٔ دش (ـ) می‌باشد، مثلاً $16.84cm$. در این مثال تمام ارقام 1، 6، 8 و 4 از جملهٔ ارقام قابل اعتماد بشمار می‌آید. در ریاضی برای ارقام قابل اهمیت (قابل اعتماد) قواعد ذیل وجود دارد:

- ارقام خلاف صفر، قابل اهمیت می‌باشند.
- صفرهای که در بین دیگر ارقام قابل اهمیت واقع باشند، ارقام قابل اهمیت می‌باشد.
- در ارقام قابل ارزش، همان رقمی‌که در چپ ترین 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 رقمی‌که کوچک‌ترین ارزش را دارا است به راست ترین طرف واقع می‌باشد. مگر با آن‌هم از جملهٔ ارقام ارزشمندخارج نمی‌گردد، چنان‌چه در مثال فوق، 5 کم

ارزش ترین رقم است، ولی با آن هم از جملهٔ ارقام با ارزش می‌باشد.

• اگر علامهٔ اعشـــاریه موجود نباشد، راست ترین رقم خلاف صفر، رقم کم ارزش می‌باشد. طور مثال در 4800 کم ارزش ترین رقم،8 است.

سوالات: در اعداد ذیل کم ارزش ترین ارقام کدام‌ها اند؟

الف: $300000000\frac{m}{s}$

ب: $3\times10^{8}\frac{m}{s}$

ج: $25.030\,^{o}C$

د: $0.006070\,^{o}C$

هـ: $1.004j$

و: $1.30520MH_{z}$

ز: $78.9m$

ح: $3.788\times10^{9}s$

ط: $2.46\times10^{6}kg$

ی: $0.0032mm$

2 - سرعت نور $2.99792458X10^{8}\frac{m}{s}$ است شما این سرعت را توسط:

الف: سه رقم ارزشمند،

ب: پنج رقم ارزشمند،

ج: هفت رقم ارزشمند نشان دهید

روش علمی عدد نویسی

برای حل مســایل در ســاینس باید تمام قیمت‌ها با اســتفاده از عدد نویسی علمی‌نوشته شود. در عدد نویسی علمی، اندازه‌گیری به طاقت 10 تحریر می‌گردد و تمام ارقام داده شدهٔ آن‌ها مهم می‌باشد. به طور مثال، اگر طول $23.0cm$ دارای عدد دو رقمی باشد، باید آن‌را در عدد نویسی علمی‌چنین نوشته کرد: $2.3\times10^{1}cm$

همین طور عدد $230.00\,cm$ چنین نوشــته می‌شود: $2.30\times10^{2}cm$ اگر در پیشروی ارقام یک مقدار داده شده، صفرها موجود باشد، عدد نویسی علمی‌در این حالت نیز به‌کاربرده می‌شود. طور مثال، اندازه‌یی مانند $0.00015cm$ در عدد نویســی علمی‌به شــکل $1.5\times10^{-4}cm$ نوشته

می‌شود، درحالی‌که دارای دو رقم می‌باشد. صفرهای بین علامهٔ اعشاریه و رقم 1 ارقام قابل اهمیت (significant figures) شمرده نمی‌شود. زیرا این صفرها تنها برای تعیین محل علامهٔ اعشاریه و نشان دادن نوع مقدار، گذاشته می‌شود. قاعده‌یی که تعداد ارقام صفرهای شامل در یک اندازه گیری را تعیین می کند در جدول ذیل نشان داده شده است.

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

درمحاسبات تعداد ارقام به قاعده‌های مشخص ضرورت دارد

تعداد ارقامی‌را که شما در محاسبات خویش حاصل می‌نمایید، در اندازه‌گیری مربوط به ارقام مهم می‌باشد. طور مثال، اگر شخصی بگوید که ارتفاع قلهٔ کوه $1710m$ است، طوری معلوم می‌شود که ارتفاع حقیقی قلهٔ کوه بین $1705m$ و $1715m$ می‌باشد. اگر شخص دیگری در قلهٔ 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 اندازهٔ دقیق باشد. بنابر این ارتفاع گزارش شده با برج باید به $1710m$ تدویر (rounded off) شود، عین قاعده برای ضرب نیز به‌کاربرده 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. بنابرین ممکن است که عرض اتاق از $4.55m$ و طول آن از $6.65m$ بیشتر باشد یا عرض آن از $4.65m$ وطول آن از $6.75m$ کمتر باشد. بنابرین

باید مســـاحت اتاق بین $30.26m^2$ و $31.39m^2$ باشـــد. چون هر اندازه‌گیری تنها دارای دو رقم مهم می‌باشـــد، پس ممکن است مســـاحت اتاق تنها دو رقم مهم داشته باشد. بنابر این مســـاحت باید الی $31m^2$روند آف (rounded off) شـــود. جدول ذیل دو قاعدهٔ اساسی را نشان می‌دهد که ارقام مهم را در وقت انجام محاسبات تعیین می‌نماید.

نوع محاسبه	قاعده	مثال
جمع یا تفریق	جمع و تفریق داده شده به امتداد ستون اجرا می‌گردد، جواب نهایی را از طرف راست به طرف ستون اول که دارای رقم محاسبه شده است روند ROUND OF نمایید.	97.3 + 5.85 = 103.15 → شدن روندآف 103.2
ضرب یا تقسیم	جواب نهایی دارای سه ارقام مهم می‌باشد که آن‌را کوچک‌ترین عدد اندازه‌گیری می‌گویند.	123 × 5.35 = 658.05 → شدن روندآف 658

بعد از این گونه عملیه های حســـابی نتیجهٔ محاسبه، روندآف می‌گردد. طور مثال نتیجهٔ یک تعداد ضرب‌ها با اســـتفاده از قاعدهٔ ضرب/ تقســـیم باید قبل از این‌که با عدد دیگر جمع شود، روندآف گردد. به عین ترتیب مجموعهٔ چندین عدد مطابق به قاعدهٔ جمع/ تفریق باید قبل از این‌که با عدد دیگر ضرب گردد، روندآف شـــود. روندآف ضرب ممکن اســـت در یک محاســـبه اشتباه را بیشتر بسازد، مگر این برای استفادهٔ قواعد، یک طریقهٔ واضح است. برای تمرین و وضاحت بیشتر، یک تعداد قاعده‌ها در جدول ذیل نوشته شده است:

جدول قاعده‌های روندآف در محاسبات

چه می‌کنید؟	چه وقت انجام می‌دهید	مثال‌ها
ROUND DOWN	اگر بعد از علامهٔ اعشاریه عدد مهم نهایی 0، 1، 2، 3 و 4 باشد.	30.24 طور 30.2 نوشته می‌شود
ROUND DOWN	اگر بعد از علامهٔ اعشاریه یک عدد و بعد از آن 5 باشد و عدد مخالف صفر دیگر را نه داشته باشد.	32.25 طور 32.2 نوشته می‌شود.
ROUND UP	اگر بعد از علامهٔ اعشاریه عدد مهم نهایی 6، 7، 8 یا 9 باشد	22.49 طور 22.5 نوشته می‌شود.
ROUND UP	هر گاه بعد از علامهٔ اعشاری عدد مهم نهایی 5 و بعد از آن عدد مخالف صفر باشد.	54.7511 طور 54.8 نوشته می‌شود.
ROUND UP	اگر بعد از علامهٔ اعشاریه، یکی از اعداد5، 6، 7، 8 و یا 9 و بعد از آن 5 باشد، و عدد دیگر مخالف صفر را نه داشته باشد.	54.75 طور 54.8 نوشته می‌شود. 79.3500 طور 79.4 نوشته می‌شود.

2-3: سیستم واحدات SI

اگر از شما پرسیده شود که یک شی (طور مثال موتر) 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 عکس المعل شما شاید پرسش‌هایی مانند کجا؟ کدام موتر؟ و چه وقت ایجاد گردد. البته کــه در ایــن جا به کجا طول جواب می‌دهد و به کدام موتر کتله و باالاخره به چه وقت زمان یا وقت جواب می‌دهد.

بحث اول در مورد کجا: در این جا موقعیت یک شی معلوم می‌شود و برای تعیین موقعیت اندازه کردن طول لازم می‌باشد. برای اندازه کردن طول به یک واحد اساسی ضرورت می‌باشد و این واحد متر است. طول یک متر فاصله‌یی است که **نور آن‌را در** $(3.33564095\times10^{-9})$ ثانیه طی می‌نماید.

چون در امور روزانه برای اندازه کردن فاصله‌های بزرگ (فاصلهٔ ستاره‌ها) و هم‌چنان فاصله‌های کوچک (فاصلهٔ بین اتوم‌ها) ضرورت می‌باشد، بنابراین واحدات بزرگ و کوچگ نسبت به واحد اساسی وجود دارد که در دروس گذشته تحت عنوان اجزا واضعاف متر آن‌را مطالعه کرده اید.

بحث دوم درمورد 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 کتلهٔ یک جسم اندازه گردد.

کیلوگرام واحد کتله است. مقدار مواد داخل یک جسم را کتله می‌گویند، یعنی کتله مقدار موادی است که جسم از آن تشکیل شده است. یک کیلوگرام مساوی به کتلهٔ 0.001 متر مکعب آب است. کتلهٔ یک کیلوگرام از الیاژ پلاتینیوم- ایریدیوم ساخته شده است که تحت شرایط خاص در پاریس نگهداشته می‌شود.

کیلوگرام نیز واحدات بزرگ و کوچک نسبت به خود دارد که برای اندازه کردن کتله‌های بزرگ و کوچک به کار برده می‌شوند.

بحث سوم درمورد چه وقت: وقت یک کمیت دیگر فزیکی است که یک بخش مهم معرفت را بیان می‌نماید. تشخیص مستقیم وقت و تعریف آن تا اندازه‌یی مشکل است. مگر گفته می‌توانیم که همه حوادث در یک وقت (زمان) صورت می‌گیرد و وقت یک کمیت متمادی، برگشت ناپذیر و یک بعدی است.

وقت را اندازه کرده می‌توانیم و واحد اساسی وقت یک ثانیه است. یک ثانیه مساوی به $(\frac{1}{24})(\frac{1}{60})(\frac{1}{60}) = 0.000011574$ یک شبانه روز متوسط آفتابی می‌باشد، و به صورت دقیق وقت یک ثانیه برابر به 9192631770 زمان پیریود موج منتشرهٔ اتوم سیزیوم

می‌باشد.

برعلاوهٔ واحدات اساسی طول، کتله و وقت، چار واحدات اساسی دیگر نیز در فزیک وجود دارد که عبارت از امپیر (واحد جریان برق)، کلوین (واحد درجهٔ حرارت ترمودینامیکی)، مول (واحد تعداد ذرات ابتدائی در یک شی) و کندیلا (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 فاصلهٔ یک متر از هم‌دیگر واقع باشند. در هر متر سیم‌ها قوه 2×10^{-7} نیوتن را ایجاد نماید.

کلوین: کلوین عبارت از واحد درجهٔ حرارت ترمودینامیکی است. درجهٔ کلوین به اساس درجهٔ حرارت ترمودینامیکی سه‌گانهٔ آب از 273.16 قسمت، یک حصهٔ آن است، یا $\frac{1}{273.16}$ حصهٔ این درجهٔ حرارت می‌باشد. مقدار این درجه یعنی درجهٔ کلوین مساوی به مقدار درجهٔ سانتی گرید می‌باشد.

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

کندیلا: کندیلا عبارت از شدت روشنایی است که هر گاه از یک منبع، شعاع یک رنگ با فریکونسی 540×10^{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 واحدات ذکر شده با یک‌دیگر متقابلاً رابطه نه دارند. یک تعداد کمیت‌های دیگری وجود دارند که واحدات آن‌ها به نام واحدات اشتقاقی یاد می‌شوند و از این واحدات اساسی از طریق معادلات مقداری تعریف شده اند، در سیستم SI واحدات اشتقاقی را در جدول ذیل مشاهده کرده می‌توانیم:

کمیت فزیکی	واحد و اسم خاص آن	کمیت فزیکی	واحد و اسم خاص آن
قوه	نیوتن $(kg\,m/s^2)$	مساحت	متر مربع m^2
فریکونیسی	هرتز s^{-1}	حجم	متر مکعب m^3
فشار(STRESS)	پاسکال $\frac{N}{m^2}$	سرعت	متر پر ثانیه m/s
انرجی، کار، مقدار حرارت	ژول $(kg\,m^2/s^2)$	کثافت	کیلوگرام فی متر مکعب kg/m^3
قدرت	وات $(kg\,m^2/s^3)$	حجم مخصوص	مترمکعب فی کیلوگرام m^3/kg
چارج برقی	کولمب C	کثافت جریان	امپیر فی متر مربع A/m^2
تفاوت پوتانسیل برقی (قوهٔ محرکهٔ برقی)	ولت $m^2.kg.s.^{-3}A^{-1} = \frac{W}{A}$	شدت ساحهٔ مقناطیسی	امپیر فی متر A/m
ظرفیت	فاراد $(m^{-2}.kg^{-1}.s^4.A^2)$	مقدار تمرکزیت یک ماده	مول فی مترمکعب mol/m^3
مقاومت برقی	اوم $m^2.kg\ .s^{-3}.A^{-2}$	قدرت روشنی	کندیلا فی متر مربع cd/m^2
درجهٔ سانتی گرید	C°	فلکس مقناطیسی	ویبر (W_b) = متربع × تسلا $(m^2.kg.s^{-2}.A^{-1})$
شدت روشن	کندیلا cd	شدت فلکس مقناطیسی	تسلا $(Kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1})$
زاویهٔ مسطحه	رادیان $m.m^{-1}$	اندکشن(القا) (L)	واحد L: هنری $H=\frac{1v\cdot s}{A}$ $(m^2\,kg.s^{-2}.A^{-2})$

در یک تعداد کشـورها به طور مشـخص در کشـورهایی که به لسـان انگلیسی صحبت می‌نمایند، عوض سیسـتم SI واحدات دیگر به‌کاربرده می‌شوند. طور مثال عوض متر از فت یا انچ استفاده می‌نمایند، عوض کیلوگرام از سلگ کار می‌گیرند و عوض تن از پوند استفاده می‌کنند. این واحدات با واحدات SI طور ذیل رابطه دارند.

طول $\Leftarrow 6.21\times10^{-4}\ mile=3.28\,ft=39.4\,in=1m$

مساحت $\Leftarrow 1.55\times10^{3}\ in^2=10^4\ cm^2=1m^2$ $\qquad 91.44cm=0.9144m=1\,yard$

حجم $\Leftarrow 10^3\ liters=6.1\times10^4\ in^3=35.3\,ft^3=1m^3$

کتله $\Leftarrow 1\ slug=14.59\,Kg$

وزن $\Leftarrow 1\ Lb=4.45N\Rightarrow 1N=\dfrac{1}{4.45}Lb=0.2247Lb$

وقت $\Leftarrow 1\ year=365.24\,dey\,s=8.76\times10^3\ hr=5.26\times10^5\ \min=3.156\times10^7 s$

کثافت $\Leftarrow 1\ kg/m^3=1\times10^{-3}\,g/m^3=1.94\times10^{-3}\ slug/ft^3$

سرعت $\Leftarrow 1\ m/s=3.28\,ft/s=2.24\dfrac{miles}{hr}=3.60\dfrac{Km}{hr}$

تعجیل $\Leftarrow 1\ m/s^2=3.281\ ft/s^2=3.60\ \dfrac{km/hr}{s}$

قوه $\Leftarrow \begin{cases} 1\ N=10^5\ dynes=0.225\,lb \\ 1\ liter=4.45N=16\,ounces \end{cases}$

فشار $\Leftarrow 1\ atmosphere\ (atm)=1.013\times10^5\dfrac{N}{m^2}=10\ 13\,milibar=14.7\,lb/in^2$

$=2.12\times10^3\ lb/ft^2=760cm\ of\ Hg$

سوالات

1 - بـه نظر شـما بـرای مقادیر ذیل کدام یـک از واحدات را یک واحد مناسـب می‌دانید؟

الف: وقتی‌که برای دیدن یک CD لازم است

ب : برای کتلهٔ یک موتر تیزرفتار

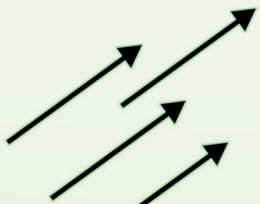
ج :برای طول یک میدان فوتبال
د: برای اندازه کردن قطر یک غوری
هـ: برای وقت یک سمستر مکتب شما
و: فاصله بین خانه و مکتب شما _____
ز: برای کتلۀ بدن شما
ح: برای اندازه کردن قد شما

وکتور و سکالر:

در فزیک کمیات به دو نوع اند که عبارت از کمیات وکتوری و سکالری می‌باشد. کمیت وکتوری عبارت از آن کمیت فزیکی اســت که علاوه بر مقدار، توســط جهت نیز مشــخص می‌شود. طور مثال، برای توضیح مکمل یک قوه بالای یک جسم، باید جهت قوۀ عامل و یک عدد، که مقدار قوه را نشان می‌دهد، هر دو مشخص گردد و توسط علامۀ (⟶) نشان داده می‌شــود که به نام وکتور یاد می‌گردد. سکالر تنها مقدار دارد و دارای جهت نمی‌باشد. بعضی مثال‌های کمیت ســکالری عبارت از کتله، کثافت، چارج برقی، انرژی، درجۀ حرارت، مساحت و وقت می‌باشد.

بعضی خواص وکتور:

دو وکتور مساوی: دو وکتور A و B وکتورهای مساوی اند در صورتی‌که آن‌ها دارای مقادیر (طول) مســاوی و هم جهت باشــند. یعنی A و B باهم مساوی اند. آن‌ها 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 باشــند. این خاصیت بیان می‌نماید که یک وکتور با خودش مساوی است، در حقیقت یک وکتور موازی به خودش حرکت کرده می‌تواند.

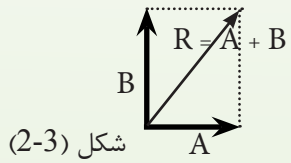

شکل(1-2)

جمــع کردن دو وکتور: هر چند دراین مورد در صنف یازدهم به تفصیل بیشــتر مطالعه خواهید کرد، با آن هم در این صنف در حد ضرورت موضوعات را به طور فشرده توضیح می‌داریم:

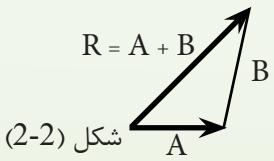
زمانی‌که دو یا بیشــتر وکتورها باهم جمع می‌شــوند، باید تمــام وکتورها دارای واحدات

مشـــابه و در یک سیستم باشـــند. به طور مثال بی معنی خواهد بود که اگر وکتور سرعت را بـــا وکتور تغییر مکان جمع نماییم زیرا آن‌هـــا کمیات مختلف فزیکی اند. قواعد جمع کردن وکتورها توســـط طریقه‌های هندســـی بیان می‌شـــود. 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. ایـــن طریقه به نـــام طریقهٔ جمع کردن مثلثی وکتورها یاد می‌شـــود. یک طریقهٔ دیگر جمع کردن گرافیکی دو وکتور که به نام قاعدهٔ متوازی الاضلاع یاد می‌شود در شکل (2-3) نشان داده شده است. دراین ساختمان آغاز وکتورهای A و B یک نقطه بوده و وکتور محصلهٔ R، قطر متوازی الاضلاع را تشـــکیل می‌دهد که وکتورهای A و B اضلاع آن می‌باشـــد. وقتی‌که دو وکتـــور را جمع می‌نماییم، مجموعـــهٔ آن به طریقهٔ جمع کردن ارتباط نه دارد. این حالت را می‌توانیم از ســـاختمان هندسی مشـــاهده نماییم، که به نام قانون تبدیلی در عملیهٔ جمع کردن یاد می‌شود، یعنی: (A+B=B+A)

هـــر گاه ســـه یا بیشـــتر وکتورها را با هم جمع کنیم، مجموعه شـــان مربـــوط به ترتیبی نمی‌باشد که در آن وکتورها به صورت جداگانه باهم جمع می‌شوند. ثبوت هندسی این سخن برای سه وکتور در شکل (2-4) داده شده است. این به نام قانون اتحادی در عملیهٔ جمع یاد می‌شود، یعنی: $A + (B + C) = (A + B) + C$

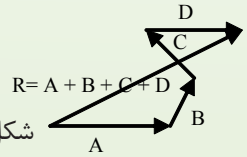


شکل (2-3)

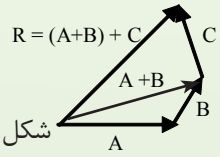


شکل (2-2)

هم‌چنان می‌توانیم ســـاختمان هندســـی را برای جمع کردن بیشـــتر از سه وکتور نیز به‌کار بریم. این حالت برای چهار وکتور در شکل (2-5) نشان داده شده است.



شکل (2-5)



شکل (2-4)

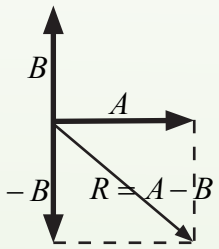
$R = A + B + C + D$ (وکتور محصله) این محصله وکتوری اســت که کثیرالاضلاع را تکمیل می‌نماید. به عبارت دیگر، R عبارت از وکتوری است که از آغاز وکتور اولی الی انجام وکتور نهایی رسم می‌شود. باز هم ترتیب جمع کردن مهم نیست.

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

تفریــق کردن وکتورها: در عملیهٔ تفریق کردن وکتورها، از تعریف وکتور منفی اســتفاده می‌نماییــم. عملیهٔ A-B را طوری تعریف می‌نماییم کــه 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.

$$A - B = A + (-B).....$$



شکل (2-6)

ضرب یک سکالر با یک وکتور: اگر با وکتور A یک کمیت مثبت سکالری mضرب 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 نتیجهٔ صحیح حاصل گردد.

گاهی انســان‌ها آلــهٔ اندازه‌گیری را غلــط می‌خوانند و گاهی هم ثبــت (نتیجه) را غلط می‌نمایند و بالآخره سبب اشتباه می‌گردند.

اشتباه یا به وسیلهٔ انسان‌ها به وجود می‌آید و یا ذریعهٔ وسایل اندازه‌گیری ایجاد می‌شود.

اشتباهی که توسط انسان‌ها به وجود می‌آید، ذریعهٔ 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، وقتی‌که ذریعهٔ 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 ذریعهٔ آلهٔ اندازه‌گیری به وجود می‌آید، به نام اشتباه ابزاری (Instrumental error) یاد می شود، و هر زمانی که این آله مورد استفاده قرار می‌گیرد این اشتباه همرایش می‌باشد. این نوع اشتباه یک جانبه می‌باشد، به این معنی که اگر اندازه‌گیری توسط این آله صورت بگیرد و یک کمیت فزیکی را بیشتر نشان بدهد، پس همیشه آن‌را زیاد نشان خواهد داد. طور مثال، اگر سرعت حرکت یک ساعت زیاد باشد همیشه وقت را پیشتر نشان می‌دهد و اگر فرضاً حرکت آن کُند 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 دستهٔ آن درست کار نکند سبب اشتباه می‌گردد.

سوالات

1 -به صورت عمومی‌اشتباه یا توسط ..... و یا ذریعهٔ ..... به وجود می‌آید.

2 - اشتباه میتود به وسیلهٔ ایجاد ..... اصلاح شده می‌تواند.

3 - اشتباهی که به سبب نقص آله به وجود می‌آید ..... یاد می‌شود.

4 -هر کار تجربی از ..... خالی نمی‌باشد، مگر باید به ..... حالت خود آورده شود.

2-5: تحلیل و تجزیهٔ ابعاد

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

یک تخنیک خیلی عالی که به صورت عمومی‌در حل سوالات فزیک از اشتباه جلوگیری می‌نماید این است که در جواب سوال، واحدات درست باشد و دیده شود که در مطابقت به ابعاد به‌کار برده شده باشد. مسئلهٔ مهم دیگر این است که نه تنها باید واحدات با ابعاد در مطابقت باشد، بلکه عین واحد باید به‌کار 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 زمانی‌که آن‌ها مساحت را دریافت می‌نمایند، طول را در عرض ضرب می‌کنند. توضیح و بیان این واحد جواب یعنی به $(m.cm)$ 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 پیداکردن 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.

وضاحت ندارد $\begin{cases} 20\cdot 35m \\ \times 12.50cm \\ \hline 25437.5\,m\times cm\,? \end{cases}$ وضاحت دارد $\begin{cases} 20.35\,m \\ \times 12.5m \\ \hline 254.375\,m^2 \end{cases}$

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

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

a) اگر خواسته باشیم این کتله را به g نشان دهیم، با استفاده از جدول چنین عمل می‌کنیم: $2.0\,fg\,(\frac{1\times10^{-15}g}{1\,fg} = 2.0\times10^{-15}\,g$

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

$$2.0\times10^{-15}\,g\,(\frac{1\,kg}{1\times10^{3}\,g}) = 2.0\times10^{-18}\,kg$$

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 آن‌را در زمان یک سال طی می‌نماید و قیمت عددی آن 9500000000000km می‌باشد، این فاصله چند مترا ست؟

a. $9.5\times10^{10}\ m$ b. $9.5\times10^{12}\ m$

c. $9.5\times10^{14}\ m$ d. $9.5\times10^{18}\ m$

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 آلهٔ اندازه‌گیری اشتباه موجود خواهد بود.

4 - اگر در یک اندازه‌گیری، طول یک پنسل را توسط واحد سانتی متر گزارش بدهید، چند رقم قابل ارزش را خواهید داشت؟

5 - برای یک معادلهٔ صحیح فزیکی 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 فزیکی) 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. $3.00\times10^{8}\ ^{m}/_{s}$

c. $25.030\ C^{\circ}$ d. $0.0060070\ C^{\circ}$

e. $1.004\ j$ f. $1.30520\ MHz$

7 - سرعت نور $2,99792458\times10^{8}\ ^{m}/_{s}$ 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. $78.9\pm0.2\ m$ b. $3.788\times10^{9}\ s$

c. $2.46\times10^{6}\ Kg$ d. $0.0032\ mm$

9 - پیریود یک رقاصهٔ ساده (که دارای بعد واحد وقت است) توسط معادلهٔ ذیل داده شده است: $T=2\pi\sqrt{{}^{l}/_{g}}$

در ایـــن معادلـــه i طول رقاصه و تعجیل جاذبهٔ زمین اســـت. آیا ایـــن معادله از نظر ابعاد درست است؟

10 - وســـیلهٔ تحلیـــل ابعاد همان بعد را نشـــان دهید که در نتیجهٔ تقســـیم فاصله بالای سرعت حاصل می‌شود.

11 - حاصل جمع ذیل را بدســـت آرید و نتیجه را توســـط متر نشـــان دهید. قوانین ارقام قابل ارزش را پیروی نمایید.

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

نور

شما در هنگام روز اشیای اطراف خود را می‌بینید، ولی در شب چیزی را دیده نمی‌توانید. چرا؟ در جواب حتمی‌می‌گویید که در هنگام روز به خاطری اشـــیا را می‌بینیم که زمین توسط آفتاب روشن می‌شود. مگر در شب که تاریکی می‌باشد، هیچ چیزی معلوم نمی‌شود و اگر مهتاب باشد، اشیا قسماً روشن دیده می‌شوند.

از این جا واضح می‌گردد که نور، ســـبب دیدن اشیا می‌گردد؛ بنابراین گفته می‌توانیم که نور، عامل طبیعی است که اشیا را قابل رؤیت می‌سازد و اگر نور نباشد هیچ چیز دیده نمی‌شود، بنابراین سؤال به وجود می‌آید که نور چیست؟ نور چگونه انتشار می‌نماید؟ نور به کدام سرعت انتشار می‌نماید؟ عمل متقابل نور با ماده چگونه است؟ انعکاس نور چیست؟ قوانین انعکاس کدام‌ها اند؟ و آشکار است که بعضی اجسام، نور را به صورت منظم منعکس می‌نماید که این نوع اجســـام، آیینه‌ها نامیده می‌شـــوند، پس ســـؤال می‌شود که آیینه‌ها چگونه اجســـامی‌اند؟ چند نوع اند؟ تصویر در آیینه‌ها چگونه تشکیل می‌گردد؟ معادلات آیینه چگونه اند و چطور حاصل می‌شوند؟ به این سؤالات و سؤالات مشابه به آن می‌توانید با مطالعهٔ این فصل، جواب ارایه نمایید.



خواص نور

اکثریت مردم در مورد حالت ظاهری نور فکر می‌کنند؛ مانند جلا و سفیدی نور که توسط منبع نور مثل آفتاب تولید می‌شود. با وجود این‌که نور به رنگ های دیگر نیز وجود دارد؛ طور مثال هرگاه شما یک پارچهٔ شیشـهٔ سـبز یا پلاستیک را در مقابل نور سفید قرار دهید، در عقب آن نور سبز را می‌بینید. این حادثه برای رنگ‌های نور نیز صدق می‌نماید.

چشمان ما هفت رنگ را تشخیص کرده می‌توانند که عبارتند از: رنگ‌های سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش که بعد از عبور نور سفید از یک منشور رنگ‌های متذکره حاصل می‌گردد.

خاصیت دیگر نور، انعکاس است. به خاطر درک مفهوم انعکاس فرض نمایید که شما موهای سرتان را اصلاح می‌کنید و می خواهید بدانید که عقب سر شما چگونه معلوم می‌شود. شما می‌توانید این کار را با استفاده از دو آیینه که نور را از قسمت عقب سر شما به طرف چشمان تان جهت می‌دهد انجام دهید. همانگونه که گفته شـد، جهت دادن دوباره برای نور توسـط آیینه‌ها خاصیت عمل متقابل نور با ماده را نشـان می‌دهد. در یک مادهٔ منظم؛ مانند هوا، آب یا خلا، نور به امتداد خط مسـتقیم انتشار می‌یابد که این هم یک خاصیت نور اسـت. اگر نور با مواد مختلف برخورد نماید، مسیر آن تغییرمی‌نماید؛ ولی اگر مادهٔ مکدر (تاریک) مانند سطح میز چوبی که صیقلی باشد، نور از آن عبور نخواهد کرد. مگر یک قسمت نور جذب گردیده و باقیماندهٔ آن دوباره منعکس می‌شـود. این تغییر جهت نور یا منعکس شـدن آن به نام انعکاس یاد می‌گردد. تمامی‌اجسام یک قسمت نور وارده را جذب می‌کنند و باقیماندهٔ آن را منعکس می‌نمایند. در یک مادهٔ شفاف و نیمه شفاف، نور جذب شده نیز مسیر خود را تغییر می‌دهد که این حادثه را به نام انکسار یاد می‌نمایند، که این هم یک خاصیت مهم نور است.

سوالات

1. رنگ سفید متشکل از کدام رنگ‌ها است؟
2. چشمان ما چند رنگ را تشخیص کرده می‌توانند.
3. خواص نور کدام‌ها اند؟
4. 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 چراغ روشن را که از ما به فاصلهٔ زیاد قرار دارد، می‌بینیم. این که از آفتاب نور به زمین می‌رسد و یا نورچراغ به چشمان ما می‌رسد و آن‌را 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 به‌نام محیط شفاف یاد می‌شود و محیطی که از آن نور عبور کرده نمی‌تواند به‌نام محیط غیر شفاف یاد می‌گردد.

به پرسش‌ها ذیل جواب بدهید:

1. چرا از طرف بیرون، اشیای داخل یک صندوق فلزی یا چوبی دیده نمی‌شود؛ ولی داخل صندوق شیشه‌یی دیده می‌شود؟
2. نام‌های چند مادهٔ شفاف و غیر شفاف را بگیرید که شما می‌شناسید.

چون قبلاً از آفتاب و چراغ به‌حیث منابع نور یادآوری شـد، این بهتر خواهد بود که منبع وسیع و منبع نقطه‌یی نور را بشناسیم.

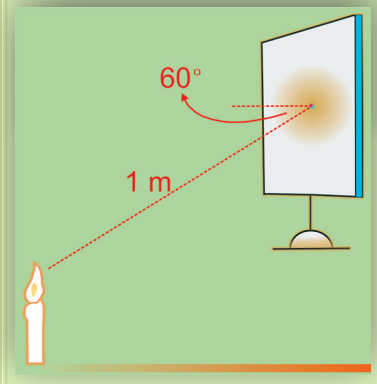
فعالیت

مواد مورد ضرورت:

دو چراغ دستی، مقوای کاغذی و سوزن.

طرزالعمل:

توسط سوزن در مقوای کاغذی سوراخ کوچکی را ایجاد نموده و آن‌را در مقابل چراغ دستی طوری قرار دهید که نور منتشر شده به‌دیوار بیفتد. چراغ دیگر را مستقیم به‌سمت دیوار روشن کنید. در مورد مشاهدات خود با همدیگر بحث کنید.

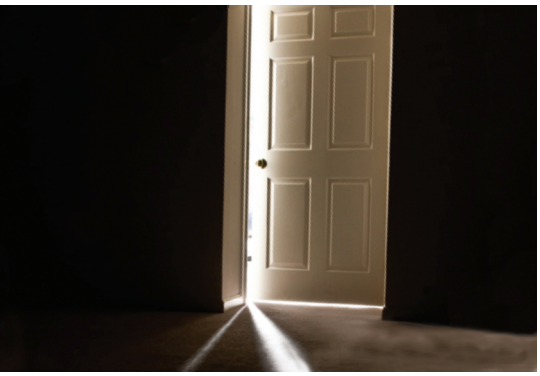


شکل (3-1)

شما خواهید دید که نور بعد از عبور از سوراخ کوچک منتشر می گردد. چراغ دستی و شمع روشن به نام منبع وسیع نور یاد می شوند و سوراخ مقوای کاغذی که به حیث یک منبع کوچک نور عمل می نماید به نام منبع نقطه یی نور یاد می گردد. ولی هر گاه چراغ دستی یا شمع روشن از فاصله یی دیده شود که ابعاد چراغ دستی یا شمع با این فاصله قابل مقایسه نباشد، یعنی ابعاد آن به مقایسهٔ فاصلهٔ دید قابل صرف نظر باشد. پس چراغ دستی و شمع روشن نیز مانند منابع نقطه یی دیده می شوند.

3-1-1: بستهٔ نوری

برای این‌که بدانیم نور چگونه انتشار می‌نماید، نخست باید بستهٔ نوری و اشعه نوری را بشناسیم. در شکل (3-2) ذیل شما مسیر نور را در وقتی می‌بینید که نور از درز بین دروازه و دیوار عبور می‌کند. مسیری نوری که از درز یا سوراخ عبور می‌کند، به روی زمین یک بستهٔ نوری را نشان می‌دهد. بستهٔ نوری، که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعه یاد می‌شود. در حقیقت گفته می‌توانیم که مجموعهٔ چندین اشعهٔ نوری، یک بسته نوری را تشکیل می‌دهد. با مشاهدهٔ بسته نوری می‌توانیم مسیر نور را تشخیص دهیم.



شکل (3-2)

فعالیت

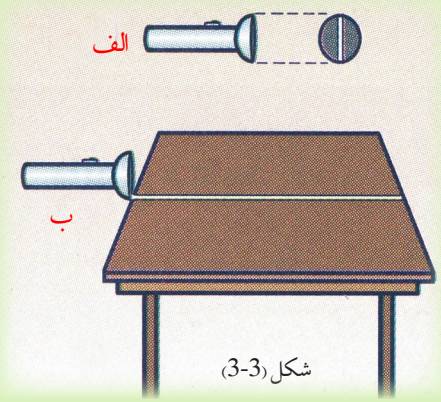
هدف: مشاهدهٔ بسته نوری و تشخیص مسیر نور.

مواد مورد ضرورت:

چراغ دستی، کاغذ مقوا، پرکار، قیچی، چاقو، سکاشتیپ

طرزالعمل

1. از مقوای کاغذی به اندازهٔ شیشهٔ چراغ دستی دایره‌یی را قطع نمایید.
2. در مقوا یک درز مطابق شکل (3-3) ذیل با عرض یک الی دو ملی متر ایجاد کنید.
3. مقوا را بر روی شیشهٔ چراغ دستی طوری نصب نمایید که آن‌را به صورت مکمل بپوشاند و از اطراف آن نور بیرون نگردد.
4. در محلی که خیلی روشن نباشد چراغ دستی را به کنار میز قرار دهید.
5. چراغ دستی را روشن نمایید، شما به‌روی میز، بستهٔ نوری را خواهید دید.



شکل (3-3)

3-1-2: انتشار نور به خط مستقیم

انتشار نور به خط مستقیم را طی اجرای فعالیت ذیل مطالعه می‌نماییم.

فعالیت

مواد مورد ضرورت

شمع، گوگرد، چند مقوای کاغذی، چاقو

طرزالعمل

1. شمع را روی میز قرار داده و آن‌را روشن نمایید.
2. توسط چاقو در قسمت وسط دو مقوا یک سوراخ به وجود آورید.
3. هرسه مقوا را در مقابل شمع روشن طوری قرار دهید که دو مقوای سوراخ شده در جلو و مقوای سوم در عقب باشد.
4. مشاهدات خود را انجام دهید و بگویید که مقواهای سوراخ شده چگونه واقع شوند تا نور بالای مقوای سوم وارد گردد و در کدام حالت نور بالای آن وارد نمی‌شود. در مورد مشاهدات خویش بحث نمایید.

بعد از اجرای فعالیت فوق به این نتیجه خواهید رسید که نور به خط مستقیم انتشار می کند.

3-1-3: سرعت نور

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

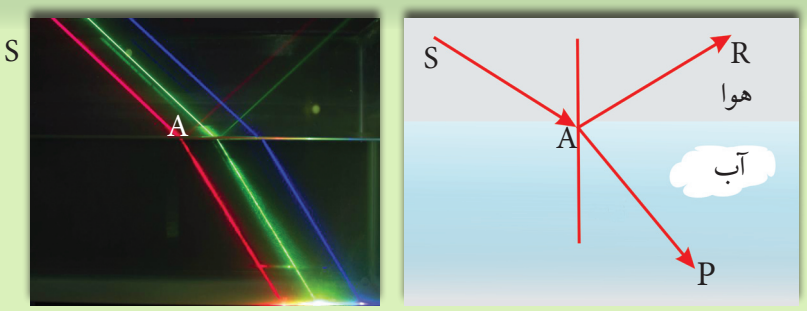
در زمانه‌های قدیم که تخنیک زیاد انکشاف نکرده بود، کوشش‌های تعیین سرعت نور ناکام گردیده بودند؛ زیرا نور دارای بیشترین سرعت است. مگر زمانی که تخنیک انکشاف نمود به خصوص در قرن بیستم، سرعت نور به دقت بهتری اندازه گیری گردید. در وسط قرن بیستم اشتباه تجربی اندازه گیری سرعت نور از 0.001 فی صد نیز کاهش یافت. سرعت قبول شدهٔ نور در خلا $2.99792458\times10^{8}\ m/s$ می‌باشد. سرعت نور در هوا نسبت به این قیمت اندک کوچک‌تر، یعنی $2.99709\times10^{8}\ m/s$ است. در محاسبات سرعت نور در هوا و خلا $3.00\times10^{8}\ m/s$ در نظر گرفته می شود.

3-2: اثر متقابل بین نور و ماده

برای این‌که چگونه گی عمل متقابل بین نور و ماده را درک نماییم فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم.

فعالیت

مواد مورد ضرورت: یک ظرف شیشه‌یی، کاغذ مقوا، چراغ دستی، پودر (گرد) تباشیر.



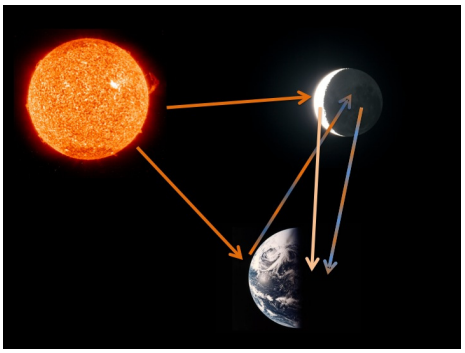
شکل (3-4)

طرزالعمل

فعالیت در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا گردد. ظرف شیشه‌یی را مملو از آب نموده و پودرتباشیر را در آن مخلوط نمایید و آن‌را بالای میز بگذارید. چراغ دستی را روشن کرده و نور آن‌را مانند شکل 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: اشعهٔ 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. اشعهٔ SA را اشعهٔ وارده و اشعهٔAR را اشعهٔ منعکسه می‌گویند. قسمت دیگر آن در امتداد AP داخل آب می‌گردد، مگر مسیر آن تغییر می‌نماید. این حالت را انکسار می‌گویند که بعداً مطالعه خواهید گردید.

3-3: انعکاس



شکل (3-5)

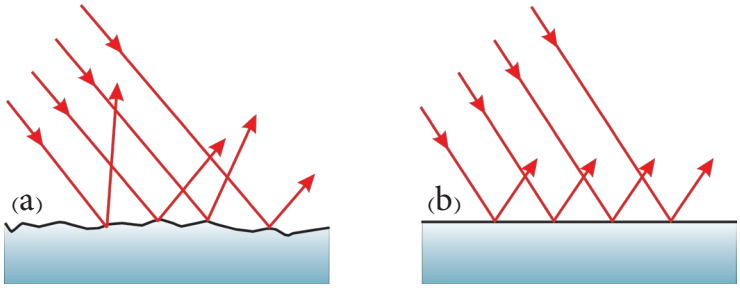


شکل (3-6)

می‌دانیم که مهتاب خـودش نور ندارد، پس چرا در هنگام شـب سطح آن روشـن معلوم می‌شود؟ و یـا اگر در هنگام شـب به اتاقی داخل شـوید که در آن جا هیچ روشـنی نباشـد. آیا اشیای داخل اتاق را می‌بینید؟ ولـی اگر چراغی را در آن روشـن نمایید درین صورت چطور؟ واضح اسـت کـه در این حالت هر چیز را می‌بینیم، پس علت آن چیسـت؟ زمانی‌که چراغی در اتاق روشـن گردد، به سبب انتشار نور در اتاق و برگشـت آن از سـطح اشیا و رسـیدن آن به چشمان ما اشیا دیده می‌شود. مهتاب نیز همین گونه دیده می شود، شکل (3-5).

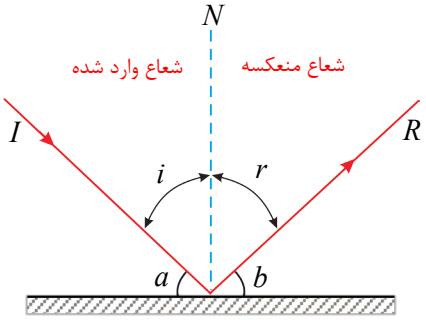
در این حالت نور یک مرتبه از سطح شی برگشت کرده است. بعضی اوقات طوری واقع می‌شود که یک شـی به وسیلهٔ دو مرتبه برگشت نور دیده شود؛ مانند شکل (3-6).

این‌که چگونه نور از یک سطح منعکس می‌گردد، مربوط به همواری سطح می‌باشد. زمانی‌که نور از یک سـطح ناهموار طور مثال چوب صیقل ناشده برگشت می‌نماید، شـعاع‌های آن در بسیاری جهات منعکس می‌گردد؛ مانند شـکل (3-7a). این انعکاس غیر منظم اسـت. هر گاه نور از یک سـطح هموار جلا دار مانند آیینه یا سـطح آب یک حوض منعکس گردد، انعکاس تنها در یک جهت صورت می‌گیرد، چنانکه در شکل (3-7b) نشان داده شده است که این نوع انعکاس را انعکاس منظم گویند.



انعکاس غیر منظم شکل (3-7) انعکاس منظم

در شـکل (3-8) ذیل اشـعهٔ وارده (I)، اشعهٔ منعکسه(R)، خط عمود بالای سطح (N)و زاویای وارده($\hat{i}$) و منعکسه ($\hat{r}$) نشان داده شده اند.



شکل (3-8) انعکاس نور از سطح یک آیینه

فعالیت

هدف: مطالعهٔ رابطه بین زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه

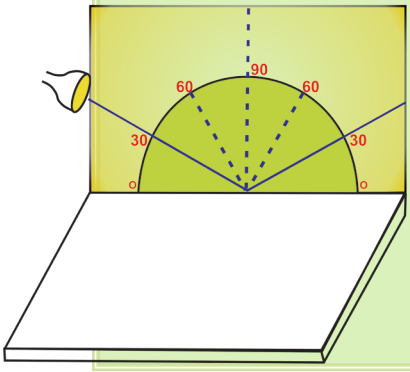
مواد مورد ضرورت

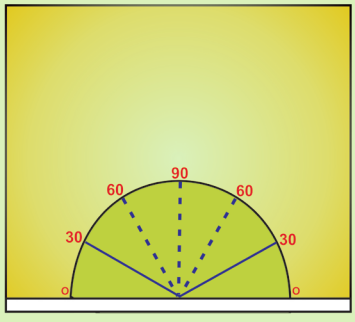
مقوای کاغذی، نقاله، آیینه، چراغ دستی

طرزالعمل

شاگردان در گروپ‌ها مراحل ذیل را انجام دهند.

1. روی مقوا مطابق شکل (3-9) یک نقاله را رسم نمایید.
2. آیینه را روی میز بگذارید.
3. مقوا را در کنار آیینه به طور عمود نصب نمایید.
4. چراغ دستی را روشـن کرده و نور آن‌را تحت یک زاویهٔ معین بـالای آیینـه وارد نماییـد، طوری‌کـه نور منعکسه بالای





شکل (3-9)

سطح دیده شود.

5. در این حالت اندازهٔ زاویهٔ منعکسه را که بالای نقاله آشکار می‌گردد با زاویهٔ وارده مقایسه نمایید.

6. فعالیت را برای زوایایی 0^o , 30^o , 60^o و 90^o انجام دهید.

7. زوایای وارده و منعکسه را در هر مرتبه اندازه نموده و مانند جدول زیر یادداشت کنید.

زاویه وارده	60^o	30^o	0^o	90^o
زاویه منعکسه	60^o			

8. نتیجهٔ فعالیت را با یکدیگر شریک نمایید.

یادداشت: زوایای داده شدهٔ نقاله با زوایای وارده و منعکسه مساوی نیست.

اگر فعالیت را به دقت انجام داده باشید، به این نتیجه می‌رسید که زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی اند.

3-3-1: قوانین انعکاس

از فعالیت‌های فوق نتایج ذیل به‌دست می‌آید که به‌نام قوانین انعکاس یاد می‌شود:

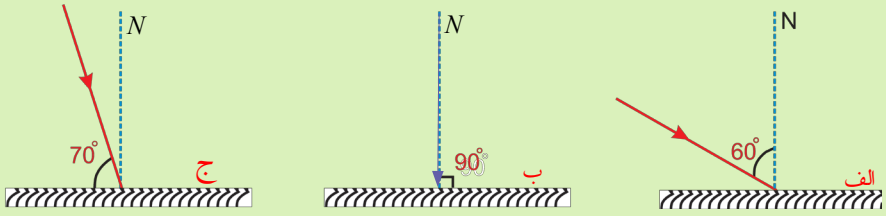
الف: اشعهٔ وارده، اشعهٔ منعکسه و خط عمود یا نارمل در یک مستوی واقع اند.

ب: زوایهٔ وارده $\hat{i}$ و زاویهٔ منعکسه ($\hat{r}$) با یکدیگر مساوی اند، یعنی:

$$\hat{i} = \hat{r}$$

فعالیت

در اشکال ذیل برای هر زاویهٔ وارده، زاویهٔ منعکسه و اشعهٔ منعکسهٔ آن‌را رسم نمایید.

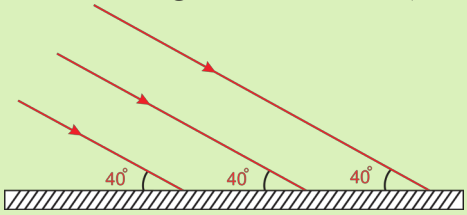


شکل (3-10)

رسم های خود را با یکدیگر مقایسه نمایید.

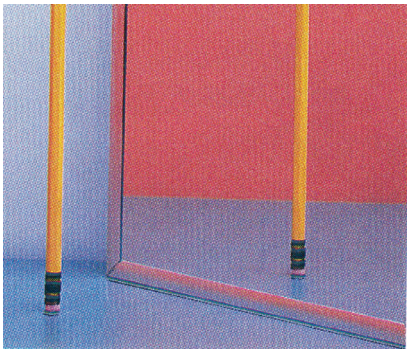
فعالیت

1. در شکل (3-11) زاویه های منعکسهٔ هر اشعهٔ وارده را تعیین نمایید.
2. زوایای وارده با یکدیگر چگونه اند؟
3. شعاع‌های منعکسه را رسم نمایید و بگویید که شعاع‌های منعکسه با یکدیگر چگونه اند؟



شکل (3-11)

آیینه‌های مستوی



شکل (3-12) تصویر پنسل در آیینهٔ مستوی

شما در شکل چه را می‌بینید؟ تصویر پنسل را در آیینه چگونه می‌بینید؟ کدام تصویر را مجازی می گویند؟

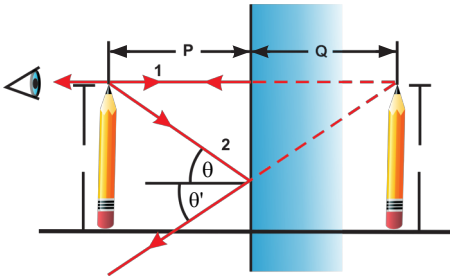
سطح هموار و صیقلی که نور را به طور منظم انعکاس دهد آیینه مستوی گفته می شود. هر گاه یک شی مانند پنسل در پیش روی یک آیینهٔ مستوی به یک فاصله، عمود قرار داده شود از هر نقطهٔ آن اشعهٔ نوری بالای آیینه وارد می‌شود و از سطح آیینه منعکس می‌گردد. بیننده‌یی که به آیینه نگاه می‌کند طوری برایش معلوم می‌شود که اشعه از آن طرف آیینه، از یک محل منشأ گرفته است، یعنی تصویر شی در عقب آیینه در همین محل واقع است، زیرا طوری معلوم می‌شود که نور از این نقطه منشأ گرفته است. فاصلهٔ شی از آیینه (p) و فاصلهٔ تصویر از آیینه (q) با همدیگر مساوی اند؛ هم چنین شی و تصویر از نظر بزرگی مساوی می‌باشند.

تصویری که از تقاطع امتداد یافته شعاع های منعکسه تشکیل می شود، به نام تصویر مجازی یاد می‌شود؛ چنانکه در شکل (3-12) نشان داده شده است. آیینهٔ مستوی همیشه تصویر مجازی تشکیل می‌دهد و طوری معلوم می‌شود که در عقب سطح آیینه واقع است. تصویر مجازی را بالای پرده یا جسم دیگر نشان داده نمی‌توانیم.

چگونه می توانید موقعیت تصویر پنسلی را که در پیش روی آیینه مستوی قرار دارد پیدا نمایید؟

به این پرسش توسط دیاگرام شعاعی که موقعیت تصویر را نشان می‌دهد، جواب گفته می‌توانیم.

طریقهٔ دیاگرام شـــعاعی در شکل (3-13) نشان داده شده است؛ چنانکه می‌بینید تصویر یک پنسل ایستاده در پیش روی یک آیینهٔ مستوی توسط ترسیم هندسی ساده در عقب آیینه دریافت شده است. برای دریافت تصویر پنسل، نخست موقعیت و وضعیت آیینه و هم‌چنان موقعیت پنسل را رسم نمایید. در هنگام ترسیم، فاصلهٔ شی را از آیینه توسط p و فاصلهٔ تصویر را از آیینه توسط q نشان دهید. به خاطر آسانی موضوع تنها نوک پنسل را در نظر بگیرید.



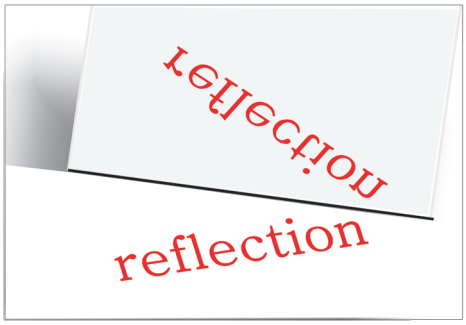
شکل (3-13) اندازه و موقعیت تصویر پنسل در آیینه مستوی

بـــه خاطر این‌کـــه موقعیت تصویر نوک پنســـل را تعیین نمایید، شـــما در دیاگرام خـــود از این نقطه دو اشـــعه را رسم نمایید. اشعهٔ اولی را طوری رسم نمایید که از نوک پنسل بالای سطح آیینه عمود باشد.

چون این اشعه با عمود بالای سطح آیینه (نارمل) زاویهٔ صفر درجه را تشکیل می‌دهد، پس زاویهٔ انعکاس نیز صفر درجه می‌باشد؛ بنابر این اشعه روی خودش منعکس می گردد.

در شکل فوق این اشعه توسط عدد1 نشانی شده است، و هر دو جهت آن ذریعهٔ وکتورها نشان داده شده است. اشعهٔ دوم را از نوک پنسل بالای سطح آیینه طوری رسم نمایید که بالای سطح آیینه عمود نباشد؛ بلکه با عمود بالای سطح، زاویهٔ θ را تشکیل بدهد. در شکل فوق اشعهٔ دوم توسط عدد 2 نشان داده شده است. اشعهٔ منعکسه را طوری رسم نمایید که بعد از انعکاس از آیینه با نارمل، زاویهٔ θ' تشکیل بدهد. زاویهٔ θ با زاویهٔ θ' مساوی می‌باشد. بعد هر اشعهٔ منعکسه را در عقب آیینه امتداد دهید تا یکدیگر را قطع نمایند. زمانی‌که این اشعه را رسم می‌نمایید از خطوط نقطه چین استفاده نمایید، تا این شعاع‌ها از اشـــعهٔ حقیقی که در پیش روی آیینه توســـط خطوط ضخیم نشان داده شده اند، تمیز گردند. نقطهٔ تقاطع این خطوط نقطه چین در عقب آیینه، تصویر است که درین حالت تصویر، نوک پنسل را تشکیل می‌دهد. به این ترتیب، شما می‌توانید تصویر هر نقطهٔ قسمت‌های دیگر پنسل را ترسیم و تصویر مکمل مجازی پنسل را دریافت نمایید. گفتنی است که فاصلهٔ تصویر در عقب آیینه مساوی به فاصلهٔ پنسل از آیینه است $(p = q)$. هم‌چنان طول یا ارتفاع (h)شی مساوی به ارتفاع (h') تصویر می‌باشد.

دیاگرام شعاعی برای دریافت تصویر هر شی که در مقابل آیینهٔ مستوی قرار داشته باشد به‌کار برده می‌شود. برای مشاهدی که در پیش روی آیینه واقع باشد تصویر تشکیل شده توسط آیینهٔ مستوی متناظر شی معلوم می‌شود. شما می‌توانید این اثر را با گذاشتن یک پارچهٔ تحریر شده در پیش روی آیینه ببینید، چنانکه در شکل (3-14) نشان داده شده است. در آیینه هر حرف معکوس دیده می‌شود؛ هم‌چنان شما دیده می‌توانید که حرف و تصویر منعکسهٔ آن نسبت به آیینه عین زاویه را تشکیل می‌دهد.



شکل (3-14)

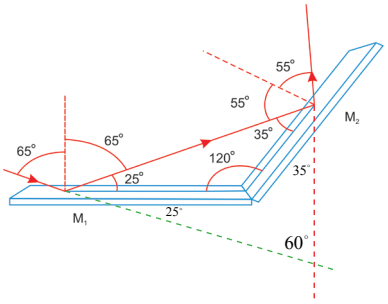
۳-۳-۲ آیینه‌های متلاقی

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

به پرسش با ذکر یک مثال جواب می‌دهیم:

مثال

دو آیینهٔ M_1 و M_2 را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل زاویهٔ 120° را با یکدیگر تشکیل می‌دهند. یک اشعه بالای آیینهٔ M_1 طوری وارد می‌شود که با عمود بالای آیینه زاویهٔ 65° را تشکیل می‌دهد. جهت اشعه را بعد از انعکاس از آیینهٔ M_2 دریافت نمایید.



شکل (3-15) انعکاس نور در آیینه های متلاقی

حل:

شکل (3-15) به درک این حالت کمک می‌کند. اشعهٔ وارده از آیینهٔ اولی منعکس می‌گردد و اشـعهٔ منعکسـه به طرف آیینهٔ دومی‌پخش می‌گردد. در آن‌جا توسـط آیینهٔ دومی‌منعکس می‌شـود. برای تحلیل مسـأله از قانون انعکاس استفاده می‌نماییم. می‌دانیم که اشعهٔ منعکسهٔ اولی با عمود زاویهٔ 65° را تشـکیل می‌دهد. از این جا اشـعه با افق زاویهٔ $90^\circ - 65^\circ = 25^\circ$ را تشکیل می‌دهد.

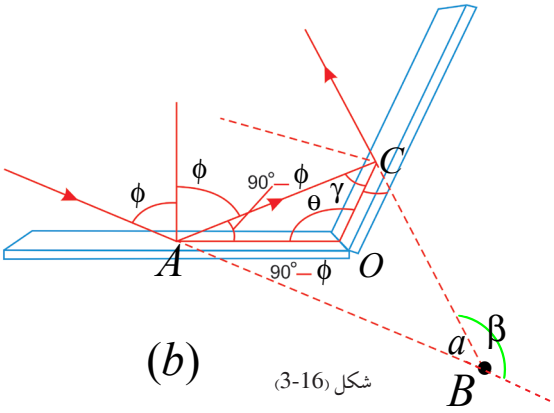
در مثلثی که توسـط اشـعهٔ منعکسه اولی و دو آیینه تشـکیل می‌گردد، دیده می‌شود که اشعهٔ منعکسه اولی با آیینه M_2 زاویهٔ 35° را تشکیل می‌دهد؛ زیرا مجموعهٔ زوایای داخلی هر مثلث 180°می‌باشد؛ بنابرین این اشعه با عمود بالای آیینهٔ M_2 زاویهٔ 55° را تشکیل می‌دهد. به اسـاس قانون انعکاس اشعهٔ منعکسـهٔ دوم با عمود بالای آیینهٔ M_2، زاویهٔ 55° را تشکیل می‌دهد.

تغییرات زاویه بین آیینه‌های متلاقی

هر گاه اشـعهٔ وارده و اشعهٔ منعکسهٔ خروجی در شـکل (3-16)به عقب آیینه امتداد داده شود، آن‌ها یکدیگر را تحت زاویهٔ 60° قطع می‌نمایند، زیرا که تغییر مجموعی در جهت اشعهٔ نوری 120°می‌باشد و این برابر به زاویه بین آیینه‌ها می‌باشد. اگر زاویه بین آیینه‌ها تغییر نماید چه واقع می‌شـود؟ آیا تغییر مجموعی در جهت اشـعهٔ نوری همیشه برابر با زاویهٔ بین آیینه‌ها می‌باشد؟

تشکیل یک بیان عمومی‌محض به اساس یک قیمت (دیتا) همیشه قابل اعتماد نمی‌باشد. به این اساس تغییر جهت اشعهٔ نوری را برای یک حالت عمومی‌مطالعه می نماییم. شکل (3-16) یک زاویهٔ اختیاری θ را بین آیینه‌ها نشان می‌دهد. اشعهٔ وارده بالای آیینه به زاویهٔ ϕ که در سطح آیینه با نارمل تشکیل می‌دهد، وارد می‌شود. به اساس قانون انعکاس و مجموعه زوایای داخلی یک مثلث $(\overset{\Delta}{AOC})$زاویهٔ γعبارت است از:

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



شکل (3-16)

در شکل (3-16) با در نظرداشت مثلث $\overset{\Delta}{ABC}$ می‌توانیم بنویسیم که:

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

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

$$\beta = 180^\circ - \alpha = 180 - 2(\phi - \gamma) \quad \therefore \gamma = 90 + \phi - \theta$$
$$= 180^\circ - 2\left[\phi - (90^\circ + \phi - \theta)\right]$$
$$= 180 + 180 - 2\phi + 2\phi - 2\theta$$
$$\beta = 360 - 2\theta$$

گفتنی است که β با θ مساوی نیست؛ ولی تنها برای $\theta = 120^\circ$، $\beta = 120^\circ$ حاصل می‌شود که مساوی به زاویه بین آیینه‌ها می‌باشد؛ طور مثال هرگاه $\theta = 90^\circ$ باشد، $\beta = 180^\circ$ حاصل می‌شـــود. در این حالت، نور واپس بالای نور وارده منعکس می‌گردد. تا حال زاویه بین اشعهٔ وارده و اشعهٔ منعکسه آیینهٔ دوم را در آیینه‌های متلاقی مطالعه کردیم.

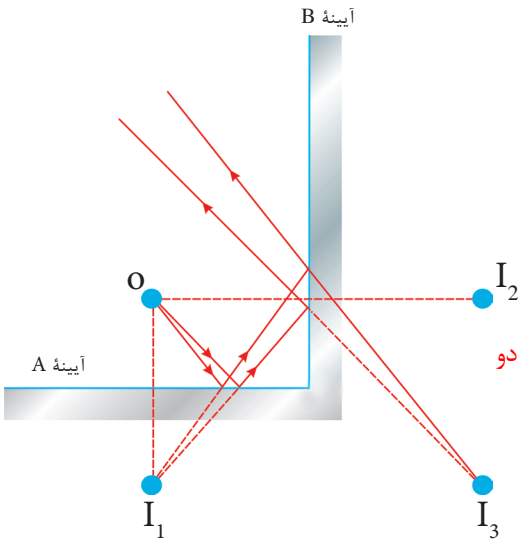
هرگاه در مقابل آیینه‌های متلاقی یک شی واقع گردد، تصاویر آن چگونه تشکیل می‌شود؟ این پرسش را نیز با یک مثال توضیح می‌دهیم.

مثال

دو آیینـــهٔ مســـتوی را در نظر می‌گیریـــم که یکی بالای دیگر عمود بوده و یک شـــی در نقطهٔ o مقابل هر دو آیینه واقع باشـــد. در این حالت تعداد زیادی تصاویر تشـــکیل می‌گردد. محل‌های این تصاویر را تعیین می‌نماییم.

حل

در آیینهٔA، تصویر شـــی I_1 و در آیینهٔ B تصویر آن I_2 اســـت و هم‌چنان تصویر ســـوم تشـــکیل می‌گردد. این تصویر ســـوم عبارت از تصویر I_1 در آیینهٔ B یا تصویر I_2 در آیینهٔ A می‌باشـــد،یعنی تصویر I_1 یا I_2 برای I_3 حیثیت شـــی را دارد. برای تشکیل تصویر I_3 اشعه دو مرتبه منعکس می‌گردد.



شکل (17-3) تصاویر یک شی را بین دو آیینه عمود بر هم نشان می دهد.

هر گاه از نقطهٔ تلاقی آیینه‌ها دایره‌یی را رســـم نماییم، دیده می‌شـــود که شـــی و هر سه تصویر آن بالای محیط دایره واقع می‌شوند پس، مناسب است که بنویسیم $\frac{360}{90}=4$ این‌که بالای محیط دایره یکی آن خود جســـم اســـت. پس برای تعداد تصاویر می‌توانیم بنویســـیم کـــه $\frac{360}{90}-1=3$. در این جـــا 3 تعداد تصاویر و 90° زاویه بین آیینه‌ها اســـت؛ بنابر این به صورت عمومی اگر زاویه بین آیینه های متلاقی را به α و تعداد تصاویر را به n نشان دهیم، می‌توانیم بنویسیم که:

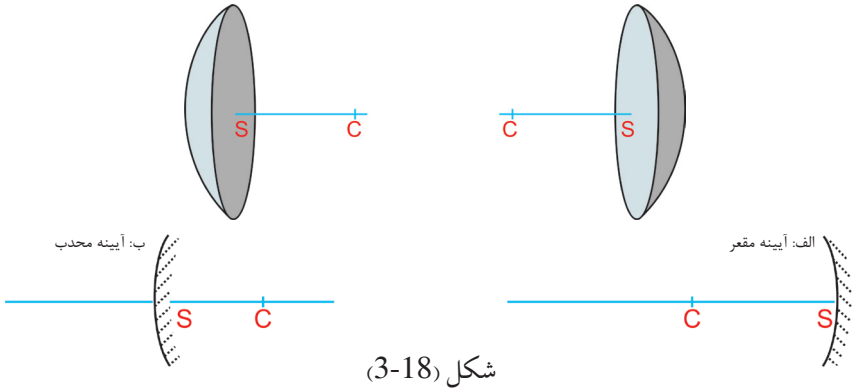
$$n=\frac{360}{\alpha}-1$$

3-4: آیینه‌های کروی

آیینه‌های مســتوی را شــناختید و با چگونه‌گی تشــکیل تصویر در آن‌ها آشنا شدید. در زندگی و بعضی تجارب علمی از نوع دیگر آیینه‌ها نیز استفاده می‌شود که به نام آیینه‌های کروی یاد می‌شــوند. آیینه‌های کروی چنانکه از نام آن هویداســت، شکل یک قسمت کره را دارند، یعنی تمام نقاط آیینه از یک نقطه که به نام مرکز آیینه یاد می‌شــود، عین فاصله را دارند.

نظر به این‌که کدام طرف این آیینه‌ها منعکس کننده است، آیینه‌های کره‌یی به دو گروه تقسیم می‌شوند که به نام آیینهٔ مقعر و آیینهٔ محدب یاد می‌شود.

هر گاه سطح داخلی آیینهٔ کروی منعکس کننده باشد آن‌را به نام آیینهٔ مقعر و اگر سطح خارجی آن منعکس کننده باشد به نام آیینهٔ محدب یاد می‌شود. این هر دو نوع آیینه‌ها در شکل (3-18)نشان داده شده است.

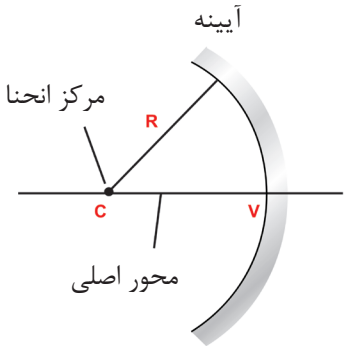


شکل (3-18)

3-4-1: آیینه مقعر

شــکل (3-19) یک آیینهٔ مقعر را نشــان می‌دهد، در این آیینه نور توســط سطح داخلی آیینه منعکس می‌گردد. شــعاع انحنای آیینه R و مرکز انحنای آن C است. نقطهٔ V عبارت از مرکز قســمت کروی اســت و خطی که از c و v عبور می‌کند به نام محور اصلی آیینه یاد می‌شود.

قانــون انعــکاس در مورد آیینه‌های کروی نیز صدق می‌نمایــد، یعنی اگر در همان نقطهٔ آیینهٔ کروی که نور وارد می‌شــود عمودی بالای ســطح رسم گردد، زوایای وارده و منعکسه مشخص می‌شود. در این جا نیز زوایای وارده و منعکسه باهم مساوی اند، شکل (19-3).



شکل (19-3)

فعالیت

هدف: شناخت محراق و فاصلهٔ محراقی آیینهٔ مقعر

مواد مورد ضرورت

آیینهٔ مقعر، یک ورق کاغذ

طرزالعمل

1. آیینهٔ مقعر را در مقابل آفتاب قرار دهید.
2. ورق کاغذ را در مقابل آیینه طوری جابه جا نمایید تا کوچک‌ترین دایرهٔ روشــن به روی صفحهٔ کاغذ نمایان گردد. توجه نمایید که ورقهٔ کاغذ را باید طوری قرار دهید تا مانع رسیدن اشــعهٔ آفتاب به آیینه نگردد. ورقهٔ کاغذ را طوری حفظ نمایید که دایرهٔ روشن روی صفحهٔ کاغذ کوچک‌ترین اندازه و روشن‌ترین حالت را دارا باشد.

محل تشکیل دایرهٔ روشن به نام محراق اصلی آیینه یاد می‌شود.

فاصلــه از محراق الی آیینه بــه نام فاصلهٔ محراقی آیینه یاد می‌شــود. در آیینه‌های مقعر، محراق حقیقی اســت. از اندازه کردن فاصلهٔ محراقی معلوم شــده اســت که این فاصله نصف فاصله از مرکز انحنا الی آیینه می‌باشد، یعنی فاصلهٔ محراقی نصف شعاع آیینه است. اگر فاصلهٔ

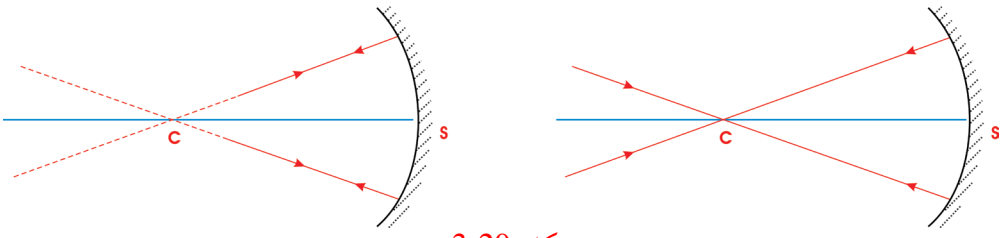
محراقی f و شعاع آیینه R باشد پس داریم که: $f = \frac{R}{2}$

تا این جا دانستیم که در آیینه‌های کروی، قانون انعکاس صدق می‌نماید؛ هم‌چنان محور اصلی، شعاع انحنا، مرکز انحنا، محراق و فاصلهٔ محراقی آیینهٔ مقعر را شناختیم. حال در یک آیینهٔ مقعر اشعهٔ وارده و منعکسه را رسم می‌نماییم.

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

زیرا این اشعه بالای آیینه عمود می‌باشد، یعنی $\hat{i} = \hat{r} = 0$ (هر خطی که از مرکز کره عبور می‌نماید بالای کره عمود می‌باشد). در اشکال (3-20 الف،ب) این نوع شعاع‌ها در آیینهٔ مقعر نشان داده شده است.

(نقطهٔ c مرکز انحنای آیینه است).



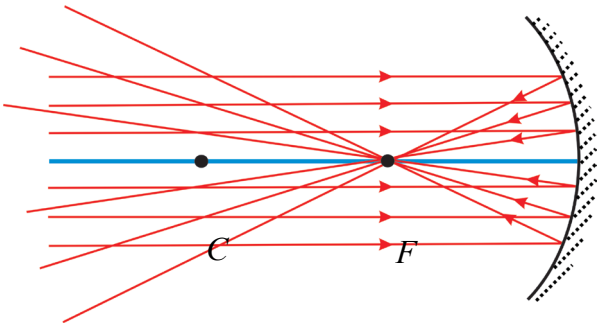
شکل (3-20)

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

ب) اشعه‌یی که در امتداد مرکز بالای آیینهٔ مقعر بتابد بالای مسیر اولی خود منعکس می‌گردد

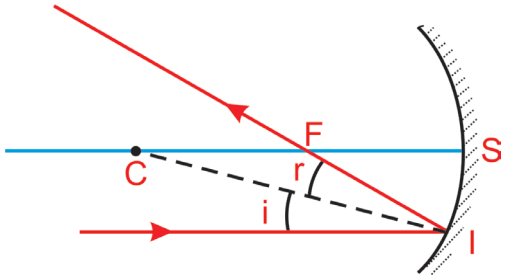
ب) در فعالیت قبلی دیدیم که چون شعاع آفتاب از فاصلهٔ بسیار دور بالای آیینهٔ مقعر می‌تابید، تمام اشعه آن موازی با محور اصلی بوده و بعد از انعکاس در یک نقطهٔ متمرکز می شوند. نتیجه می‌شود که: هر گاه شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر بتابد، شعاع منعکسهٔ آن از یک نقطهٔ بالای محور اصلی که به نام محراق یاد می‌شود عبور می‌نمایند.

شکل (3-21) اشعهٔ وارده و منعکسه را در یک آیینهٔ مقعر نشان می‌دهد.



شکل (3-21) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق اصلی عبور می‌نماید

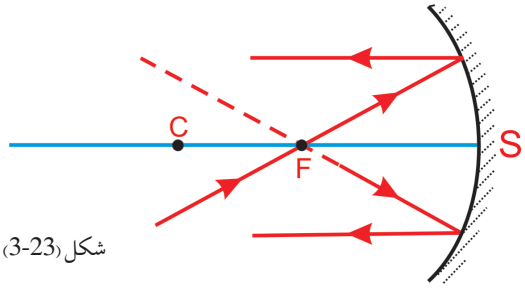
در شکل (3-22) یک اشعهٔ موازی با محور اصلی و اشعهٔ منعکسهٔ آن نشان داده شده است. چنانکه ذکر گردید در این آیینه نیز قانون انعکاس صدق می‌نماید. یعنی هر گاه بالای سطح آیینه در نقطهٔ I نور وارد شده و خط عمود (IC) رسم گردد، دیده می‌شود که زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی اند.



شکل (3-22) شعاعی که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر می‌تابد بعد از انعکاس از محراق آیینه عبور می‌نماید

ج) شکل (3-23) نشان می‌دهد که هر گاه اشعهٔ وارده از محراق عبور کرده و بالای آیینهٔ مقعر بتابد و یا طوری وارد گردد که امتداد آن از محراق عبور نماید، اشعهٔ منعکسهٔ آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد.

قبل از این‌که به اساس معلومات فوق تصویر یک شی را در آیینهٔ مقعر توسط ترسیم دریافت نماییم، بعد از انجام فعالیت به پرسش‌های ذیل پاسخ دهید.
آیا تصویر خود را در قاشق نکلی دیده اید؟ چگونه تصویر خواهد بود؟



شکل (3-23)

فعالیت

مواد مورد ضرورت

هدف: دیدن تصویر یک شمع روشن در آیینهٔ مقعر

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

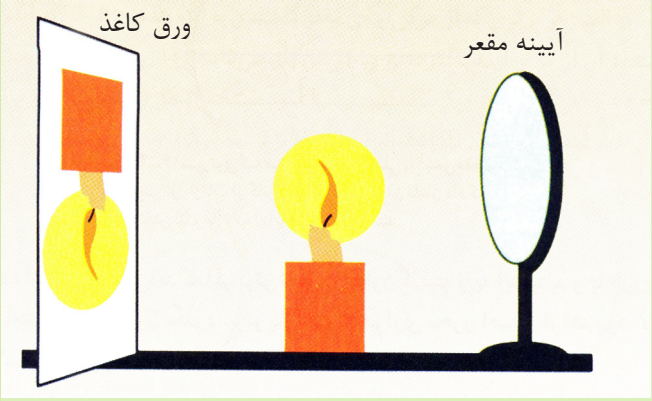
طرزالعمل: فعالیت باید در اتاق نسبتاً تاریک انجام شود.

1. آیینه را بالای پایه نصب نمایید.

2. محل محراق اصلی آیینه را توسط جابه‌جا کردن موقعیت شمع تعیین و فاصلهٔ آن را الی آیینه اندازه نمایید.

3. شمع را مانند شکل در فاصلهٔ 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. متوجه باشید که ورق کاغذ مانع رسیدن نور از آیینه نگردد.

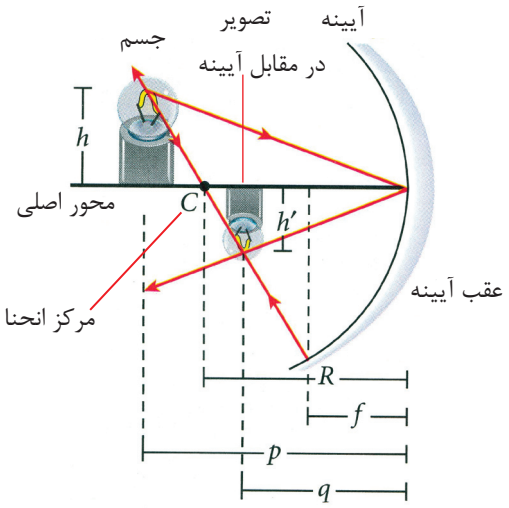
4. شمع روشن را در فاصله بین محراق و مرکز آیینه در محل‌های مختلف قرار دهید و در هر محل تصویر آن‌را به روی صفحهٔ کاغذ مشاهده نمایید و نتیجه مشاهدات تان را با یکدیگر شریک سازید.



شکل (3-24)

تصویر در آیینه کروی مقعر

ابتدا در آیینهٔ مقعر تشکیل تصویر یک شمع روشن را به وسیلهٔ ترسیم مطالعه می‌نماییم. شکل زیر را می‌بینیم:



شکل (3-25)
دریافت تصویر یک شمع روشن توسط ترسیم در آیینهٔ مقعر

همانگونه که در شکل بالا نشان داده شده است، شمع روشن خارج از مرکز انحنای آیینهٔ مقعر گذاشته شده است. قاعدهٔ شمع در محور اصلی آیینه واقع شده است.

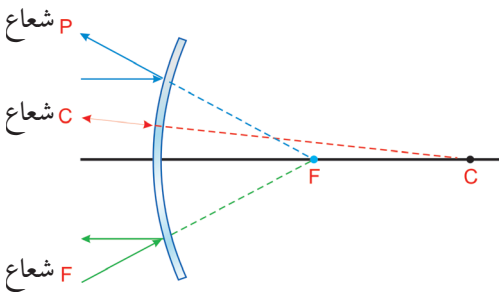
برای تشکیل تصویر شمع، دو شعاع نوری از نوک شمع را در نظر می گیریم. یکی از شعاع ها از مرکز انحنای آیینه عبور نموده و بعد از برخورد به سطح آیینه به روی خودش بر می‌گردد.

شعاع دومی با یک زاویهٔ معین به رأس آیینه تابیده و به اساس قانون انعکاس در جهت متناظر بر می گردد. این دو شعاع همدیگر را در یک نقطه قطع نموده و تصویر نوک شمع را تشکیل می دهد. تصویر تشکیل شده نظر به اصل شی کوچکتر و سرچپه بوده و بین محراق و مرکز انحنای آیینه قرار دارد.

3-4-2: آیینهٔ کروی محدب

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

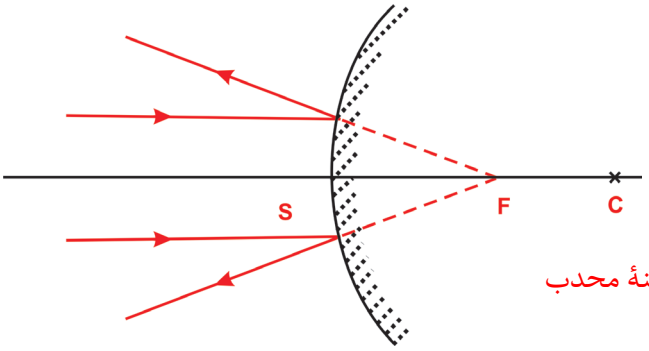
بنابر این، تصویر حاصل شـــده همیشه مجازی و فاصلهٔ تصویر با علامت منفی نشان داده می شـــود، زیرا سطح انعکاس دهندهٔ آیینه در جهت مخالف شعاع انحنا قرار دارد؛ هم چنین فاصلهٔ محراقی آیینهٔ کروی محدب نیز منفی است. نقطهٔ محراقی و مرکز انحنا در عقب سطح آیینه قرار دارد، شکل (3-26).



شکل (3-26) آیینه کروی محدب

محراق آیینهٔ محدب

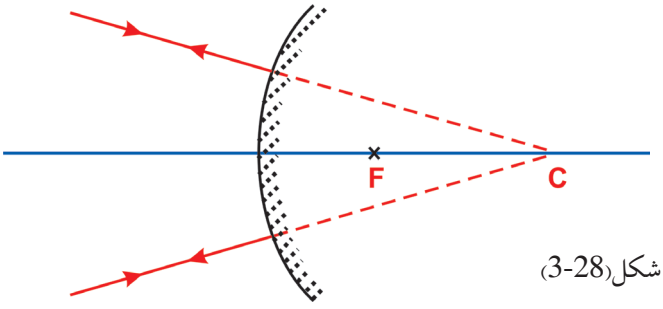
هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شـــعاع منعکســـهٔ آن در عقب آیینه از یک نقطه بالای محور اصلی عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق آیینهٔ محدب یاد می‌کنند. محراق آیینهٔ محدب مجازی است. فاصله از محراق آیینه الی آیینه را فاصلهٔ محراقی می‌گویند. در آیینه‌های محدب نیز فاصلهٔ محراقی، نصف شـــعاع، یعنی ($f = \frac{R}{2}$) می‌باشد. شکل ذیل (3-27) شعاع واردهٔ موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب و چگونه‌گی انعکاس آن را نشان می‌دهد.



شکل(3-27) محراق آیینهٔ محدب

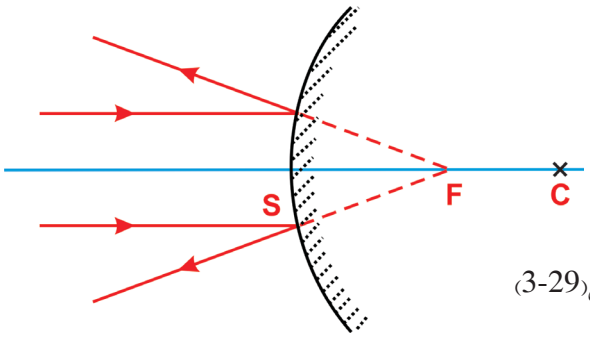
ترسیم اشعهٔ منعکسه در آیینهٔ محدب

الف) شعاعی که بالای آیینهٔ محدب طوری بتابد که امتداد آن در عقب آیینه از مرکز آیینه عبور نماید، بالای مسیر خود اشعه منعکس می‌گردد. در شکل (3-28) شعاع‌هایی نشان داده شده است که در امتداد مرکز آیینه بالای آیینه می‌تابند.



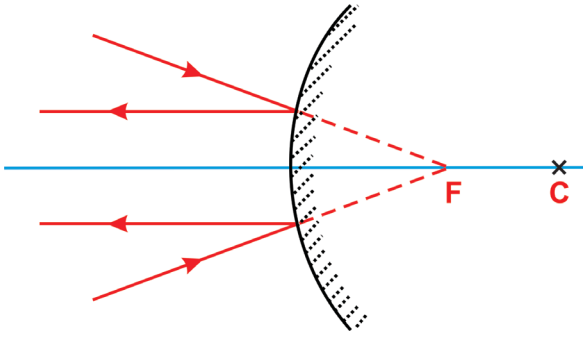
شکل(3-28)

ب) اشــعهٔ که موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب بتابد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد اشعهٔ منعکسهٔ آن از محراق مجازی آیینهٔ محدب (در عقب آیینه) عبور می‌نماید.



شکل(3-29)

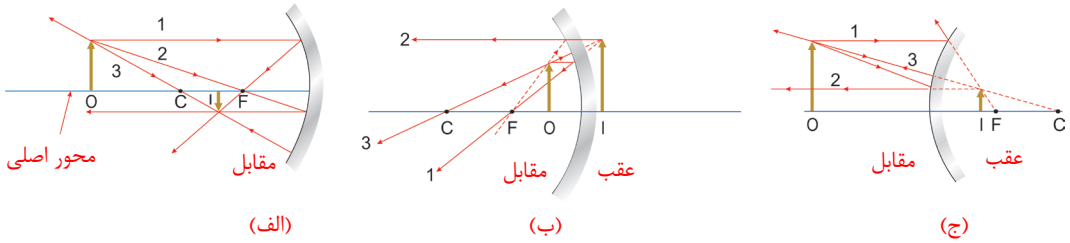
ج) هر گاه امتداد شــعاع‌های وارده از محراق عبور نماید، شعاع‌های منعکسهٔ آن‌ها موازی با محور اصلی می‌باشد. این نوع شعاع‌ها در شکل (3-30) نشان داده شده اند.



شکل (3-30)

3-4-3: تشکیل تصویر در آیینه‌های کروی

توسط ترسیم شعاع‌ها می‌توانیم محل و اندازهٔ تصاویر را طور مناسب دریافت نماییم. این ترسیمات گرافیکی، خواص تصویر را نشان می‌دهد. برای ترسیم لازم است که محل شی (موقعیت)، محراق آیینه و مرکز انحنا را بشناسیم. بعد برای دریافت محل تصویر سه اشعهٔ اساسی را از شی رسم می‌نماییم، چنانکه در مثال‌های شکل (3-31) نشان داده شده است.



شکل (3-31) ترسیم تصویر در آیینه‌های کروی

الف) هر گاه شی خارج از مرکز انحنای آیینه مقعر واقع باشد، تصویر حقیقی، معکوس و کوچکتر از اصل شی می‌باشد.

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

ج) هر گاه شی در پیش روی آیینهٔ محدب واقع باشد، تصویر مجازی، راسته و کوچکتر از اصل شی می‌باشد.

این شعاع‌ها را به طور نمونه از عین نقطهٔ شی در نظر گرفته و ترسیم می نماییم. می‌توانیم بالای شی هر نقطهٔ دلخواه را انتخاب نماییم. در این جا برای آسانی کار نوک جسم را انتخاب کرده ایم. برای آیینهٔ مقعر اشکال (الف 3-31 / ب 3-31) را مشاهده نمایید، شعاع‌های اساسی ذیل را رسم می‌نماییم:

اشعهٔ اول را از نوک جسم موازی با محور اصلی رسم می‌نماییم که منعکسهٔ آن از محراق (F) عبور می‌کند.

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

اشـــعهٔ ســـوم از نوک جســـم رســـم، از مرکز انحنا(C)گذشـــته و بالای خود اشعه منعکس می‌شود.

از جملهٔ این شعاع‌ها تقاطع دو اشعه، محل تصویر را تعیین می‌نماید و اشعهٔ سوم برای ملاحظهٔ این ترســـیم به‌کار برده می‌شود. فاصله‌یی که برای تصویر از آیینه به این ترتیب حاصل می‌شود، مساوی با قیمتی است که توسط محاسبه به دست می‌آید.

هر گاه شی به آیینهٔ مقعر خیلی نزدیک شود چه واقع می‌شود؟ زمانی‌که در شکل (الف28-3) شی به محراق نزدیک شود تصویر حقیقی، معکوس و به طرف چپ حرکت می‌کند.

وقتی‌که شی در محراق واقع شود، تصویر به طرف لایتناهی می‌رود. زمانی‌که شی بین محراق و سطح آیینه واقع گردد، چنانکه در شکل (ب29-3) نشان داده شده است، تصویر مجازی، راسته و بزرگ می‌باشـــد؛ طور مثال هر گاه روی شما به آیینه نسبت به محراق نزدیک واقع شود، شما تصویر روی خود را راسته و بزرگ خواهید دید.

برای تشکیل تصویر در آیینه‌های محدب سه شعاع اساسی ذیل را درنظر می‌گیریم:

اشعهٔ اول را از نوک جسم موازی به محور اصلی رسم کرده و از آیینه طوری منعکس می‌گردد که امتداد آن از محراق F عبور می‌کند.

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

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

در آیینهٔ محدب تصویر یک شی همیشه مجازی، راسته و نسبت به اصل شی کوچکتر می‌باشد چنانکه در شـــکل (ج31-3) نشـــان داده شده اســـت. در این حالت زمانی‌که فاصلهٔ شی به آیینه نزدیک می‌شود تصویر مجازی بزرگ شده و از محراق به طرف آیینه می‌رود.

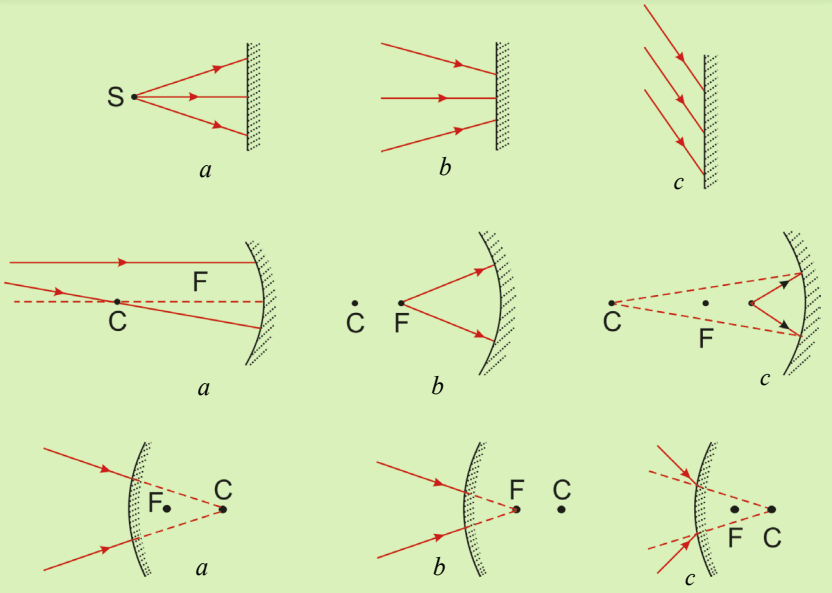
فعالیت

شـــما دیاگرام‌های دیگری را ترســـیم نمایید و نشـــان دهید که در آیینه‌های محدب موقعیت تصویر نسبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید؟

هم‌چنان نشـــان دهید که در آیینه‌های مقعر موقعیت تصویر نســـبت به موقعیت شی چگونه تغییر می‌نماید؟

فعالیت

الف) مطابق شکل (32-3) ذیل اشعهٔ نوری بالای آیینه‌ها می‌تابد. با استفاده از قانون انعکاس نور در هر یک از اشکال ذیل مسیر اشعهٔ منعکسه را رسم نمایید.



ب) با استفاده از نتایج قسمت الف فوق جدول ذیل را تکمیل نمایید. شکل (32-2)

نوع آیینه		شعاع منکسه		
		متقارب	متباعد	موازی
آیینه‌های مستوی	a			
	b			
	c			
آیینه‌های مقعر	a			
	b			
	c			
آیینه‌های محدب	a			
	b			
	c			

3-5: معادلات آینه‌ها

در آیینه های کروی فاصلهٔ شـــی، فاصلهٔ تصویر از آیینه و شـــعاع انحنای آیینه با یکدیگر رابطه دارند هرگاه فاصلهٔ شی از آیینه و شعاع انحنای آیینه را بشناسیم، می‌توانیم پیشگویی نماییم که تصویر در کجا تشکیل می‌شود؛ هم‌چنان می‌توانیم با شناخت فاصلهٔ شی و فاصلهٔ تصویر از آیینه، شـــعاع انحنای آیینه را دریافت نماییم. معادلهٔ ذیل که رابطه بین فاصلهٔ شی (P)، فاصلهٔ تصویر (q) و شعاع انحنا (R) را نشان می‌دهد، به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود.

$$\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}=\frac{2}{2f}$$

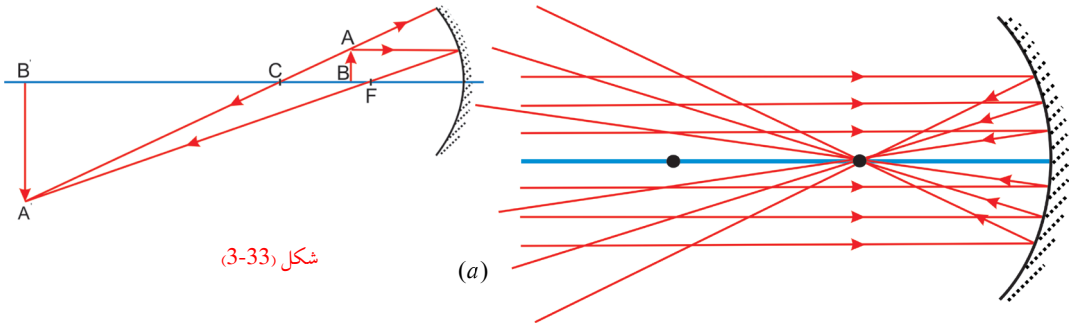
اگر فاصلهٔ موقعیت یک شی از آیینه خیلی زیاد باشد، پس فاصلهٔ شی P به مقایسهٔ R خیلی بزرگ بوده و $\frac{1}{P}$ تقریباً صفر می‌شود. در این حالت q تقریباً مساوی به $\frac{R}{2}$ گردیده؛ بنابرین تصویر در فاصلهٔ نصف بین مرکز انحنا و سطح آیینه (بالای محراق) تشکیل می‌شود. قسمی که در اشکال (3-33a و 3-33b) نشـــان داده شـــده است که تصویر، شکل کوچک (تقریباً نقطه‌یی) را داشته و این محل به نام محراق یاد می‌شود که توسط حرف F نشان داده می‌شود.

هر گاه منبع نوری در محراق واقع باشـــد، شـــعاع منعکسهٔ آن موازی با محور اصلی پخش می‌گردد و تصویر تشـــکیل نمی‌شـــود. منبع نوری که از آیینه به فاصلهٔ خیلی زیاد واقع باشد، شعاع‌های منتشرهٔ آن با یکدیگر موازی بوده و در این حالت تصویر در محراق تشکیل می‌گردد و فاصلهٔ این تصویر به نام فاصلهٔ محراقی یاد می‌شـــود که توســـط f نشان داده می‌شود. چون در آیینه‌های کروی فاصلهٔ محراقی مســـاوی به نصف شـــعاع انحنا است، پس معادله آیینه را می‌توانیم این طور بنویسیم:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{2f} \quad \text{و یا} \quad \frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

یعنی:

$$\frac{1}{\text{فاصلهٔ شی}}+\frac{1}{\text{فاصلهٔ تصویر}}=\frac{1}{\text{فاصلهٔ محراقی}}$$



شکل (3-33)

در وقت اســتفاده از معادلهٔ آیینه باید برای سه متحول علامات مناسبی به کار برده شود. برای این مقصد آن طرفی را که اشــعه نوری به آن ســمت منعکس شــده و تصاویر حقیقی تشــکیل می‌گردد به نام طرف پیش روی آیینه یاد می‌شــود. جانب دیگر آیینه که در آن‌جا شعاع نوری وجود ندارد و تصاویر مجازی تشکیل می‌شوند به نام عقب آیینه یاد می‌شود.

هر گاه یک فاصله از مرکز آیینه الی هر نقطهٔ دیگری که در پیش روی آیینه واقع باشــد اندازه گردد، فاصلهٔ شــی و تصویر علامت‌های مثبت دارند. برای تصاویری که در عقب آیینه تشکیل می‌شوند، فاصله‌ها علامت‌های منفی را دارا می‌باشند. چون سطح صیقلی آیینهٔ مقعر به طرف پیش روی آیینه واقع است؛ بنابرین فاصلهٔ محراقی آن همیشه دارای علامت مثبت می‌باشــد. هر گاه شــی و تصویر هر دو بالای محور اصلی واقع باشــند، اگر به طرف بالا باشد دارای علامت مثبت و اگر به طرف پایین باشد دارای علامت منفی می‌باشد.

سوالات

1. اگر منبع نوری در محراق واقع باشد شعاع منعکسهٔ آن از آیینه چگونه انتشار می‌یابد؟
2. در وقــت اســتفاده از معادلهٔ آیینه، کدام فواصل مثبــت و کدام فواصل منفی درنظر گرفته می‌شوند؟
3. فاصلهٔ محراقی با شعاع انحنای آیینه 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 معادلهٔ آیینه

پیشـــتر گفته شد که بین فاصلهٔ شی، فاصلهٔ تصویر و شعاع انحنا رابطه‌یی وجود دارد که به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود، یعنی:

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

این رابطه را می‌توانیم با استفاده از طریقهٔ ترسیم هندسی برای پیداکردن تصویر یک شی در آیینـــهٔ کروی مقعر ثبوت نماییم. برای این مقصد شـــکل را در نظر می‌گیریم و مطابق به قرار داد فاصلهٔ شی از نقطهٔ V آیینه را P و فاصلهٔ تصویر را q و هم‌چنان شعاع انحنای آیینه را توســـط R نشان می‌دهیم. شکل (3-34) دو شعاع را نشان می‌دهد که از نوک شی پخش می‌گردد. یک شـــعاع از مرکـــز انحنای آیینه (C) عبور کرده، بالای ســـطح آیینه طور عمود می‌تابد و واپس بالای خود شـــعاع منعکس می‌گردد. اشـــعهٔ دوم بالای مرکز آیینه (نقطهٔ V) می‌تابد و مطابق به قانون انعکاس چنانکه در شـــکل نشـــان داده شده است منعکس می‌شود. تصویر این نقطه در محلی تشـــکیل می‌گردد که این شـــعاع‌ها یکدیگر را قطع می‌نمایند. در شکل (3-34) با استفاده از مثلث $\overset{\Delta}{\text{ABV}}$ می‌توانیم بنویسیم که $tg\theta=\frac{h}{p}=\frac{AB}{Bv}$ و از مثلث $\overset{\Delta}{ABV}$ می‌توانیم بنویسیم که $tg\theta'=\frac{A'B'}{IV}=-\frac{h'}{q}$ علامت منفی به خاطری است که تصویر معکوس می‌باشـــد؛ بنابرین h' نیز منفی می‌باشد؛ چون $\theta=\theta'$ است پس یک طرف این دو رابطه باهم مساوی می‌شوند و می‌توانیم بنویسیم که: $\frac{h}{p}=-\frac{h'}{q}$

ویا

$$\frac{h'}{h}=-\frac{q}{p}\text{.....(2}$$

و هم در شـــکل (3-34) برای دو مثلثی که دارای زاویه‌های متشابه می‌باشند، می‌توانیم بنویسیم که:

$$tg\alpha=\frac{h}{P-R}$$

و:

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

از روابط فوق می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{P-R} \quad \text{.....(3}$$

از مقایسهٔ معادلات 2 و 3 داریم که:

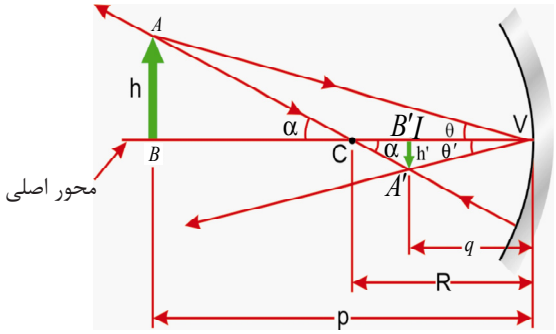
$$\frac{q}{p} = \frac{R-q}{p-R}$$

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

اطراف را به pqR تقسیم نموده داریم:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \quad \text{.....(4}$$

قسمی که پیشتر نیز ذکر گردید، این افاده به نام معادلهٔ آیینه یاد می‌شود.



شکل(3-34)

تصویر تشکیل شده توسط آیینهٔ کروی مقعر درحالی‌که شی (AB) خارج از مرکز انحنا واقع است.

به اساس معلومات قبلی که فاصلهٔ محراقی به اندازهٔ نصف شعاع انحنا است، پس معادلهٔ (4) را می‌توانیم طور ذیل بنویسیم:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \text{.....(5}$$

برای مقایسهٔ محدبیت و مقعریت یک آیینه با آیینهٔ دیگر از فاصلهٔ محراقی (f) استفاده می‌شود.

فاصلهٔ محراقی، تابع مواد تشکیل دهندهٔ آیینه می‌باشد؛ زیرا تصویر در نتیجهٔ شعاع منعکسه از سطح آیینه تشکیل می‌شود و هم‌چنان از رابطهٔ $f = \frac{R}{2}$ واضح می‌گردد که فاصلهٔ محراقی تنها تابع شعاع انحنا می‌باشد، نه ماده‌یی که آیینه را تشکیل می‌دهد.

3-5-2: تطبیقات

الف) محاسبهٔ فاصلهٔ تصویر در آیینهٔ مقعر

آیا در آیینهٔ مقعر فاصلهٔ تصویر مربوط به فاصلهٔ جسم می‌باشد؟

در آیینهٔ مقعر تصویر حقیقی می‌باشد یا مجازی؟

چگونه می‌توانیم بدانیم که تصویر حقیقی است یا مجازی؟

چنانکه پیشتر در ترسیم تصویر یک شی در آیینهٔ مقعر دیدیم که در آیینهٔ مقعر، فاصلهٔ تصویر از آیینه تابع فاصلهٔ شی از آیینه است. در بعضی حالات فاصلهٔ تصویر از آیینه نسبت به فاصلهٔ شی از آیینه زیاد تر و در بعضی حالات کوچکتر می‌باشد. تصویر بیشتر در آیینه مقعر حقیقی بوده و در یک حالت مجازی می‌باشد.

هر گاه فاصلهٔ شی از آیینه (p) و فاصلهٔ محراقی (f) معلوم و فاصلهٔ از آیینه (q) معلوم نباشد، در معادلهٔ $\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ عوض p و f قیمت‌های شان را وضع کرده و قیمت q را محاسبه می‌نماییم. 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 فاصلهٔ تصویر از آیینه معلوم و تصویر مجازی باشد، در این حالت این فاصله را با علامت منفی عوض q می‌نویسیم.

به خاطر صحت معادلهٔ آیینه، فعالیت ذیل را انجام می‌دهیم:

فعالیت

مواد مورد ضرروت

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

طرزالعمل

محراق آیینهٔ مقعر را دریافت و فاصلهٔ آن‌را الی آیینه اندازه نمایید. بعد با اندازه کردن فاصلهٔ جسم و فاصلهٔ تصویر از آیینه، صحت معادلهٔ آیینه را بررسی نمایید و نتیجهٔ آن‌را با هم صنفان خود شریک سازید.

مثال

یک شی از آیینهٔ مقعر به فاصلهٔ 20 سانتی متر واقع است. اگر شعاع آیینه 30 سانتی متر باشد، فاصلهٔ تصویر را از آیینه و چگونه‌گی تصویر را تعیین نمایید.

حل:

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

به اساس معادلهٔ آیینه:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{20cm} + \frac{1}{q} = \frac{1}{15cm}$$

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

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

فاصلهٔ تصویر از آیینه:

چون q مثبت است؛ بنابر این تصویر حقیقی می‌باشد.

مثال

یک شـــی از آیینهٔ مقعری به فاصلهٔ 12 ســـانتی متر واقع است. فاصلهٔ محراقی آیینه 24 سانتی متر است. فاصلهٔ تصویر از آیینه، نوع تصویر و فاصلهٔ شی را از تصویر دریافت نمایید.

حل:

$$P = 12cm \quad , \quad f = 24cm \quad , \quad q = ?$$

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

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{24cm} - \frac{1}{12cm} = \frac{4-3}{24cm}$$

$$q = -24cm$$

فاصلهٔ تصویر از آیینه:

چون q منفی است؛ پس تصویر مجازی می‌باشد.

$$\text{فاصلهٔ تصویر از جسم} = P + q = 12 + 24$$
$$= 36cm$$

مثال

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

حل

چــون تصویر مجازی اســت، باید در معادله، عوض q قیمــت آن‌را با علامت منفی وضع نماییم.

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

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

$$f = 36cm \ , \ R = 2f = 72cm$$

ب) محاسبهٔ فاصلهٔ تصویر از آیینهٔ محدب

بــرای آیینهٔ محدب نیز معادلهٔ $\frac{1}{P}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ صدق می‌نماید؛ مگر از این‌که در آیینهٔ محدب محراق مجازی اســت؛ بنابراین در وقت محاسبه برای فاصلهٔ محراقی علامت منفی می‌نویسیم. اگر فاصلهٔ تصویر از آیینه معلوم نباشــد، در معادلهٔ فوق عوض p و f قیمت‌های عددی آن‌ها را می‌نویسیم و q را محاسبه می‌نماییم و اگر فاصلهٔ تصویر (q) الی آیینه معلوم باشد، چون در آیینهٔ محدب تصویر مجازی می‌باشد. این فاصله را با علامت منفی در رابطهٔ فوق وضع می‌کنیم.

مثال

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

حل

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

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

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

$$q = -4cm$$

فاصلهٔ تصویر از آیینه

علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

3-5-3: **بزرگ‌نمایی**

نسبت طول تصویر ($A'B'$) بر طول شی (AB) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن‌را توسط حرف m نشان می‌دهند. $m = \frac{A'B'}{AB}$

بزرگ‌نمایی نشان می‌دهد که طول تصویر نسبت به طول شی چند برابر بزرگتر یا کوچکتر است. برای هر دو نوع آیینه‌های کروی می‌توانیم بنویسیم که:

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

یعنی نسبت طول تصویر بر طول شی مساوی به نسبت فاصلهٔ تصویر از آیینه بر فاصلهٔ شی از آیینه است. در رابطهٔ فوق علامت‌های p و q مثبت می‌باشد.

مثال اول

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

حل

$$P = ? \ , \ q = 36cm \ , \ f = 12cm \ , \ AB = 4cm \ , \ A'B' = ?$$

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

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

$$p = 18cm$$

فاصلهٔ جسم از آیینه:

طول تصویر:

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

مثال دوم

یک شـــی را که دارای طول 5 ســـانتی متر است از آیینهٔ محدبی به فاصلهٔ 15 سانتی متر قرار می‌دهیم، تصویر مجازی آن از آیینه به فاصلهٔ 6 ســـانتی متر تشـــکیل می‌گردد. فاصلهٔ محراقی آیینه و طول تصویر را محاسبه نمایید.

حل $P = 15cm\ ,\ q = -6cm\ ,\ AB = 5cm\ ,\ f = ?\ ,\ A'B' = ?$

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

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

$$f=-10cm$$

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

تصویر سرراسته، مجازی و در عقب آیینه تشکیل می‌گردد.

مثال سوم

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

حل

چون شـــی در مرکز آیینه قرار دارد، پس فاصلهٔ آن الی آیینه به اندازهٔ شـــعاع آیینه یا دو برابر فاصلهٔ محراقی است، یعنی:

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

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

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

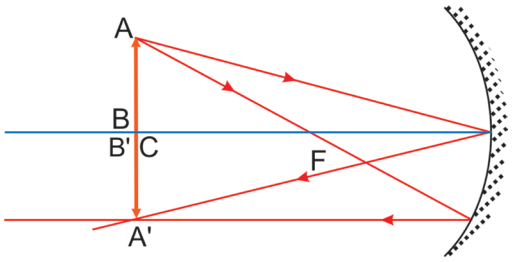
$$\frac{1}{q}=\frac{2-1}{12cm}\Rightarrow\frac{1}{q}=\frac{1}{12cm}\Rightarrow q=12cm$$

چون q مثبت است؛ بنابر این تصویر حقیقی می‌باشد.

دیده می‌شـود که $q = p$ اسـت، از این جا معلوم می‌شود که هر گاه شی در مرکز آیینه واقع گردد، تصویر آن در مرکز تشکیل می‌گردد:

$$m = \frac{q}{p} = \frac{12}{12} = 1$$

از محاسبهٔ بزرگنمایی واضح می‌شود که در این حالت طول تصویر برابر با طول شی می‌باشد.



شکل (3-35)

مثال چهارم: یک شی از آیینهٔ کروی به فاصلهٔ 12 سانتی متر قرار دارد. هر گاه بزرگ‌نمایی آیینـــه دراین حالت $\frac{1}{3}$ و تصویر در عقب آیینه واقع باشـــد. نوع تصویر، نوعیت آیینه و فاصلهٔ محراقی آن‌را دریافت نمایید.

حل

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

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

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

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

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

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

علامت منفی برای f نیز نشان می‌دهد که آیینه محدب است.

خلاصهٔ فصل

• مسیر نوری که از یک درز عبور می‌نماید، به‌روی زمین یک بستهٔ نوری را نشان می‌دهد. بستهٔ نوری که دارای مقطع عرضی خیلی کوچک باشد به نام اشعهٔ نوری یاد می‌شـود. در حقیقت گفته می‌توانیم که مجموعه اشـعهٔ نوری بستهٔ نوری را تشکیل می‌دهد.

• در نتیجهٔ تابیدن نور بالای یک مادهٔ مکدر، یک قسمت نور توسط ماده جذب و قسمت باقیماندهٔ آن واپس برگردانیده می‌شود.

قوانین انعکاس

1 - نور وارده، نور منعکسـه و خط عمود بالای همان نقطهٔ آیینه که نور بالای آن وارد می‌گردد، در یک مستوی واقع اند.

2 - زاویهٔ وارده و زاویهٔ منعکسه با یکدیگر مساوی می‌باشد.

• آیینهٔ مستوی، سـاده ترین آیینه‌یی است که همیشه تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد.

• تعداد تصاویر در آیینه‌های متلاقی توسط فورمول ذیل حاصل می‌گردد.

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

در این جا n، تعداد تصاویر، α زاویه بین آیینه‌ها است.

• آیینه‌های کروی شـکل یک قسـمت کره را دارا است، یعنی تمام نقاط آیینه از یک نقطه‌یی که به نام مرکز آیینه یاد می‌شود عین فاصله را دارند.

• هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ مقعر وارد گردد، طوری منعکس می‌گـردد که در پیش روی آیینه بالای محـور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. این نقطه را به نام محراق اصلی آیینهٔ مقعر یاد می‌کنند.

• هر گاه شعاع موازی با محور اصلی بالای آیینهٔ محدب وارد گردد، طوری منعکس می‌گردد که امتداد شعاع منعکسه در عقب آیینه بالای محور اصلی از یک نقطه عبور می‌نماید. ایـن نقطه را به نام محراق آیینهٔ محدب یاد می‌کنند، محراق آیینهٔ محدب

مجازی می‌باشد.

معادلهٔ آیینه عبارت است از:

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

در این جا

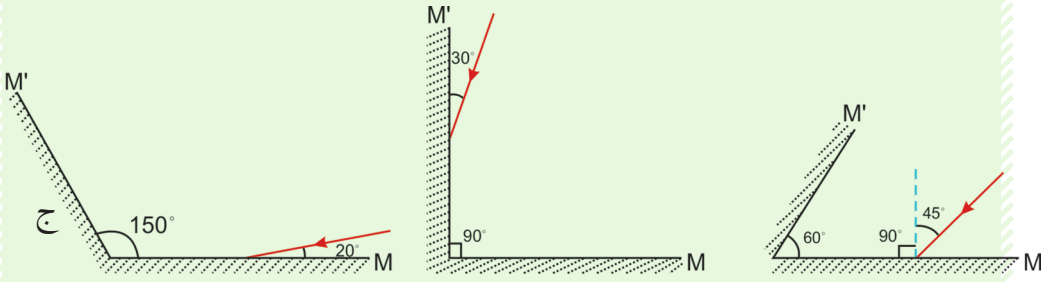
p فاصلهٔ شی از آیینه، q فاصلهٔ تصویر از آیینه و f فاصلهٔ محراقی آیینه می‌باشند.

نسبت طول تصویر ($A'B'$) بر طول شی (AB) را بزرگ‌نمایی می‌گویند و آن‌را توسط حرف m نشان می‌دهند.

$$m=\frac{q}{p} \quad \text{یا:} \quad m=\frac{A'B'}{AB}$$

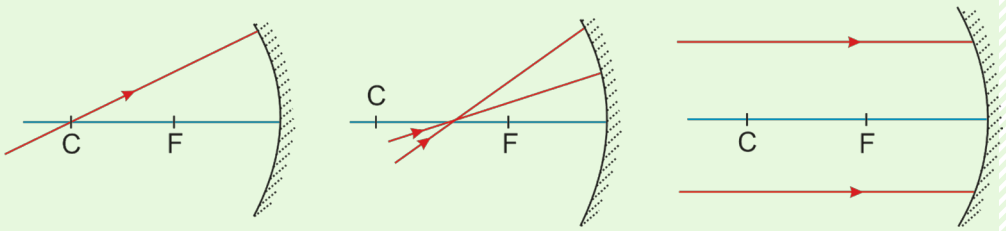
سؤالات اخیر فصل

1. در اشکال ذیل مسیر اشعهٔ نوری را در دو آیینهٔ M و M' تکمیل نمایید.

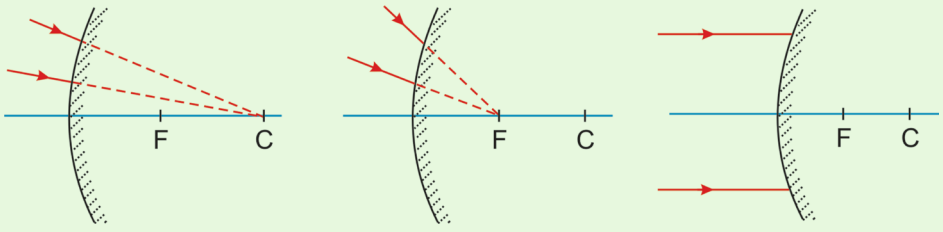


الف ب ج

2. در اشکال ذیل مسیر اشعهٔ نوری را توسط رسم تکمیل نمایید.



الف ب ج



د هـ و

سؤالات تشریحی

1. شخصی در پیش روی آیینهٔ مستوی ایستاده است.

الف) هر گاه این شـخص به اندازهٔ 50 سـانتی متر به آیینه نزدیک شود به تصویر خود چند سانتی متر نزدیک می‌شود؟

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

2. هر گاه جسـمی‌از یک آیینه به فاصله‌های 10 سـانتی متر و 5 سانتی متر واقع باشـد، تصویـر و بزرگ‌نمایی آن‌را دریافـت نمایید. تصویر حقیقی اسـت یا مجازی؟ تصاویر راسته می‌باشد یا معکوس؟ به خاطر تأیید نتیجه، دیاگرام هر حالت را ترسیم نمایید.

3. فاصلهٔ محراقی یک آیینهٔ مقعر 33 سـانتی متر اسـت. هر گاه جسمی‌در پیش روی آیینه به فاصلهٔ 93 سانتی متر واقع باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی تصویر را پیدا نمایید. تصویر حقیقی است یا مجازی؟ تصویر راسته است یا معکوس؟ با ترسیم دیاگرام نشان دهید.

4. یـک قلـم از آیینـهٔ کروی مقعـری به فاصلهٔ 11 سـانتی متر قـرار دارد و از آیینه به فاصلهٔ 13.2 سـانتی متر تصویر حقیقی را تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ محراقی و بزرگ‌نمایی آیینه را محاسبه نمایید؟ اگر جسم از آیینه به فاصلهٔ 27 سانتی متر قرار گیرد، محل جدید تصویر را دریافت نمایید؟ بزرگ‌نمایی جدید تصویر را حساب کنید؟ تصویر جدید حقیقی است یا مجازی؟ دیاگرام (نمودار) آن‌را رسم نمایید؟

5. تصویـر یک پنسـل در عقب آیینـهٔ محدب به فاصلهٔ 23 سـانتی متر از آیینه تشکیل می‌شود و 1.7 سانتی متر طول دارد. اگر فاصلهٔ محراقی آیینه 46 سانتی متر باشد، موقعیت و طول پنسل و بزرگ‌نمایی تصویر را دریافت نمایید؟

6. آیینـــهٔ محدبـــی که دارای فاصلهٔ محراقی 0.25 متر اســـت، تصویـــر موتری را در عقب آیینه به فاصلهٔ 0.24 متر و طول 0.08 متر تشـــکیل می‌دهد. بزرگ‌نمایی تصویر، موقعیت و ارتفاع موتر را دریافت نمایید. تصویر حقیقی است یا مجازی؟

7. آیینهٔ کروی محدبی دارای شعاع انحنای 6 سانتی متر است. اگر یک شی به فاصلهٔ 10.5 سانتی متر از آیینه قرار داشته باشد، موقعیت تصویر و بزرگ‌نمایی آن‌را دریافت نمایید.

ســـؤالات ذیل را بخوانید، به هر سؤال چهار جواب داده شده است. جواب صحیح آن‌را دریافت و نشانی نمایید.

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

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 این‌که از یک آیینهٔ مقعر و یک منبع نوری شـــعاع موازی تشـــکیل بدهیم. منبع نوری به کدام فاصله در پیش روی آیینهٔ مقعر گذاشته شود؟

a) در محراق آیینه b) خارج از فاصلهٔ محراقی آیینه

c) در فاصله محراقی آیینه d) در مرکز انحنای آیینه

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

a) حقیقی است b) مجازی است c) جسم با تصویر مشابه می‌باشد.

d) فاصلهٔ جسم و تصویر از آیینه برابر اند.

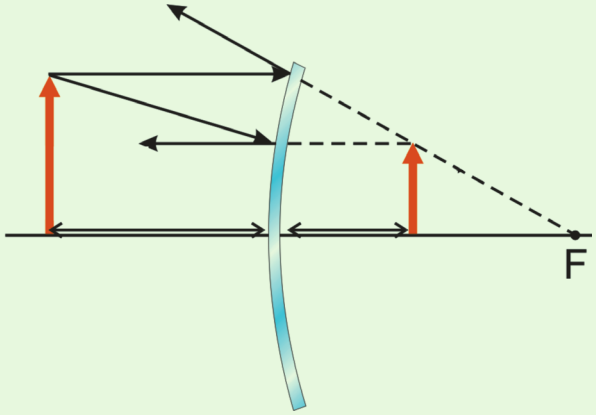
4. اگر اشـعهٔ وارده بالای آیینهٔ مسـتوی با عمود بالای آیینه، زاویهٔ 45° را تشـکیل بدهد، اشعهٔ منعکسه کدام زاویه را تشکیل می‌دهد؟

a) 25° b) 60° c) 45° d) 90°

5. برای دریافت فاصلهٔ محراقی یک آیینهٔ 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) $\frac{1}{q}=\frac{1}{f}+\frac{1}{P}$

6. با استفاده از شکل داده شده سوال های ذیل را جواب دهید.



الف) در شکل کدام نوع آیینه نشان داده شده است؟

a) مستوی b) محدب

c) مقعر d) محدب و مقعر

ب) توسط آیینه کدام نوع تصویر تشکیل شده است؟

a) مجازی راسته و کوچک b) حقیقی، معکوس و کوچک

c) مجازی، راسته و بزرگ d) حقیقی، معکوس و بزرگ

انکسار

در فصل گذشـــته دیدیم که نور در یک محیط شفاف به خط مستقیم منتشـــر می‌گردد؛ هم‌چنان با قوانین انعکاس نور نیز آشـــنا شدیم و و اضح گردید که انعکاس نور ســـبب رؤیت اشـــیا می‌گردد. حال پرسش به‌وجود می‌آیـــد کـــه هر گاه نور از یک محیط شـــفاف داخل محیط شـــفاف دیگر می‌شـــود، آیا باز هم به خط مستقیم انتشار می‌کند؟ یک تجربهٔ سادهٔ این کار این است که شما یک قسمت قلم پنسل را داخل گیلاس مملو از آب نمایید. اگر این کار را انجام دهید، چه خواهید دید؟

شـــما خواهید گفت، پنسل در آب شکســـته معلوم می‌شود. اگر اشعهٔ نوری از هوا در یک ظرف شیشه‌یی مملو از آب به طور عمود وارد گردد آیا مسیر اشعه نوری در آب تغییر می کند؟ تغییر مسیر نور به چه نام یاد شده و تابع کدام قوانین اســـت؟ شما رنگین کمان را دیده اید. آیا سبب تشکیل آن را می دانید؟

به این پرســـش‌ها بعد از حاصل کردن معلومات در مورد انکسار جواب داده می‌توانید. در این فصل با انکســـار، قوانین انکســـار، خواص منشـــور و عدسیه ها و هم چنان ساختمان و خواص آلات اپتیکی آشنا خواهید شد.

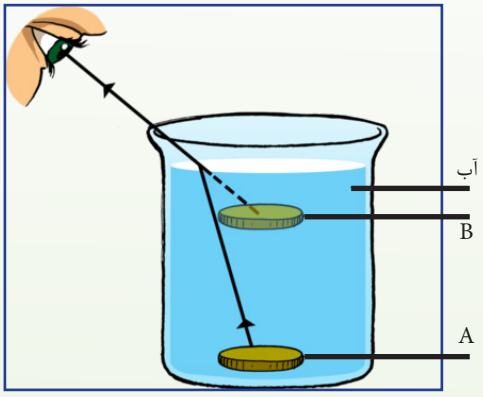


4-1: انکسار چیست؟

زمانی‌که یک قلم پنسل را داخل آب نماییم، شکسته معلوم می‌شود. چرا؟ به خاطر توضیح این موضوع فعالیتی را انجام می‌دهیم.

در بین یک ظرف خالی یک سـکه را بگذارید و آن را از امتداد کنار ظرف طور مثال از نقطهٔ o بنگرید. شما سکه را نخواهید دید؛ ولی اگر اندکی سرخود را بالا نمایید سکه را دیده می‌توانید. عوض این‌که سر خود را بالاکنید از دوست خود بخواهید در ظرف به آهسته‌گی آب بریزد. دراین حالت شما می‌توانید سکه را ببینید. علت دیدن سکه این است که شعاع سکه حین عبور از آب به هوا انکسار می‌نماید و سکه عوض نقطهٔ A در نقطهٔ B دیده می‌شود. شکل (1-4)





شکل (1-4) مشاهدهٔ سکه در آب

فعالیت

هدف: شناخت انکسار

مواد مورد ضرورت

کاغذ مقوا، قیچی، تختهٔ چوبی، پرکار، پنسل، خط کش

طرزالعمل

1. در کاغذ مقوا، دایره‌یی با شعاع 5 سانتی متر رسم نمایید.

2. در دایره دو خط مستقیم را طوری رسم نمایید که در نقطهٔ O یکی بالای دیگر عمود باشند و به این ترتیب دایره را به چهار حصهٔ مساوی تقسیم نمایید.

3. دایره را بالای تخته چوبی نصب نمایید.

4. تخته را طوری داخل آب نمایید که نصف دایره داخل آب و نصف دیگر آن خارج ازآب باشد.

5. در یک نقطهٔ اختیاری (مثلاً A) محیط نصف دایره که داخل آب است یک سنجاق را داخل نمایید.

6. یک سنجاق را در مرکز دایره (O) داخل نمایید.

7. نقطه یی را در محیط نصف دایره یی که خارج از آب است انتخاب نمایید که با نقاط A و O در یک خط مستقیم دیده شود. این نقطه (A') را با سنجاق نشانی کنید.

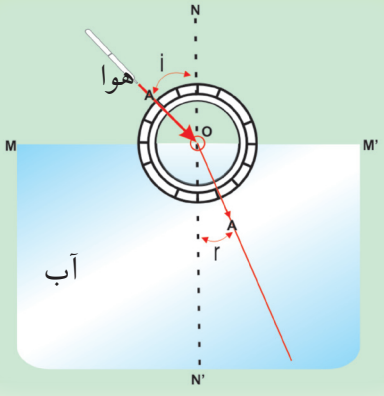
8. تخته را از آب بیرون نمایید.

9. نقطهٔ A، O و A' را با هم وصل نمایید. دراین حالت خواهید دیدکه سنجاق‌ها در بالای یک خط مستقیم واقع نیستند (شکل 2-4).

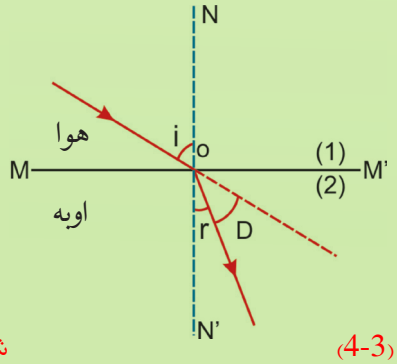
از فعالیت نتیجه گرفته می‌شود که:

هر گاه نور ازیک محیط شفاف (آب) به‌صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر (هوا) گردد، مسیر آن تغییر می‌نماید.

این تغییر مسیر به نام انکسار نور یاد می‌شود (شکل 3-4)



شکل (2-4)



شکل (3-4)

در فعالیت فوق اشعهٔ نوری از آب (نقطهٔ A) داخل هوا می‌گردد. اشعهٔ AO را اشعهٔ وارده و اشعهٔ OA′ را اشعهٔ منکسره می‌گویند.

خط عمود NN′ بالای سطح جدایی دو محیط شفاف را به‌نام خط نارمل یاد می‌نمایند. زاویه بین نارمل و شعاع وارده را به‌نام زاویهٔ وارده ($\hat{i}$) و زاویه بین اشعهٔ منکسره و خط نارمل را زاویهٔ منکسره ($\hat{r}$) می‌نامند. زاویه $\hat{D}$ مقدار انحراف اشعهٔ منکسره را از مسیر اولی اش نشان می‌دهد.

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

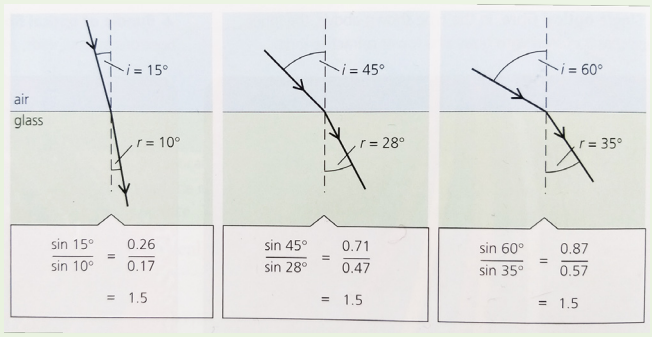
ضریب انکسار و قانون سنل

ضریب انکسار نقش مهمی در آلات اپتیکی (نوری) دارد. ضریب انکسار یک محیط عبارت از نسبت سرعت نور در خلأ (c) بر سرعت نور در محیط (v) است، یعنی:

$$\text{ضریب انکسار مطلق محیط} = \frac{\text{سرعت نور در خلأ}}{\text{سرعت نور در محیط}} \quad \text{یا} \quad n = \frac{c}{v}$$

زمانی‌که نور از یک محیط وارد محیط دیگر می شود سرعت آن تغییر نموده و از مسیر اولی اش انحراف می‌کند. تجربه نشان داده که تغییر در زاویهٔ وارده ($\hat{i}$) باعث تغییر زاویهٔ منکسره ($\hat{r}$) می‌گردد، یعنی با زیاد شدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکسره نیز زیاد شده و با کم شدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکسره کم می شود. در سال 1620 م. ساینس دان هالندی به نام سنل، رابطه بین زوایای وارده و منکسره را طور ذیل دریافت نمود.

وی در یک فعالیت، نور را از یک محیط شفاف رقیق مانند هوا داخل محیط شفاف غلیظ مانند شیشه نمود. زوایای وارده و منکسره را در حالات مختلف اندازه گیری نمود.



شکل (4-4)

دیده می‌شـود که با بزرگ شـدن زاویهٔ وارده، زاویهٔ منکسـرهٔ نیز بزرگ می‌شـود، مگر $\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}$ درهمه حالات ثابت باقی می‌ماند. این قیمت ثابت را به‌نام ضریب انکسار محیط دوم نسبت به محیط اول یاد می‌کنند و آن‌را چنین می‌نویسند.

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

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

رابطهٔ فوق را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم: $n_1 \sin\hat{i} = n_2 \sin\hat{r}$

تجارب نشـان 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: $\frac{\sin\hat{r}}{\sin\hat{i}} = \frac{1}{n_{2,1}} = n_{1,2}$ یعنی دراین صورت $\hat{i}$ زاویهٔ وارده و $\hat{r}$ زاویهٔ منکسره خواهد بود.

بـرای ثبوت قانون سـنل فرض می‌کنیـم که در یک لحظه، اشـعهٔ اولی (1) مطابق شـکل(5-4) بالای سـطح جدایی دو محیط در نقطهٔ (A) وارد می‌شـود. لحظه‌یی بعد اشـعهٔ دومی(2) بالای سطح در نقطهٔ C وارد می‌شود. در این مدت اشعهٔ وارده در نقطهٔ (A) به مسیر (D) انکسار می‌کند.

در همین مدت اشعهٔ دومی(2) از نقطهٔ (B) گذشته و به مسیر (C) حرکت می‌کند. به این اسـاس این دو شـعاع در دو محیط مختلف حرکت نموده، فواصل مختلف را طی می‌کنند. اشعهٔ که در نقطهٔ (A) وارد گردیده، فاصلهٔ $(\overline{AD} = V_2.\Delta t)$ را طی می‌کند. در این جا (V_2) سرعت اشعه در محیط دوم است. فاصله‌یی که اشعهٔ (2) در محیط اول از نقطهٔ (B) تا نقطهٔ(C) طی می‌کند $(\overline{BC} = V_1.\Delta t)$ است که در این جا V_1 سرعت اشعه در محیط اول است.

از مثلث‌های $A\hat{B}C$ و $A\hat{D}C$ دریافت می‌نماییم که:

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

و

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{AD}}{\overline{AC}} = \frac{V_1 \cdot \Delta t}{AC} \quad ....(II)$$

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

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

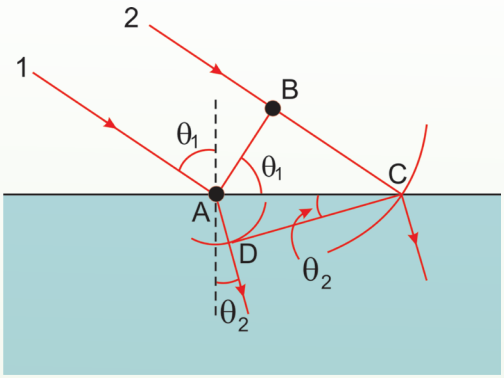
چون می‌دانیم که: $n = \frac{\text{سرعت نور در خلا}}{\text{سرعت نور در محیط}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{C}{V}$ اســت، پس می‌توانیم بنویسیم که: $V_1 = \frac{C}{n_1}$ و $V_2 = \frac{C}{n_2}$

به این اساس:

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

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

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



شکل (4-5)

مثال‌ها

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

حل: با استفاده از قانون سنل و با در نظرداشت این‌که در هوا $n = 1.00$ می‌باشد داریم که:

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

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

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

2 - اشعهٔ نوری که دارای طول موج $589nm$ است در هوا حرکت کرده و بالای یک شیشهٔ ضخیم وارد می‌گردد طوری که با نارمل زاویهٔ $30^{\circ}.0$ را تشکیل می‌دهد، در این صورت زاویهٔ انکسار را درشیشه 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 زاویهٔ وارده کوچکتر است، یعنی اشعهٔ منکسره به نارمل نزدیک می‌شود.

4-1-1: قوانین انکسار

مطالعات تجربوی جهت های شعاع‌های وارده و منکسرهٔ نوری نتایج ذیل را به دنبال دارد:

1. شعاع وارده، خط نارمل و شعاع منکسره در یک مستوی واقع اند.

2. برای شعاعی که از یک محیط شفاف(هوا) وارد محیط شفاف دیگر(آب)می‌گردد، نسبت ساین زاویهٔ وارده $(\sin\hat{i})$ بر ساین زاویه منکسره $(\sin\hat{r})$ یک مقدار ثابت است. این مقدار ثابت را ضریب انکسار محیط اول نسبت به محیط دوم می‌گویند و آن‌را 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 به‌صورت تقریبی هوا) به‌نام ضریب انکسار مطلقه یاد می‌نمایند، یعنی:

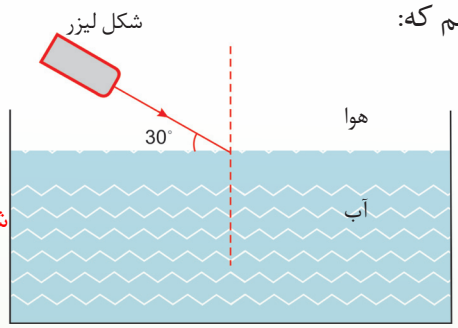
$$\frac{\sin i \quad \text{درهوا}}{\sin r \quad \text{در محیط شفاف}} = n \ldots\ldots(1)$$ (ضریب انکسار مطلقهٔ محیط)

مثال

شعاع نوری مطابق شکل ذیل با زاویهٔ 30^{0} نسبت به افق، بالای سطح آب وارد می‌گردد. اگر ضریب انکسار آب 1.33 باشد، زاویهٔ انکسار را محاسبه نمایید.

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

با استفاده از قانون انکسار می‌توانیم بنویسیم که:



شکل (4-6)

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

$$\sin r = \frac{\sin 60}{1.33} = \frac{0.86}{1.33} = 0.65$$

$$\hat{r} = 40.5^o$$

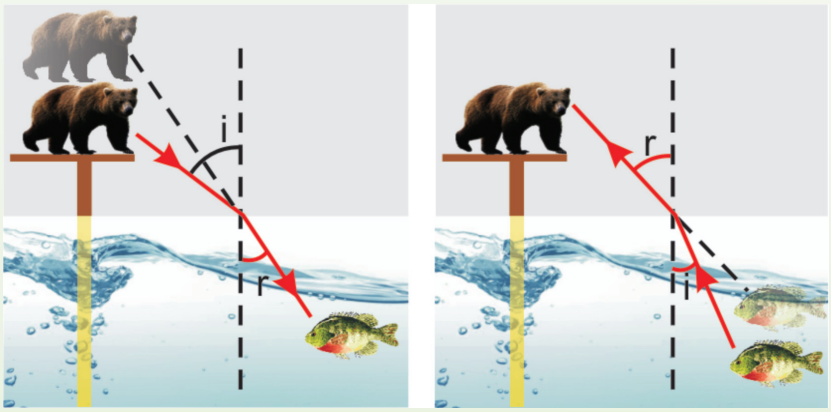
فعالیت

هرگاه نور از آب با ضریب انکسار n_1 وارد هوا که ضریب انکسار آن n_2 است گردد، درحالی‌که $n_1 > n_2$ باشد، رابطهٔ (۱) را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

عمق ظاهری و واقعی

در شکل ذیل آیا خرس، ماهی را در محل حقیقی اش در آب می‌بیند؟

و هم‌چنان آیا ماهی که در آب است خرس را در محل حقیقی اش می‌بیند؟



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

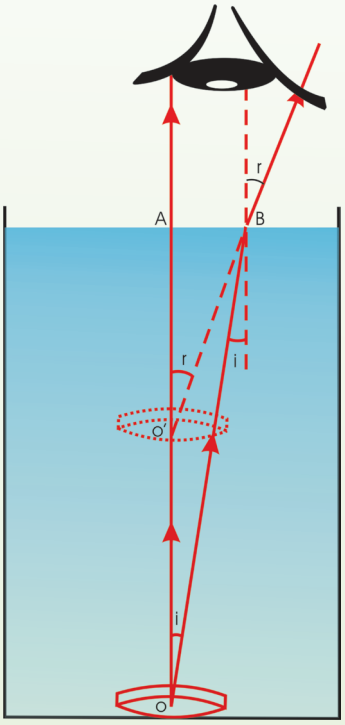
(b) برای ماهی در آب، خرسی که بالای پایه موقعیت دارد نسبت به سطح آب به فاصلهٔ بیشتر معلوم می‌شود.

شکل (4-7)

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

فعالیت

با ترسیم دو شعاع از یک نقطه نشان دهیدکه چرا ماهی توسط خرس نزدیک به سطح آب و خرس توسط ماهی به فاصلهٔ بیشتر، یعنی دورتر از سطح آب دیده می‌شود.



شکل (8-4) دیدن سکه در یک سطل پر از آب

در شـــکل(8-4) موقعیت یک ســـکه در ظرف مملو از آب نشان داده شده است.

دو شـــعاع را از نقطهٔ O که به ســـطح آب وارد می‌شـــود رســـم می‌نماییم. اشعهٔ $\overline{OA}$ بدون انکسار داخل هوا می‌گردد. مگر اشعهٔ $\overline{OB}$ در ســـطح جدایی دو محیط انکسار نموده و از عمود بالای سطح آب فاصله می‌گیرد یعنی $r > i$. با استفاده از قوانین انکســـار و با در نظرداشـــت زوایای وارده و منکسره می‌توانیم بنویسیم که:

$$\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}} = \frac{1}{n} \quad \text{.....I}$$

با توجه به شکل و خصوصیات زوایای متوافقه و متبادله واضح می‌گردد که زاویهٔ $\hat{AOB}$ مساوی به زاویهٔ واردهٔ $\hat{i}$ و زاویهٔ $\hat{AO'B}$ با زاویهٔ‌منکسره $\hat{r}$ مساوی می‌باشد.

به اساس تعریف ساین در مثلث‌های قایم الزویهٔ $\hat{AOB}$ و $\hat{AO'B}$ می‌توانیم بنویسیم که:

$$\sin\hat{i} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OB}} \qquad \sin\hat{r} = \frac{\overline{AB}}{\overline{O'B}}$$

در نتیجه داریم که:

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

اگر زاویهٔ منکسرهٔ r به اندازهٔ کافی کوچک باشد، یعنی بتوانیم به سکه طور عمودی ببینیم، پس $\overline{O'B} = \overline{O'A}$ و $\overline{OB} = \overline{OA}$ می‌باشد.

از این جا داریم که :

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

با در نظر داشت رابطهٔ(1) می‌توانیم بنویسیم که:

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

پس:

$$\text{عمق ظاهری} = \overline{O'A} = \frac{\overline{OA}}{n}$$

و یا

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

مثال:

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

حل:

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

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

$$\overline{OA} = 1.95m$$

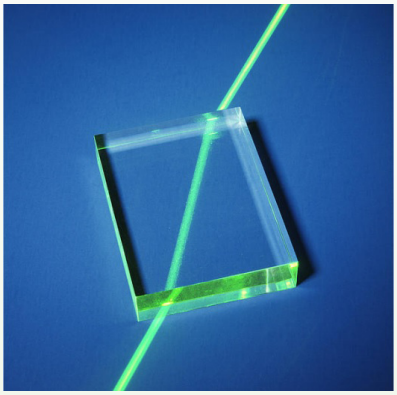
در این جا $O'A$ عمق ظاهری و OA عمق واقعی حوض می‌باشد.

فعالیت

رابطه (2) را برای حالتی بنویسید که مشاهد در محیط غلیظ (آب) با ضریب انکسار n قرار داشته و جسمی را در محیط رقیق (هوا) مشاهده می‌کند.

4-1-2. مسیر نور در یک تیغهٔ متوازی السطوح

تیغهٔ متوازی السطوح عبارت از محیط شفافی است که دارای دو دیوپتر موازی باشد؛ مانند شیشه ضخیم. دیوپتر سطح جدایی دو محیط شفاف را گویند. یک تیغهٔ متوازی السطوح با ضریب انکسار n_2 در محیطی با ضریب انکسار n_1 قرار دارد. زمانی‌که نور از تیغه عبور می کند دوبار انکسار می‌نماید مانند شکل (9-4). انکسار اول زمانی رخ می دهد که نور داخل تیغه می گردد و انکسار دوم در هنگام خارج شدن نور از تیغه واقع می شود.



شکل (9-4) انکسار نور در تیغهٔ متوازی السطوح

فعالیت

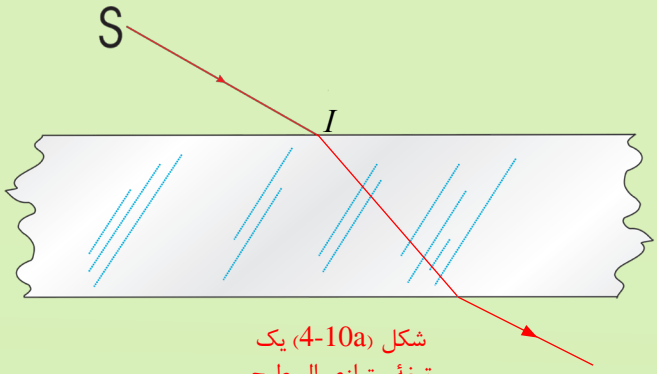
مواد مورد ضرورت

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

طرزالعمل

1. مطابق شکل ذیل (4-10a) یک تیغهٔ متوازی السطوح را بالای مقوا بگذارید و یک اشعهٔ باریک نور را طوری بالای این تیغهٔ متوازی السطوح وارد نمایید که مسیر نور بالای مقوا دیده شود. مسیر نور واردهٔ *SI* را بالای این محیط شفاف و مسیر نور خروجی از این محیط را رسم نمایید.

2. نور وارده بالای شیشه و نور خروجی از شیشه نسبت به هم چگونه اند؟



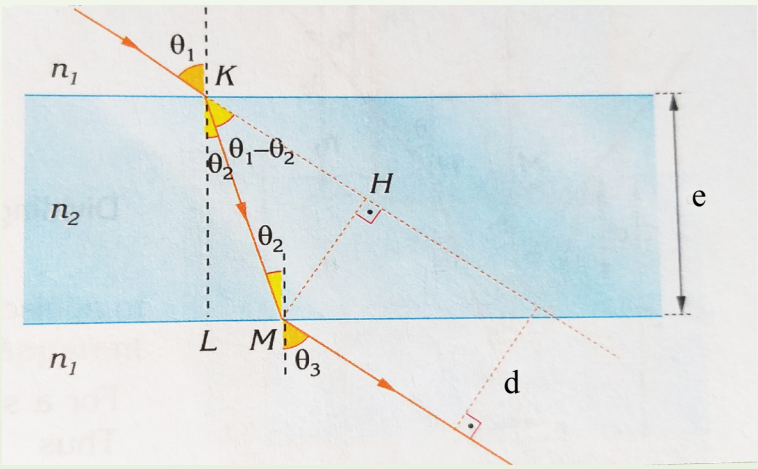
شکل (4-10a) یک
تیغهٔ متوازی السطوح

در نتیجهٔ ترسیم، شما خواهید دید که شعاع خروجی از تیغهٔ متوازی‌السطوح نسبت به شعاع وارده به به یک فاصله تغییر مکان نموده است (لغزیده است). فورمول مربوط به این تغییر مکان را پیدا می‌نماییم.

برای این مقصد اشعهٔ 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 انکسار اول با استفاده از قانون سنل می توانیم بنویسیم که:

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



شکل (4-10b)تیغه متوازی السطوح شعاع خروجی را با یک لغزش نسبت به شعاع ورودی و موازی با آن انکسار می دهد.

هم‌چنان برای انکسار دوم اشعه می توانیم بنویسیم که :

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

با وضع کردن قیمت $\sin\theta_2$ از معادلهٔ(1) در معادلهٔ (2) حاصل می‌نماییم که :

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

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 فاصلهٔ d تغییر مکان می‌نماید، چنان‌چه در شکل(4-10b) نشان داده شده است. اگر ضخامت تیغه دو برابر گردد، کدام تغییر به‌وجود می‌آید؟

آیا فاصلهٔ تغییر مکان بین اشعهٔ خروجی و وارده نیز دو برابر می‌شود؟

برای حل این موضوع رابطه بین ضخامت تیغه و تغییر مکان اشعه نوری را مطالعه می‌نماییم. در شکل E مثلث $\hat{KLM}$ می‌توانیم بنویسیم که :

$$\cos\theta_2 = \frac{|KL|}{|KM|} = \frac{e}{|KM|}$$

هم چنان از مثلث $\hat{KMH}$ داریم که:

$$\sin(\theta_1 - \theta_2) = \frac{|MH|}{|KM|} = \frac{d}{|KM|}$$

از ترکیب این دو معادله حاصل می‌نماییم که:

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

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

درجهٔ زاویهٔ واردهٔ داده شدهٔ θ_1 و زاویهٔ منکسرهٔ θ_2 تنها توسط ضریب انکسار تعیین می‌گردد، بنابرین فاصلهٔ تغییر مکان (d) متناسب با e می‌باشد. اگر ضخامت تیغه دو برابر شود، تغییر مکان اشعه نیز دو برابر می‌شود.

مثال ها

1 نور از هوا با زاویه 60 درجه نسبت به نارمل بالای تیغهٔ متوازی السطوح وارد می گردد. اگر ضریب انکسار تیغهٔ 1.5 باشد، زاویهٔ منکسره و زاویهٔ شعاع خروجی را دریابید.

$$\left.\begin{array}{l}\theta_1 = 60^o \\ n_1 = 1 \\ n_2 = 1.5 \\ \theta_2 = ? \\ \theta_3 = ?\end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} n_1 \cdot \mathrm{Sin}\theta_1 = n_2 \cdot \mathrm{Sin}\theta_2 \\ 1 \cdot \mathrm{Sin}60^o = 1.5 \cdot \mathrm{Sin}\theta_2 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} = 1.5 \cdot \mathrm{Sin}\theta_2 \Rightarrow \mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} \\ \Rightarrow \theta_2 = 35.2^o \end{array}$$

چون می دانیم $\theta_1 = \theta_3$ است، پس می توانیم بنویسیم که: $\theta_3 = 60^o$

2 شعاع نوری با زاویهٔ 30^o نسبت به نارمل بالای تیغهٔ متوازی السطوحی با ضخامت 10 سانتی متر وارد می گردد. لغزش شعاع ورودی رامحاسبه کنید. ضریب انکسار محیط تیغه 1.5 است.

$$\left.\begin{array}{l}\theta_1 = 30^o \\ e = 10\mathrm{cm} \\ n = 1.5 \\ \theta_2 = ? \\ d = ?\end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} \frac{\mathrm{Sin}\theta_1}{\mathrm{Sin}\theta_2} = n \Rightarrow \mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\mathrm{Sin}\theta_1}{n} \\ \mathrm{Sin}\theta_2 = \frac{\mathrm{Sin}30}{1.5} = \frac{0.5}{1.5} = 0.33 \\ \theta_2 = 19.5^o \\ d = e \cdot \frac{\mathrm{Sin}(\theta_1 - \theta_2)}{\mathrm{Cos}\theta_2} = 10\mathrm{cm} \cdot \frac{\mathrm{Sin}(30 - 19.5)}{\mathrm{Cos}19.5} \\ d = 1.93\mathrm{cm} \end{array}$$

سوالات

1. شعاع نور از شیشهٔ ضخیم داخل هوا می‌شود. هر گاه ضریب انکسار شیشه 1.52 و زاویهٔ انکسار آن 45^o باشد. زاویهٔ وارده را معلوم کنید.

2- شعاع نور از یک شیشهٔ ضخیم با ضریب انکسار 1.6 داخل هوا می‌شود. هر گاه زاویهٔ وارده 15^o باشد، زاویهٔ انکسار را دریافت نمائید.

4-2: زاویهٔ بحرانی

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 زاویهٔ منکسره نسبت به زاویهٔ وارده بزرگتر می‌شود. اگر زاویهٔ منکسره به 90° برسد، یعنی که اشعهٔ منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط باشد، در این حالت زاویهٔ وارده را زاویهٔ حدی یا بحرانی می‌گویند. در شکل(4-11) زاویهٔ حدی یا بحرانی نشان داده شده است.

مثال

زاویهٔ بحرانی را برای سطح جدایی دو محیط آب – هوا در صورتی دریافت نمایید که ضریب انکسار آب 1.33 باشد.

حل

$n_i = 1.33$

$n_r = 1.00$

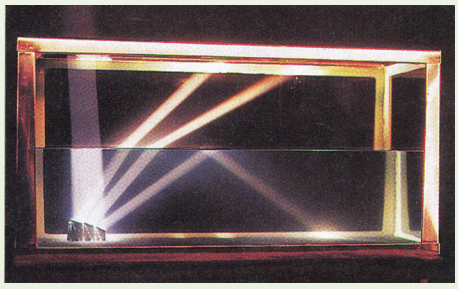
$\theta_c = ?$

برای دریافت زاویهٔ بحرانی داریم که:

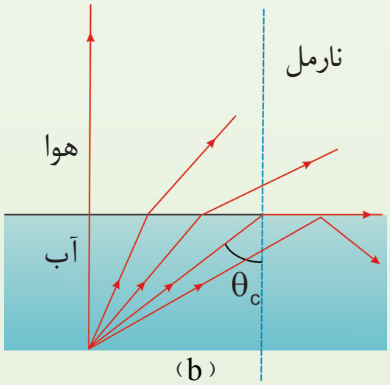
در این جا $\theta_i = \theta_c$, $\theta_r = 90^\circ$ بوده پس

$$\sin\theta_c = \frac{n_r}{n_i} = \frac{1}{1.33}$$

$$\theta_c = 48.6^\circ$$



(a)

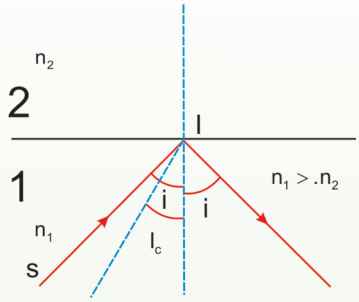


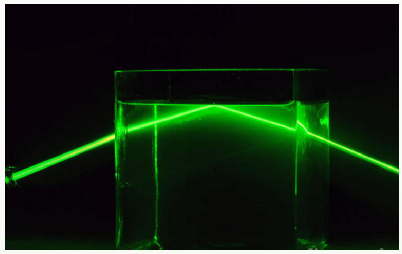
(b)

شکل(4-11) در زاویهٔ بحرانی θ_c، اشعهٔ نوری منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط می‌باشد

3-2-1: انعکاس کلی

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



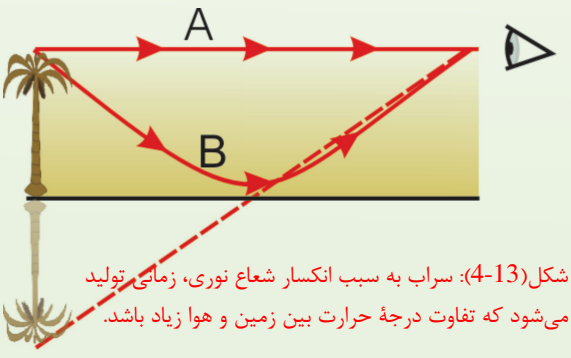


شکل (12-4): انعکاس کلی نور در آب

سراب

پدیدهٔ سراب معمولاً در صحراها و سرک ها در روز های گرم مشاهده می شود. وقتی‌که در روزهای گرم تابستان سطح زمین گرم می‌شود، درجهٔ حرارت طبقات هوای نزدیک به آن نسبت به اقشار بالاتر بیشتر 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 می‌گردد.

این اثر می‌تواند تصویری مانند شکل(13-4) به‌وجود آورد. در این حالت یک مشاهد درخت را از دو مسیر مختلف می‌بیند.



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

قسمتی از اشعه به چشمان مشاهد از طریق مسیر مستقیم A می‌رسد و مشاهد از همین مسیر، درخت را به صورت عادی می‌بیند. شعاع‌های نوری که از درخت به طور مایل به سطح زمین می تابند، در اثر عبور از طبقات هوا با ضریب انکسار بیشتر به طبقات با ضریب کمتر به تدریج به طرف بالا انکسار می‌کنند تا این که در طبقات نزدیک به سطح زمین زاویهٔ وارده آن ها از زاویهٔ حدی بزرگتر شده و انعکاس کلی صورت می‌گیرد. شعاع‌های منعکسه بعد از انکسارهای متوالی (از طبقات بالا به پایین) به چشم مشاهد می‌رسد؛ در این حالت طبقات نزدیک به سطح زمین که نور را انعکاس می‌دهند مانند سطح آب به نظر می‌رسند.

سوال

جواب درست را از ستون B انتخاب و به مقابل شمارهٔ مربوط در ستون A قرار دهید

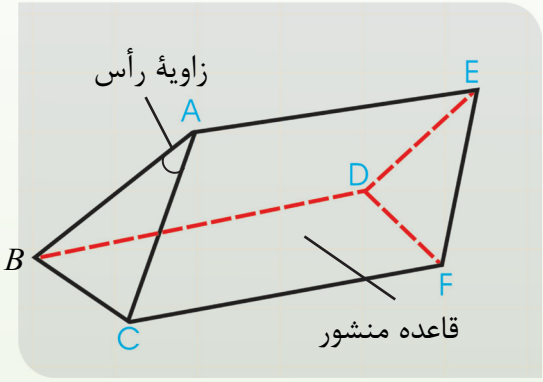
A	B
1. انکسار	(a) وقتی واقع می‌شودکه اشعهٔ منکسره مماس با سطح جدایی دو محیط باشد و زاویهٔ منکسره، به 90° برسد.
2. سراب	(b) زاویهٔ وارده و زاویهٔ منکسره با هم مساوی است.
3. زاویهٔ بحرانی	(c) در روزهای گرم تابستان صورت می‌گیرد.
4. انعکاس کلی	(d) عبارت از تغییر در مسیر نور است.
	(e) در روزهای بارانی دیده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

4-2-2: منشور

در توضیح خاصیت نور گفته شد که نور سفید در حقیقت، ترکیبی از هفت رنگ مختلف است. حال پرسش به‌وجود می‌آید که چگونه می‌توانیم بدانیم که نور سفید ترکیبی از هفت رنگ می‌باشد؟

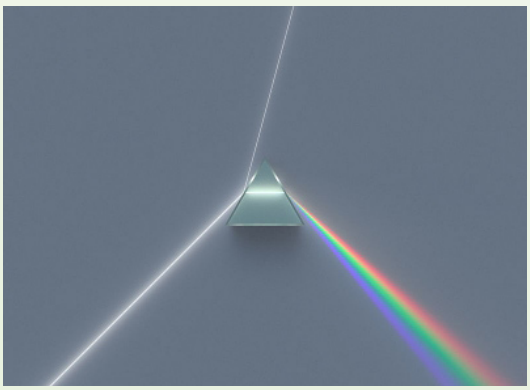
این سؤال را به کمک خاصیت منشور جواب داده می توانیم. این که منشور چیست و چگونه کار می کند، طور ذیل توضیح می‌نماییم:

منشور عبارت از جسم شفافی است که توسط دو سطح غیر موازی که با یکدیگر زاویهٔ دو وجهی را تشکیل بدهندمحدود شده است. خط مشترک این دو سطح (AE) عبارت از خطی می‌باشد که به‌نام ضلع انکسار یاد می‌شود. سطح $CBDF$ که در مقابل زاویهٔ رأس منشور واقع است، به‌نام قاعدهٔ منشور یاد می‌شود. زاویهٔ $\hat{BAC}$ که توسط دو سطح غیر موازی تشکیل می‌گردد، به‌نام زاویهٔ رأس منشور یاد می‌شود. این زاویه را زاویهٔ انکسار منشور نیز می‌گویند، شکل(14-3).



شکل(14-4)یک منشور را نشان می‌دهد.

زاویه‌یی که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی از منشور حاصل می‌شود، به‌نام زاویهٔ انحراف یاد شده که در این جا توسط D نشان داده شده است. زاویهٔ انحراف مربوط به زاویهٔ رأس، ضریب انکسار منشور و زوایای ورودی و خروجی منشور می‌باشد، شکل(15-4).



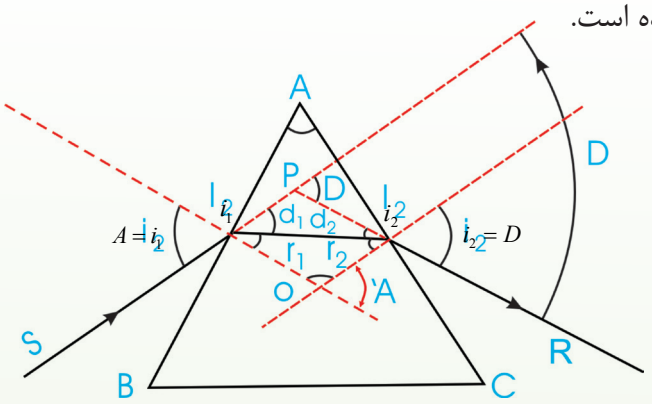
منشور دارای دو خاصیت مهم است:

1 - اشعه نوری را بعد از انکسار به سمت قاعدهٔ خود منحرف می‌سازد.

2 - نور سفید را به یک طیفی از رنگ‌ها تجزیه می کند.

مسیر نور در منشور

در شکل (15-4) مقطع یک منشور شیشه‌یی نشان داده شده است. شعاع SI که به یک وجه منشور تابیده است بعد از انکسار در نقطهٔ I وارده منشور شده و با انکسار مجدد از وجه دیگر خارج شده است.



شکل (15-4) نمایش زاویهٔ انحراف در منشور

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

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

از جمع کردن هر دو حالت معادلات: $\hat{D} + \hat{A} = \hat{i}_1 + \hat{i}_2$

و یا $\hat{D} + \hat{i}_1 + \hat{i}_2 - \hat{A}$

و در صورت انحراف اصغری باید $\hat{i}_1 = \hat{i}_2$ و $\hat{r}_1 = \hat{r}_2$ باشد.

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

$$\hat{D}_m = 2\hat{i} - \hat{A}$$

$$\hat{D}_m + \hat{A} = 2\hat{i}$$

یا

$$\hat{i} = \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}$$

چون $\hat{A} = \hat{r}_1 + \hat{r}_2$ و $\hat{r}_1 + \hat{r}_2 = \hat{r}$ است، پس $\hat{A} = 2\hat{r}$ یا $\hat{r} = \frac{\hat{A}}{2}$

اگر قیمت‌های $\hat{i}$ و $\hat{r}_1$ را در رابطهٔ $\sin \hat{i}_1 = n \sin \hat{r}_1$ وضع نماییم، می‌توانیم بنویسیم که:

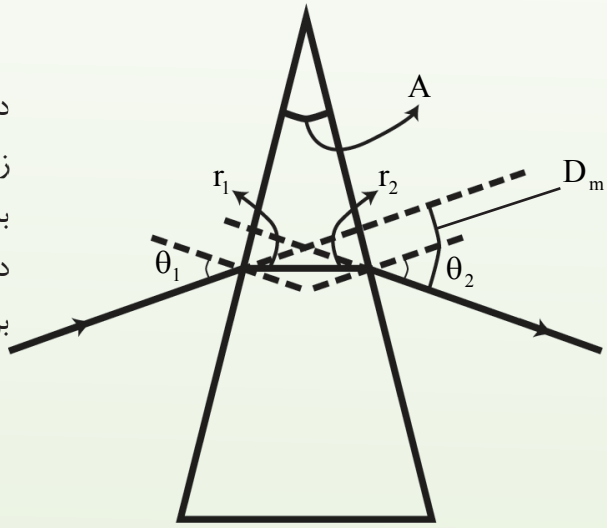
$$n = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\sin \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}}{\sin \frac{\hat{A}}{2}}$$

با استفاده از رابطهٔ فوق، ضریب انکسار منشور را می‌توانیم اندازه نماییم. اگر زاویهٔ منشور کوچک باشد، زاویهٔ انحراف اصغری نیز کوچک می‌باشد و می‌توانیم عوض sin زاویه خود زاویه را بنویسیم؛ بنابر این داریم که:

$$n = \frac{\frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{2}}{\frac{\hat{A}}{2}}$$

$$n = \frac{\hat{D}_m + \hat{A}}{\hat{A}} \Rightarrow \hat{D}_m = \hat{A}(n-1)$$

شکل (4-16)



طوری که گفته شد زاویهٔ انحراف در یک منشور زمانی اصغری است که زاویهٔ ورودی و خروجی با هم مساوی باشند، چنانکه در شکل (3-16) نشان داده شده است اکنون ضریب انکسار را برای مادهٔ منشور دریافت می‌نماییم.

از گذشته می‌دانیم که:

$$\hat{\theta}_2 = \frac{\hat{A}}{2}$$

درحالی‌که در این جا $\hat{A}$ زاویهٔ رأس منشور است و برای انحراف اصغری داریم:

$$\hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_2 + \hat{\alpha} = \frac{\hat{A}}{2} + \frac{\hat{D}_m}{2} = \frac{\hat{A} + \hat{D}_m}{2}$$

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

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

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

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

از این جا با داشتن زاویهٔ رأس منشور (A) و اندازه کردن D_m می‌توانیم ضریب انکسار مادهٔ منشور را محاسبه نماییم.

فعالیت

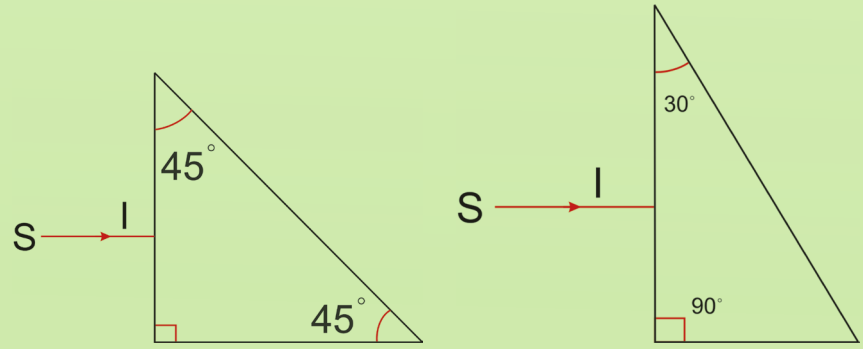
1 - در شکل(4-17a) ذیل مقطع یک منشور قایم‌الزاویهٔ متساوی‌الساقین داده شده است. زاویهٔ حدی این منشور 45^oاست. اشعهٔ نور یک رنگ بالای صفحهٔ منشور طور عمود وارد می‌گردد.

الف) مسیر این اشعهٔ نوری را الی صفحهٔ دیگر منشور ترسیم نمایید.

ب) زاویه انتشار اشعهٔ نوری را در داخل منشور معلوم نمایید.

این زاویه را با زاویهٔ حدی منشور مقایسه کرده و مسیر اشعه را تکمیل نمایید.

در شکل(4-17b) زاویهٔ حدی منشور 42^oاست. مسیر اشعهٔ نوری SI را که دارای یک رنگ می‌باشد تکمیل نمایید.



شکل (4-17)

4-3: تجزیهٔ نور

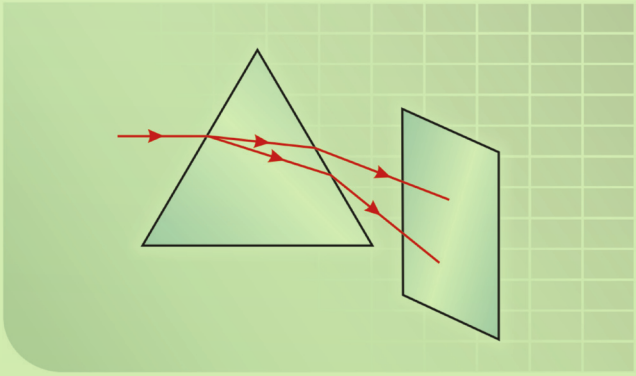
فعالیت

هدف: تجزیهٔ نور

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

طرزالعمل

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



شکل (4-18)

الف) نام این رنگ‌ها را به ترتیب بنویسید.

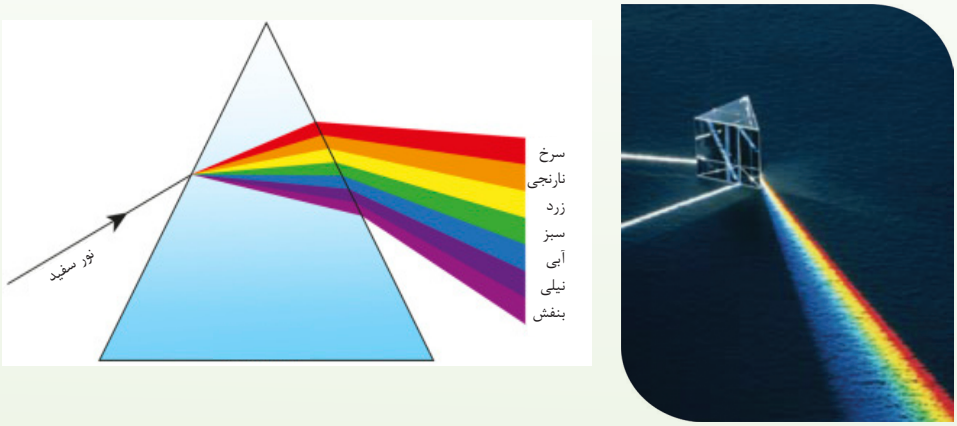
ب) از این تجربه چه نتیجه می‌گیرید؟

4-3-2: تجزیهٔ نور سفید در منشور

طوری‌که در فعالیت دیدیم، زمانی‌که نور سفید از منشور عبور داده شود به رنگ های مختلف تجزیه می شود.

مرتبهٔ اول نیوتن با عبور دادن نور آفتاب از یک منشور نشان داد که نور سفید ترکیبی از رنگ‌های مختلف است. سبب تجزیهٔ نور توسط منشور این است که ضریب انکسار منشور برای رنگ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. شکل (19-4) تجزیهٔ نورسفید و رنگ‌های حاصله از آن را نشان می‌دهد. این سلسله رنگ‌ها به‌نام نور قابل دید یاد می‌شود. این رنگ‌ها به ترتیب عبارت اند از: رنگ سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش.

رنگ‌های حاصل شده از تجزیهٔ نور توسط منشور به‌نام طیف نوری یاد می‌شود.



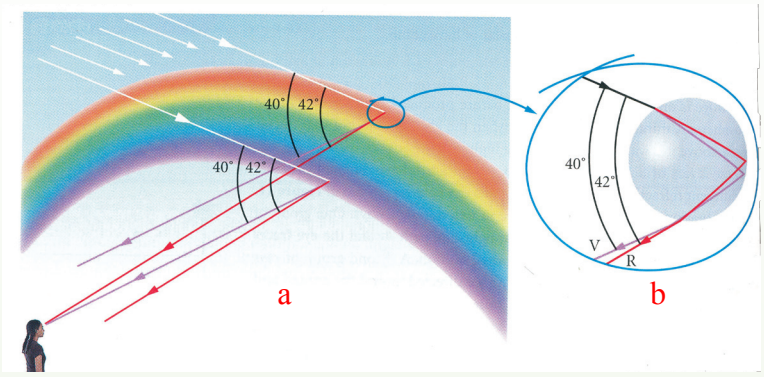
شکل (19-4): تجزیهٔ نور سفید توسط منشور

4-3-3: رنگین کمان (*Rainbow*)

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

زمانی‌که شعاع آفتاب در هوا بالای یک قطرهٔ آب بتابد اول در سطح پیش روی قطره طوری انکسار می نماید که نور بنفش بیشترین انحراف و نور سرخ کمترین انحراف را دارد.

بعد همین نور منکسره بالای سطح عقبی قطره وارد می‌شود و بر اثر انعکاس کلی دوباره به سطح پیش روی قطره بر می‌گردد. از آن‌جا بار دیگر انکسار نموده این مرتبه از آب داخل هوا می‌شود. این شعاع از قطره طوری خارج می‌شود که بین نور واردهٔ سفید و شعاع منعکسهٔ بنفش زاویهٔ 40° و با شعاع رنگ سرخ زاویهٔ 42° را تشکیل می‌دهد؛ چنانکه در شکل (4-20) نشان داده شده است.



شکل (4-20a) تشکیل رنگین کمان در قطرات باران به وسیلهٔ تجزیهٔ نور
(b) انعکاس داخلی در سطح عقبی قطرهٔ باران

یک مشاهد، رنگین کمان را چگونه می‌بیند؟

به این پرسش با درنظرداشت شکل(4-20a) پاسخ می‌گوییم. زمانی‌که یک مشاهد قطرهٔ باران را که در موقعیت بلند تر قرار دارد، می بیند نور با رنگ سرخ به مشاهده می‌رسد، مگر نور بنفش و رنگ‌های دیگر از بالای سر مشاهد عبور می‌کند؛ زیرا که انحراف نور بنفش نسبت به نور رنگ سرخ بیشتر است؛ بنابراین مشاهد این قطره را به رنگ سرخ می‌بیند. به طور مشابه، قطره‌های که پایین واقع است نور بنفش را به مشاهد منعکس می‌نماید و آن قطره بنفش دیده می‌شود (از این قطره نور با رنگ سرخ به پیش روی مشاهد رسیده 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 انجام‌های رنگین کمان در زمین از بین می‌رود. اگر یک مشاهد به یک ارتفاع مناسب بلند برده شود مانند طیاره، موصوف رنگین کمان را به شکل یک دایرهٔ مکمل خواهد دید.

خلاصهٔ فصل

- هر گاه نور از یک محیط شفاف (آب) به‌صورت مایل داخل محیط شفاف دیگر(هوا) گردد، مسیر آن تغییر می‌نماید. این حادثه به‌نام انکسار یاد می‌شود.
- زمانی‌که نور از یک محیط شـفاف داخل محیط شفاف دیگر می‌شود، نسبت ساین‌های زاویهٔ وارده (i) و زاویهٔ منکسره(r)، ضریب انکسار نسبتی بین دو محیط را نشان می‌دهد و به‌نام قانون سنل یاد می‌شود، 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 نسـبت به نور وارده در یک تیغهٔ متوازی السطوح از رابطهٔ ذیل حاصل می‌شود:

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

- هر گاه نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق گردد، طوری که زاویهٔ منکسره به 90° برسد یعنی اشـعهٔ منکسره مماس به سطح جدایی دو محیط باشـد، در این حالت زاویهٔ وارده را زاویهٔ حدی یا بحرانی می‌گویند.
- اگرشعاع نوری از محیط غلیظ طوری وارد محیط رقیق شود که زاویهٔ وارده بزرگتر از زاویهٔ بحرانی گردد، یعنی $(\theta_i > \theta_c)$. در این حالت شـعاع وارده از محیط اولی خود خارج نمی‌شـود وسطح جدایی دو محیط به‌حیث یک آیینهٔ مستوی عمل می‌کند و شعاع وارده را دو باره به محیط اولی منعکس می‌نماید. این حادثه را به‌نام انعکاس کلی یاد می‌نمایند.
- منشـور عبارت از جسم شفافی اسـت که توسط دو سطح غیر موازی که بایکدیگر زاویهٔ دو وجهی تشـکیل بدهد محدود می‌باشـد. خط مشترک این دو سـطح به‌نام ضلع انکسار یاد می‌شود. زاویه‌یی که توسط این دو سطح غیر موازی تشکیل می‌گردد به‌نام زاویهٔ رأس منشور یاد می‌شود.

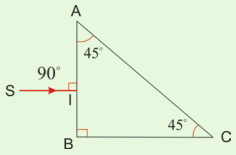
- زاویه‌یی که از امتداد شعاع وارده به منشور و شعاع خروجی ازمنشور حاصل می‌شود به‌نام زاویهٔ انحراف یاد می‌شود و آن‌را توسط D نشان می‌دهند.

سؤال‌های اخیر فصل چهارم

1. سه شرط برای وقوع حادثهٔ انکسار کدام‌ها اند؟
2. رابطه بین سرعت نور وضریب انکسار یک محیط شفاف چگونه است؟
3. نور از هوا تحت زاویه 42.3° وارد آب می‌گردد. زاویهٔ انکسار را در آب دریافت نمایید، ضریب انکسار آب 1.33 است.
4. اشعهٔ نوری بالای گیلاس مملو از آب طوری وارد می‌گردد که با نارمل زاویهٔ 36° را تشکیل می‌دهد. زاویه بین اشعهٔ منکسره و نارمل را در یافت نمایید.
5. آیا اشعهٔ نوری که از یک محیط وارد محیط دیگر می‌شود همیشه به نارمل نزدیک می‌گردد؟
6. زاویهٔ بحرانی را برای اشعه‌یی دریافت نمایید که از آب با ضریب انکسار $(n_1 = 1.3)$ وارد یخ با ضریب انکسار $(n_2 = 1.5)$ می‌گردد.
7. در کدام حالت ذیل سراب دیده می‌شود؟

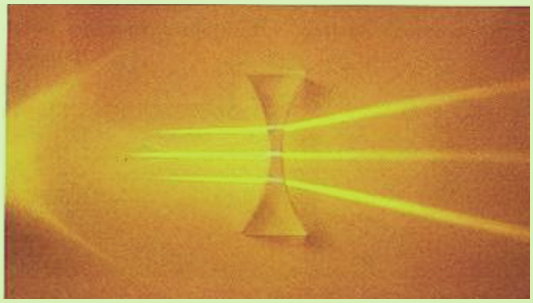
a. بالای دریای گرم در روز گرم.
b. در روز خیلی گرم بالای سرک سفالت شده.
c. در روز سرد بالای تپه های کوه.
d. در روز خیلی گرم بالای سنگچل‌های کنار دریا.

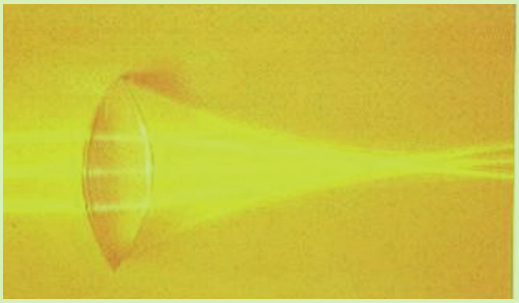
8. زمانی‌که نور سفید از یک منشور عبور می‌نماید نور رنگ سرخ زیاد انکسار می‌نماید یا نور سبز؟ چرا؟
9. مطابق شکل ذیل اشعهٔ نوری از هوا بالای یک طرف منشور شیشه‌یی با ضریب انکسار $n = 1.52$ وارد می‌گردد. آیا نور از طرف دیگر منشور خارج می‌شود یا در بین منشور انعکاس کلی می‌نماید؟ توسط ترسیم نشان دهید.



10. رنگین کمان چرا طوری دیده می‌شود که رنگ سرخ آن بالا و رنگ بنفش آن به‌طرف پایین می‌باشد؟
11- شعاع نور تحت زاویهٔ 45^o بالای یک ظرف پر ازگلسیرین وارد می‌شود. هر گاه زاویهٔ منکسره 29^o باشد، ضریب انکسار گلسیرین را دریافت نمایید.
12- ضریب انکسار پطرول 1.50 است، سرعت نور در پطرول را دریافت نمایید.

عدسی‌ها (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 که نمی‌توانند فواصل نسبتاً دور یا نزدیک را خوب ببینند، از عینک استفاده می‌نمایند. اگر اشیا به اندازه‌یی کوچک باشند که توسط چشم و ذره بین قابل دید نباشند در این حالت از کدام وسیله استفاده خواهد شد؟ واضح است که در این حالت ازمیکروسکوپ استفاده می‌شود. آیا شما میکروسکوپ رامی‌شناسید؟ در میکروسکوپ و دیگر اشیای متذکره از عدسیه‌ها استفاده می‌شود. این‌که 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، دوربین، 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 به‌نام عدسیه یاد می‌شود. به صورت عموم سطوح عدسیه کروی می‌باشد مگر می‌تواند یکی از آن‌ها مستوی نیز باشد.

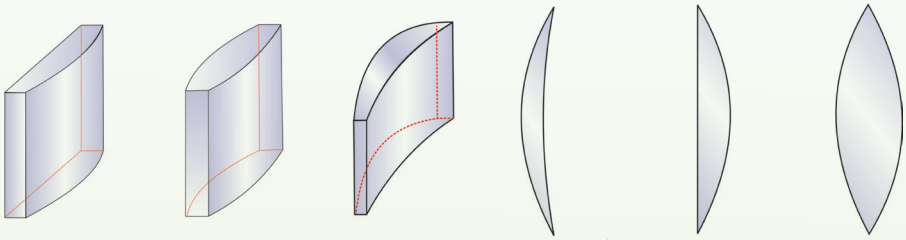
5-1: عدسیه‌های باریک

عدســیهٔ باریک عدســیه‌یی را گویند که ضخامت آن به مقایسهٔ شعاع انحنا یا فاصلهٔ شی از عدســیه کوچک باشد. از عدســیه ها برای تشکیل تصویر توسط انکسار نور در آلات نوری مانند دوربین ها، تلسکوپ ها و میکروسکوپ ها استفاده می شود.

عدسیه‌ها را به دو نوع مقعر و محدب تقسیم می‌نمایند.

عدسیه‌های محدب

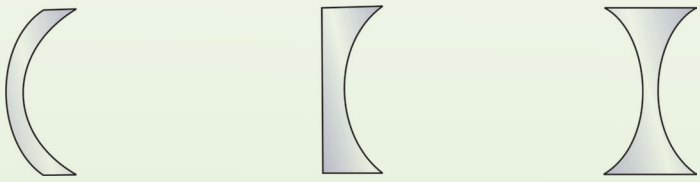
در عدســیه‌های محدب شــعاع نوری بعد از عبور از عدســیه با یکدیگر نزدیک می‌شــوند. کناره‌های عدســیهٔ محدب نسبت به قسمت وسطی آن نازک می‌باشد و برای مقاصد مختلف آن را طوری می‌سازند که هر دو طرف آن محدب (محدب الطرفین)، یا یک طرف آن محدب و طرف دیگر آن مستوی باشد و یا هم یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب باشد. این عدسیه‌ها در شکل ذیل نشان داده شده اند. تمامی‌این عدسیه‌ها عدسیه‌های محدب اند.



شکل(1-5) انواع عدسیه های محدب

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 (مقعرالطرفین) یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن مستوی می‌باشد و یا یک طرف آن مقعر و طرف دیگر آن محدب می‌باشد؛ طوری‌که در اشکال ذیل نشان داده شده است.



شکل(2-5) انواع عدسیه های مقعر

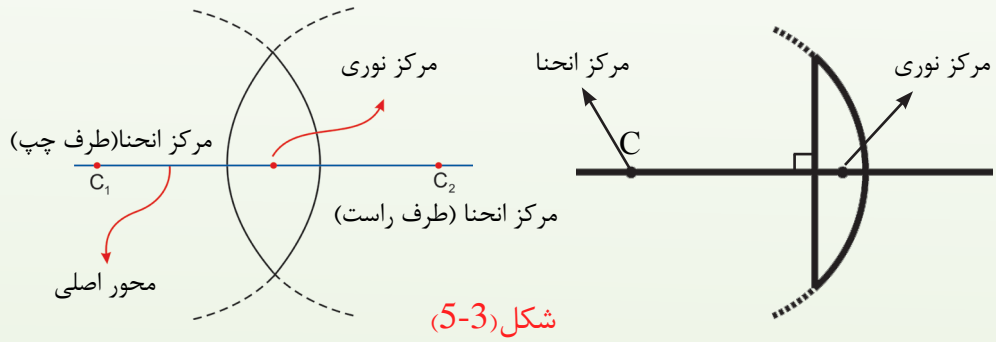
برای آســانی کار، عدســیهٔ محدب توسط سمبول (↕) و عدسیهٔ مقعر توسط سمبول ( ) نشان داده می‌شود.

فعالیت

یک عدسیهٔ محدب الطرفین و یک عدسیهٔ مقعر الطرفین را به‌حیث مجموعهٔ منشورها رسم نمایید. چگونه‌گی عبوراشعهٔ نوری را در آن‌ها مقایسه کرده و نتایج آن‌را با هم صنفان خود شریک سازید.

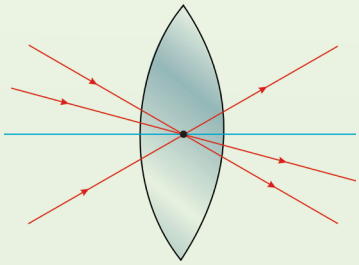
1 – خصوصیات عدسیه های محدب

محور اصلی، مرکز نوری: خطی که از مرکز انحنای هر دو سطح کروی عدسیه عبور کند محور اصلی عدسیه گفته می شود. به عبارت دیگر، خطی که از مرکز و یا رأس سطح منحنی عدسیه محدب گذشته و بالای سطح مستوی آن عمود باشد محور اصلی عدسیه است. نقطه‌یی که در مرکز عدسیه بالای محور اصلی واقع است، به‌نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. درشکل(3-5) محور اصلی و مرکز نوری عدسیه نشان داده شده است.



شکل(3-5)

تجربه نشان می‌دهد که هر گاه اشعهٔ نور بالای مرکز نوری عدسیه بتابد، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌شود، شکل (۴-۴).



شکل(4-5)

2 – محراق عدسیهٔ محدب الطرفین

برای در یافت و شناخت محراق عدسیهٔ محدب الطرفین تجربهٔ ذیل را انجام دهید.

فعالیت

مواد مورد ضرورت

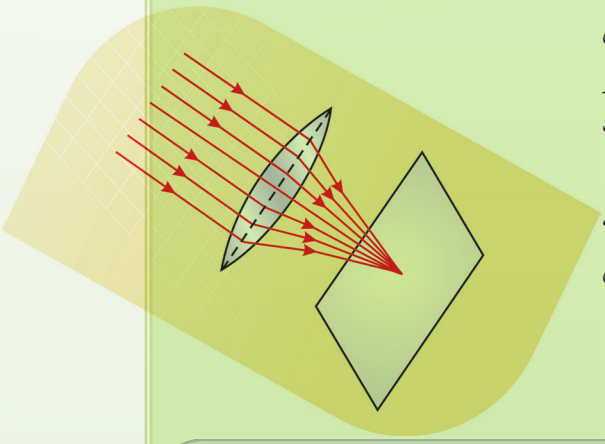
عدسیهٔ محدب الطرفین، یک ورق کاغذ، خط کش

طرزالعمل

1. یک عدسیهٔ محدب الطرفین را مانند شکل (۴-۴) در مقابل آفتاب قرار دهید و ورقهٔ کاغذ را مقابل عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که یک نقطهٔ روشن به روی آن تشکیل گردد. فاصلهٔ نقطه روشن از عدسیه را اندازه نمایید.
2. همین تجربه را به طرف دیگر عدسیه انجام دهید و فاصلهٔ نقطه روشن از عدسیه را اندازه نمایید. نتیجهٔ حاصله را در گزارش کار خود بنویسید.

عدسیهٔ محدب شعاع‌های نوری موازی به محور اصلی اش را در یک نقطه بالای محور اصلی اش متمرکز می سازد، این نقطه محراق اصلی عدسیه گفته می شود. فاصله بین مرکز نوری عدسیه و محراق به نام فاصلهٔ محراقی یاد می گردد و توسط حرف f نشان داده می شود.

در فعالیت فوق مشاهده نمودید که عدسیهٔ محدب الطرفین در هر دو طرف خود دارای محراق می باشد.



شکل (5-5)

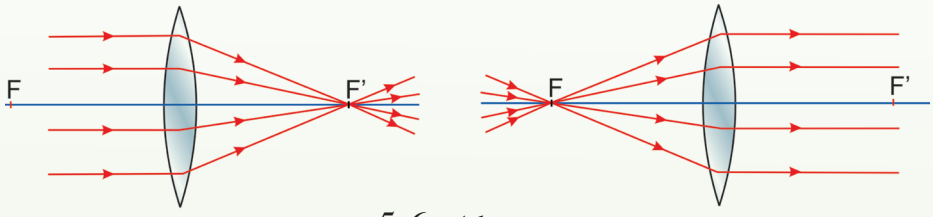
سؤالات

1. عدسیه‌های باریک کدام نوع عدسیه‌ها اند؟
2. محور اصلی و مرکز نوری را تعریف نموده و توسط ترسیم نشان دهید.

5-2: ترسیم اشعه در عدسیه‌های محدب

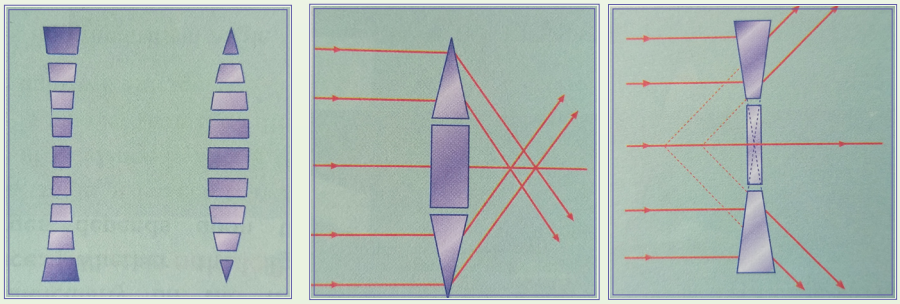
چون فاصلهٔ آفتاب از زمین زیاد اســت، بنابر این اشعهٔ که از آفتاب بالای یک عدسیه می تابد با یکدیگر موازی اند. در فعالیت قبلی دیدیم که هرگاه اشعهٔ نوری موازی به محور اصلی عدســیهٔ محدب الطرفین بتابد، بعد از عبور از عدســیه در محراق متمرکز می شــوند. شکل (5-6b) را ببینید. اگر شــعاع نوری از محراق عدســیه گذشــته و بالای عدسیه بتابد چگونه پخش می‌گردد؟

طوری‌که در شــکل (5-6b) دیده می‌شــود؛ شــعاعی که از محراق عدسیه عبور و بالای عدسیه بتابد موازی با محور اصلی عدسیه از عدسیه خارج می‌شود.



شکل (5-6)

در بحث منشــور دیدیم، زمانی‌که یک دستهٔ شــعاع از منشور عبور می‌نماید، منشور، آن را به طرف قاعده (قســمت ضخیم) منحرف می‌نماید. در این جا نیز می‌توانیم یک عدســیهٔ محدب یا مقعر را به‌حیث ترکیب منشورها قبول نماییم، از قسمت وسط به طرف کناره‌های عدســیه زاویهٔ انحراف آهســته آهسته زیاد می‌شــود؛ بنابر این در کناره‌های عدسیه انحراف اشــعهٔ نوری زیاد می‌گردد.از این جا واضح می‌شــود زمانی‌که اشعهٔ موازی از عدسیهٔ محدب عبور می‌نماید، در محراق اصلی جمع می‌شــود و در عدســیهٔ مقعر اشــعهٔ نوری بعد از عبور از یکدیگر دور شــده و طوری معلوم می‌شــود که از محراق عدســیه (محراق مجازی) پخش می‌گردد.



فعالیت

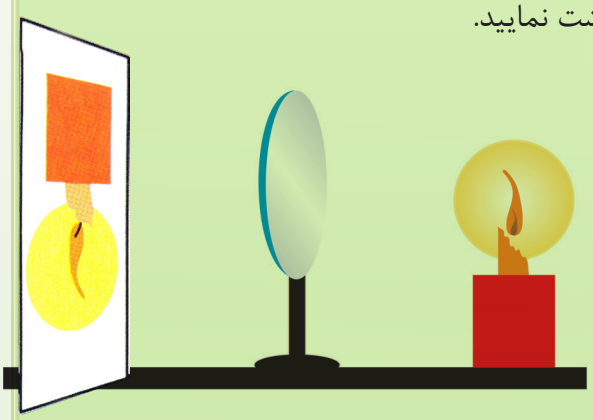
هدف: تشکیل تصویر توسط عدسیهٔ محدب

مواد مورد ضرورت: عدسیهٔ محدب الطرفین با پایهٔ آن، شمع، گوگرد و یک ورق کاغذ.

تجربه را در یک اتاق نسبتاً تاریک اجرا نمایید.

طرز العمل

1. عدسیه را بالای پایهٔ آن نصب کرده و شمع را روشن نمایید.
2. ورق کاغذ را در پیش روی عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که محراق بر روی ورق تشکیل شود. فاصلهٔ محراقی عدسیه را اندازه نمایید.
3. مطابق شکل (7-5) شمع را در فاصلهٔ بیشتر از فاصلهٔ محراقی در مقابل عدسیه قرار دهید. ورق کاغذ را در جانب دیگر عدسیه طوری جابه‌جا نمایید که بالای آن تصویر واضح شمع دیده شود.
4. شمع روشن را به محراق عدسیه نزدیک یا از آن دور نمایید و در هر حالت تصویر را بالای کاغذ دیده و نتیجه را یادداشت نمایید.



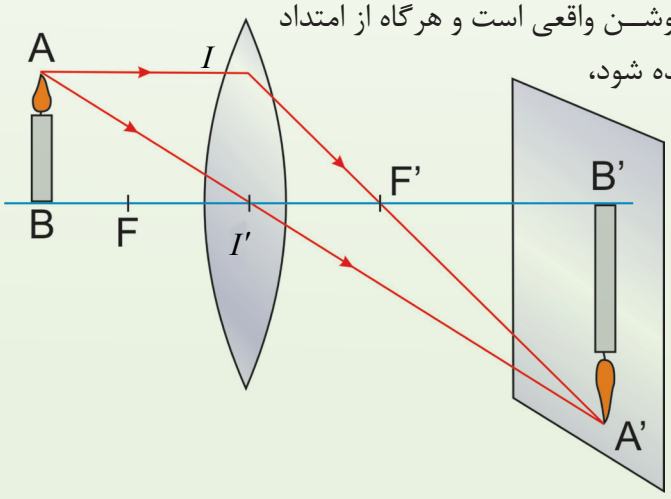
شکل (7-5)

5. در کدام فاصله از عدسیه، اندازهٔ تصویر مساوی به اندازهٔ جسم می‌باشد؟ این فاصله را با فاصلهٔ محراقی مقایسه نمایید.

5-4: ترسیم تصویر در عدسیه های باریک

یک شـــمع روشـــن را در مقابل یک عدسیهٔ محدب در فاصله‌یی در نظر بگیرید که نسبت به فاصلهٔ محراقی بیشتر باشد، شکل (5-8) دیده شود. از هر نقطهٔ شمع، مانند نقطهٔ A اشعهٔ زیادی بالای عدســیه می‌تابد. از جمله این شعاع‌ها دو شعاع آن‌را در نظر می‌گیریم، یکی آن اشــعهٔ AI (موازی به محور اصلی) و دیگر آن اشعهٔ AI' (اشعهٔ که از مرکز نوری عدسیه عبور می‌نماید). اشعهٔ منکسرهٔ این دو شعاع درنقطهٔ A' یکدیگر را قطع می‌نمایند. هر گاه هر شعاع نوری دیگری نیز از نقطهٔ A بالای عدســیه بتابد، شــعاع منکسرهٔ آن‌ها نیز از نقطهٔ A' عبور خواهد کرد؛ بنابراین برای حاصل کردن نقطهٔ A' (که تصویر نقطهٔ A است)، دو اشعه کافی اســت؛ چنانکه در مورد آیینه‌ها گفته شــد، تصویر نقاط دیگر شمع را نیز به همین ترتیب به دســت آورده می‌توانیم. تجربه نشان می‌دهد که اگر یک شی بالای محوراصلی عدسیه عمود باشد، تصویر آن نیز بالای محور عمود است. نقطه‌یی که بالای محور اصلی واقع باشد تصویر آن نیز بالای محور اصلی واقع می‌باشــد؛ بنابر آن با حاصل کردن نقطهٔ A' (تصویر نقطهٔ A) می‌توانیم تصویر یک شی را که بالای محور اصلی عمود باشد تشکیل بدهیم.

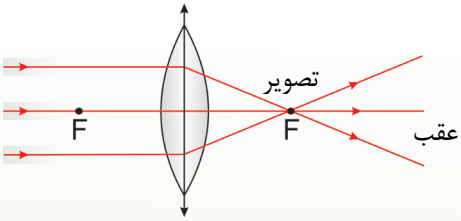
تصویری که در این حالت تشــکیل می‌گردد به‌نام تصویر حقیقی یاد می‌شــود. همانگونه که در شکل (5-8) دیده می‌شود، این تصویر بالای کاغذ یا پرده‌یی که در محل تصویر واقع باشــد، تشــکیل می‌گردد. در این حالت شعاع های منکســره یکدیگر را قطع می‌نمایند. در حقیقت نقطهٔ A' یک نقطهٔ روشــن واقعی است و هرگاه از امتداد مسیر نقطهٔ A' به عدسیه دیده شود، نقطهٔ روشــن A مشــاهده می‌گردد.



شکل (5-8)

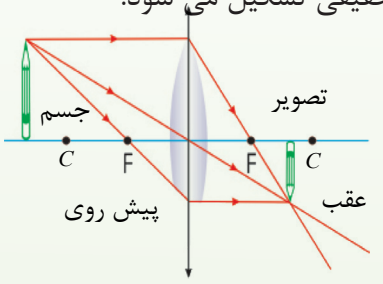
طریقهٔ ترسیم تصویر شی AB در عدسیهٔ محدب الطرفین در حالات ذیل نشان داده شده است:

1. هرگاه شـــی AB از عدســـیه خیلی دور (درلایتناهی) واقع باشد، تصویر آن مانند نقطه در محراق تشکیل می‌شود.



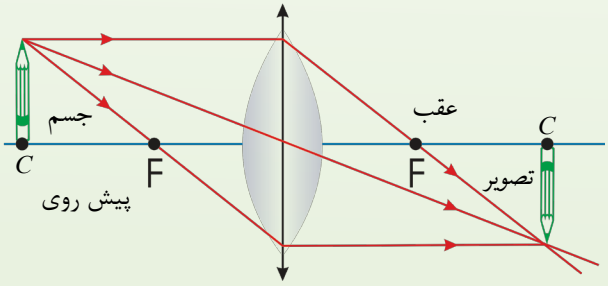
این تصویر حقیقی است.

2. اگر شی به مرکز انحنا نزدیک گردد، تصویر آن در طرف دیگر عدسیه بین محراق و مرکز انحنا، کوچکتر از اصل شی، سرچپه و به شکل حقیقی تشکیل می شود.

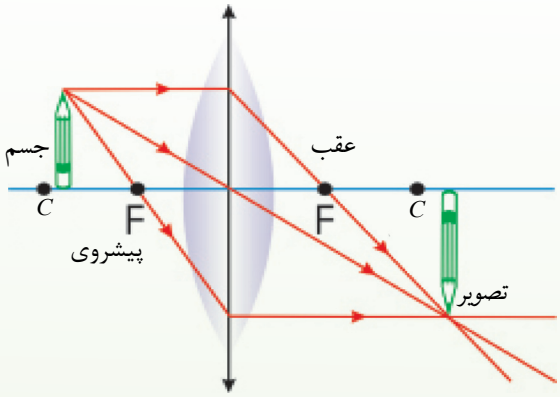


(5-9b)

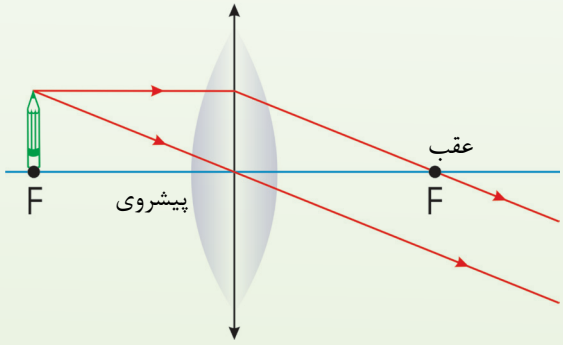
3. اگـــر شـــی در مرکز انحنا واقع گـــردد، تصویر آن بالای مرکـــز انحنای طرف دیگر عدسیه، مساوی به اصل شی، سرچپه و حقیقی تشکیل می گردد.



4. اگــر شــی بین مرکز انحنا و محراق قرار بگیرد، تصویــر آن خارج از مرکز انحنای طرف دیگر عدسیه، بزرگتر از اصل شی، سرچپه و حقیقی تشکیل می شود.

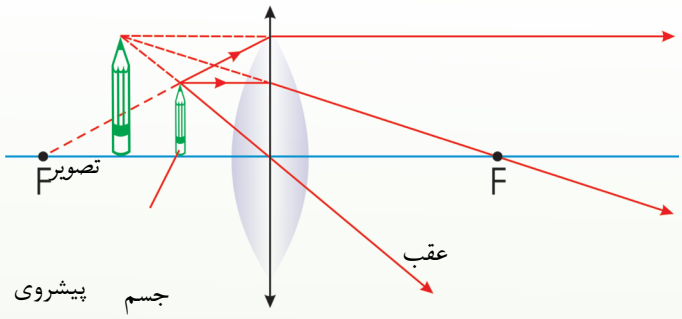


5. اگر شــی در محراق واقع باشــد اشعۀ نوری وارده از شــی بعد از عبور ازعدسیه با یکدیگر طور موازی انتشار می کنند و تصویر در بی نهایت تشکیل می گردد.



(5-9e)

6. اگر شی بین عدسیهٔ محدب و محراق آن واقع باشد، شعاع‌های نوری وارده بعد از عبور از عدســیه از همدیگر دور می شــوند. امتداد یافته شعاعات منکسره همدیگر را در پیش روی عدســیه قطع نموده و تصویر تشکیل می‌شود. تصویر بزرگتر از اصل شی، سر راسته و مجازی است..



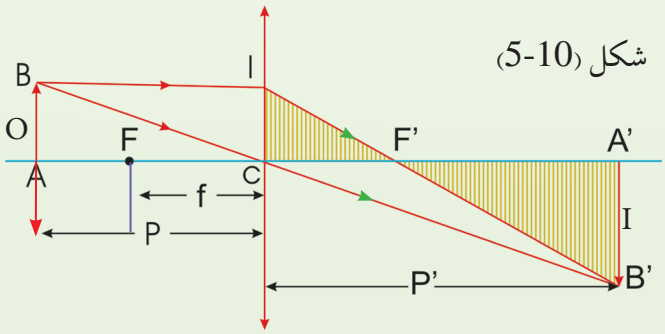
سوال:

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

5-4: معادلهٔ عدسیهٔ باریک و بزرگ‌نمایی

برای این‌که تصویر جسم AB را توسط عدسیهٔ باریک تشکیل بدهیم، از یک نقطهٔ جسم دو اشعه را بالای عدسیه طوری رسم می‌نماییم.

شکل (5-10)



فرض می‌نماییم که جسم AB به فاصلهٔ p از عدسیهٔ محدب‌الطرفین که دارای فاصلهٔ محراقی f می‌باشد، واقع است. عدسیهٔ متذکره تصویر این جسم (A′B′) را تشکیل می‌دهد که از عدسیه به فاصلهٔ p′ واقع می‌باشد.

از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{A'B'C}$ و $\overset{\Delta}{ABC}$ می‌توانیم بنویسیم که:

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

اگر طول جسم و تصویر را به ترتیب با O , I نشان دهیم، داریم که:

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

از مقایسه دو رابطه فوق می توانیم بنویسیم که:

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

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{A'B'F'}$ و $\overset{\Delta}{F'IC}$ می‌توانیم بنویسیم که:

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

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

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

در رابطهٔ فوق عوض F′C و A′C قیمت‌های شان را وضع کرده، داریم که:

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

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

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

یا:

$$P'f = pp' - pf \text{.....(3)}$$

از تقسیم اطراف معادلهٔ (3) بالای fPP' حاصل می‌نماییم که:

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

اگر بزرگ‌نمایی عدسیه را توسط γ نشان دهیم، پس ازمعادلهٔ (1) می‌توانیم بنویسیم که:

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

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

فورمول نیوتن:

در شـــکل (11-5) اگر X و X' به ترتیب فواصل شـــی و تصویر از محراق‌های F و F' باشند، از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{ABF}$ و $\overset{\Delta}{F'CI}$ می‌توانیم بنویسیم که:

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

یا:

$$\frac{I}{O} = \frac{f}{x} \text{.....(1)}$$

هم‌چنان از متشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{A'B'F'}$ و $\overset{\Delta}{FCI}$ داریم که:

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

و یا:

$$\frac{I}{O} = \frac{x'}{f} \text{.....(2)}$$

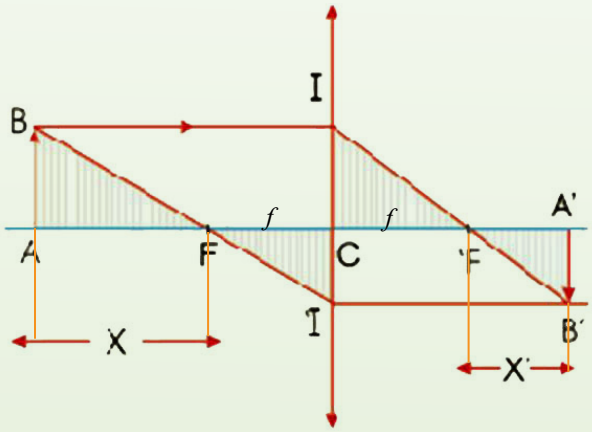
از مقایسهٔ معادلات (1) و (2) در یافت می‌نماییم که:

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

و یا:

$$f^2 = xx' \text{.....(3)}$$

رابطهٔ (3) به‌نام فورمول نیوتن یاد می‌شود.



شکل (5-11)

مثال:

جسمی با طول 8 سانتی متر به فاصلهٔ 30 سانتی متر از عدسیهٔ محدبی قرار دارد که فاصلهٔ محراقی آن 20 سانتی متر است. فاصلهٔ تصویر را از عدسیه و طول تصویر را در یافت نمایید.

حل:

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

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

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

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:

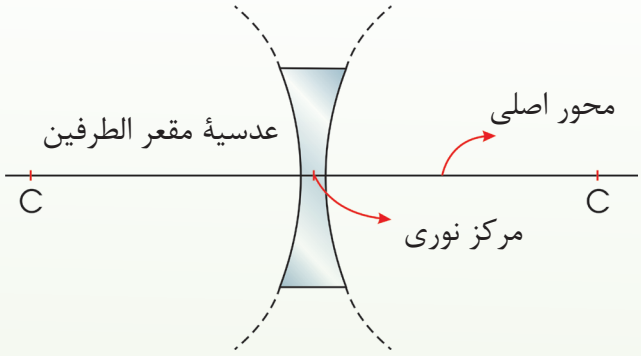
اگر فاصلهٔ جسم از محراق عدسیه 25 سانتی متر و فاصلهٔ تصویر 4 سانتی متر باشد، فاصلهٔ محراقی را دریافت نمایید.

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

$$f^2 = xx'$$
$$f^2 = 25cm \times 4cm$$
$$f^2 = 100cm^2$$
$$f = \sqrt{100cm^2} = 10cm$$

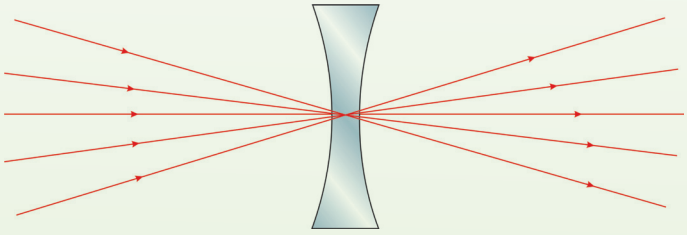
5-5: خصوصیات عدسیه‌های مقعر

1. **محوراصلی، مرکز نوری:** محور اصلی عدســیه‌های مقعر خطی است که سطوح مرکز کروی عدســیه را باهم وصل می‌نماید. نقطهٔ مرکز عدســیه که بالای محور اصلی واقع است، به‌نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود. در شکل (5-12) محور اصلی و مرکز نوری عدسیه نشان داده شده است.



شکل (5-12)

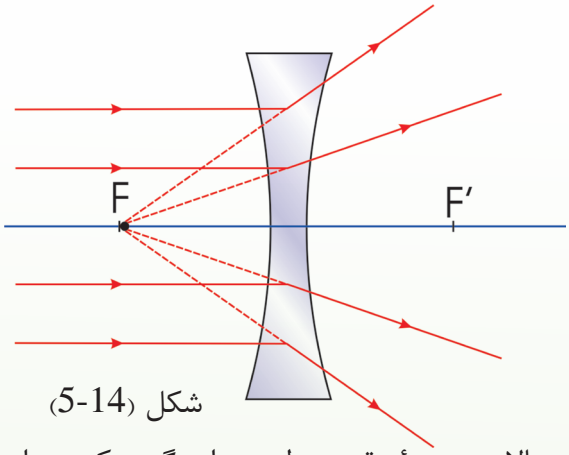
در عدسیه‌های مقعر نیز اشعه‌یی که بالای مرکز نوری عدسیه وارد می‌شود، بدون انحراف از عدسیه خارج می‌گردد، شکل (5-13).



شکل (5-13)

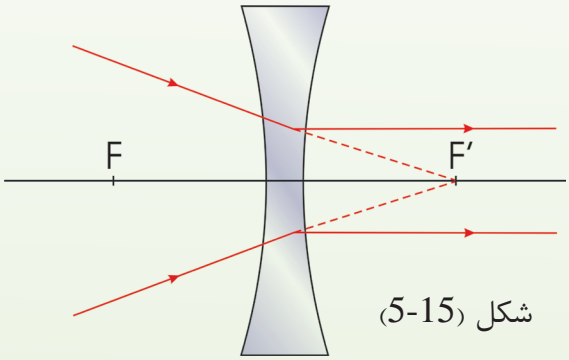
2. **محراق عدسیه‌های مقعر:** اگر شعاع‌های نوری موازی با محور اصلی بالای عدسیهٔ مقعر وارد گردد، بعد از انکســار و عبور از عدســیه طوری از یکدیگر دور می‌شــوند که امتداد شان در عقب از یک نقطه بالای محور اصلی می‌گذرد. این نقطه را به‌نام محراق عدسیهٔ مقعر یاد می‌نمایند. فاصله بین محراق و مرکز نوری را به نام فاصلهٔ محراقی یاد کرده و آن‌را توســط f نشان می‌دهند.

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



شکل (5-14)

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



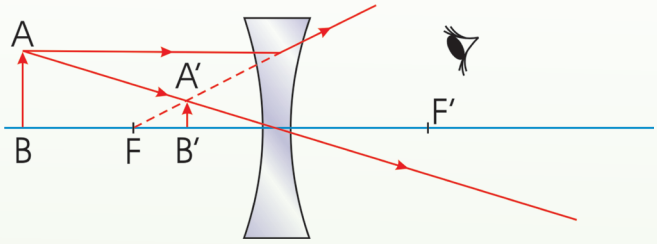
شکل (5-15)

فعالیت

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

تصویر در عدسی‌های مقعر

در این نوع عدسی‌ها نیز تصویر یک شی عمود بالای محور اصلی عدسی را توسط ترسیم تصویر یک نقطهٔ آن دریافت می‌نماییم. دو شعاع از یک نقطهٔ معین شی عمود را در نظر می‌گیریم. یک شعاع موازی با محور اصلی به عدسی تابیده طوری منکسر می گردد که امتداد یافتهٔ آن از محراق عدسی عبور می کند. شعاع دیگر از مرکز نوری عدسی گذشته و امتداد یافتهٔ شعاع منکسرهٔ اولی را در یک نقطه (A') قطع می کند، شکل (5-16).



شکل(5-16) تصویر در عدسی مقعر

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

5-6: فورمول عدسی‌های مقعر

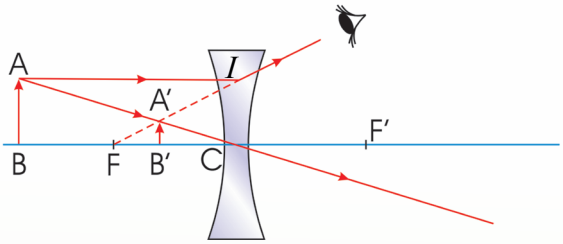
برای در یافت فورمول عدسیهٔ مقعر، شکل (5-17) را که در عدسیهٔ مقعر تصویر شی AB را نشان می‌دهد در نظر می‌گیریم.

در شکل(5-17) از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{A'B'C}$ و $\overset{\Delta}{ABC}$ می‌توانیم بنویسیم که:

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

یا:

$$\frac{I}{O} = \frac{P'}{P} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$



شکل(5-17)

هم‌چنان از تشابه مثلث‌های $\overset{\Delta}{ICF}$ و $\overset{\Delta}{A'FB'}$ داریم که:

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

یا:

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

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

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

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، فاصلهٔ محراقی مثبت است.
2. اگر عدسیه مقعر باشد، فاصلهٔ محراقی منفی می‌باشد.
3. P و 'Pدر صورت مجازی بودن، منفی می‌باشند.

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

مثال

جسمی‌در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای شعاع انحنای 24 سانتی متر است به فاصلهٔ 6 سانتی متری واقع است. فاصلهٔ تصویر را از عدسیه دریافت نمایید.

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

$f = \frac{R}{2} = 12cm$

$P = 6cm$

$P' = ?$

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

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

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

$$P' = -4cm$$

علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

مثال

شـــی مجازی که دارای طول 10cm ســـانتی متر است به فاصلهٔ 20 سانتی متر از عدسیهٔ مقعری قرار دارد که دارای فاصلهٔ محراقی 30cm ســـانتی متر می‌باشـــد. نوع تصویر را معلوم نمایید.

حل: چون عدســـیه مقعر و شـــی مجازی است. پس فاصلهٔ شـــی و فاصلهٔ محراقی هر دو منفی می‌باشند، یعنی:

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

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

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

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

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

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

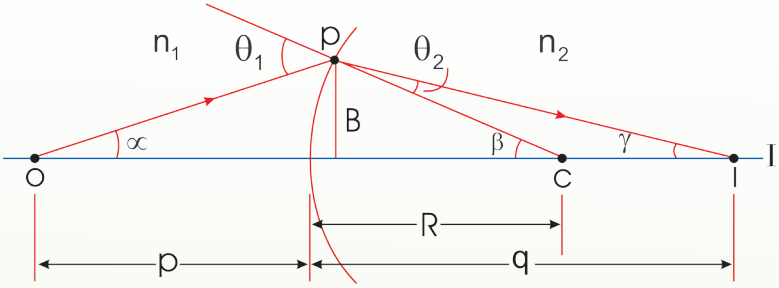
رابطه بین فاصلهٔ شی و تصویر نسبت به سطح انکسار کننده

با اســـتفاده از شکل (18-5) رابطه بین فاصلهٔ 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، دریافت می‌نماییم.

برای حل مســـأله دو محیط شفاف را در نظر می‌گیریم که دارای ضرایب انکسار n_1 و n_2 باشـــند. درحالی‌که سطح جدا کننده بین دو محیط، یک سطح کروی با شعاعR باشد، شکل (18-5). در شکل دیده می‌شود که یک شعاع از نقطهٔ O منشأ گرفته و توسط سطح کروی

در نقطهٔ P انکسـار می‌نماید. برای این اشـعه از تطبیق قانون انکسـار سنل حاصل می‌شود که:

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



شـکل (5-18) تشـکیل تصویر توسط سطح انکسار کننده

چون θ_1 و θ_2 خیلی کوچک فرض شـده اسـت، پس با اسـتفاده ازتعریف زاویهٔ کوچک می‌توانیم بنویسیم که: $n_1\theta_1 = n_2\theta_2$

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

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

$$\hat{B} = \theta_2 + \gamma \Rightarrow \theta_2 = \beta - \gamma$$

اگر قیمت‌های θ_1 و θ_2 در معادلهٔ $n_1\theta_1 = n_2\theta_2$ وضع گردد، دریافت می‌نماییم که:

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

$$\text{ویا} \quad n_1\,\alpha + n_2\,\gamma = (n_2 - n_1)\,\beta$$

از شکل می‌توانیم بنویسیم که:

$$tg\alpha \approx \alpha \approx \frac{d}{p}$$

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

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

با وضع کردن قیمت‌های α، β و γ در معادلهٔ اخیر و 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 شی و تصویر را نسبت به یک سطح انکسار کننده نشان می‌دهد.

5-7: معادلهٔ ساختن عدسیه

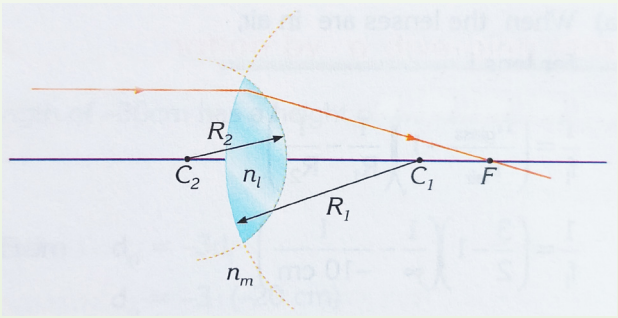
قبلاً ذکرگردید که از عدسیه‌ها در ساختن آلات اپتیکی استفاده می‌شود پس باید بدانیم که عدسیه چگونه ساخته می‌شود؟ برای تشکیل تصویر یک شی، باید نور شی از یک طرف بالای عدسیه بتابد و از طرف مقابل آن خارج گردد. چون عدسیه یک محیط شفاف است، شعاع نوری در وقت عبور از عدسیه در دو سطح انکسار را متحمل می‌شود. در این حالت تصویر تشکیل شده توسط یک سطح انکسار دهنده، برای سطح دیگر حیثیت شی را دارد.

فاصلهٔ محراقی یک عدسیهٔ باریک در محیطی با ضریب انکسار n_1 به شعاع‌های انحنای سطح پیش روی و عقب عدسیه و ضریب انکسار ماده عدسیه (n_2) مربوط است. معادله‌یی که کمیت‌های فوق را به همدیگر مرتبط می‌سازد به نام معادلهٔ ساختن عدسیه یاد می شود:

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

تمامی پارامتر های معادلهٔ فوق در شکل (۱۹-۴) نشان داده شده است.

برای سطح کروی محدب علامت R_1 و R_2 مثبت، سطح کروی مقعر R_1 و R_2 منفی و برای سطح مستوی $R=\alpha$ است.



شکل (5-19)

مثال اول: فاصلهٔ محراقی یک عدسیه محدب الطرفین را دریافت کنید که ضریب انکسار آن 1.5 بوده و شعاع‌های انحنای آن $R_1=10cm$ و $R_2=30cm$ باشد. عدسیه در هوا قرار دارد.

$n_1 = 1$
$n_2 = 1.5$
$R_1 = 10cm$
$R_2 = 30cm$
$f = ?$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$
$$= \left(\frac{1.5}{1} - 1\right)\left(\frac{1}{10cm} + \frac{1}{30cm}\right)$$
$$= (0.5)\left(\frac{4}{30cm}\right) = \frac{1}{15cm}$$
$$\Rightarrow f = 15cm$$

مثال دوم: عدسیهٔ محدب المقعر که از شیشه با ضریب انکسار 1.5 ساخته شده است به ترتیب دارای شعاع‌های انحنای $R_1 = 12cm$ و $R_2 = 18cm$ است، محراق این عدسیه را در داخل آب با ضریب انکسار 1.3 دریابید.

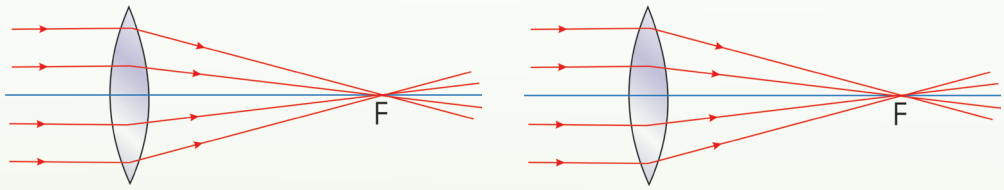
$n_1 = 1.3$
$n_2 = 1.5$
$R_1 = 12cm$
$R_2 = 18cm$
$f = ?$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$
$$= \left(\frac{1.5}{1.3} - 1\right)\left(\frac{1}{12cm} - \frac{1}{18cm}\right)$$
$$= (0.15)\left(\frac{1}{36cm}\right)$$
$$\Rightarrow f = 240cm$$

5-8: قدرت عدسیه‌ها

در اشـــکال (5-20 الف و ب) دو عدســـیهٔ محدب الطرفین که دارای فاصله‌های محراقی مختلف می‌باشـــد نشـــان داده شده است. دســـتهٔ شـــعاع نوری موازی با محورهای اصلی دو عدســـیه بالای عدســـیه‌ها وارد گردیده اســـت و عدسیه‌ها شـــعاع‌های نوری را با هم نزدیک می‌نمایند. قدرت کدام یک از این دو عدسیه در نزدیک ساختن شعاع نوری بیشتر است؟

طوری‌که از اشـــکال دیده می‌شود، عدسیه‌یی که دارای فاصلهٔ محراقی کوچکتر است، در متقارب ســـاختن (نزدیک کردن) شـــعاع نوری قدرت بزرگتر را دارد، یعنی قدرت عدسیه در متقارب ساختن معکوساً متناسب به فاصلهٔ محراقی می‌باشد.



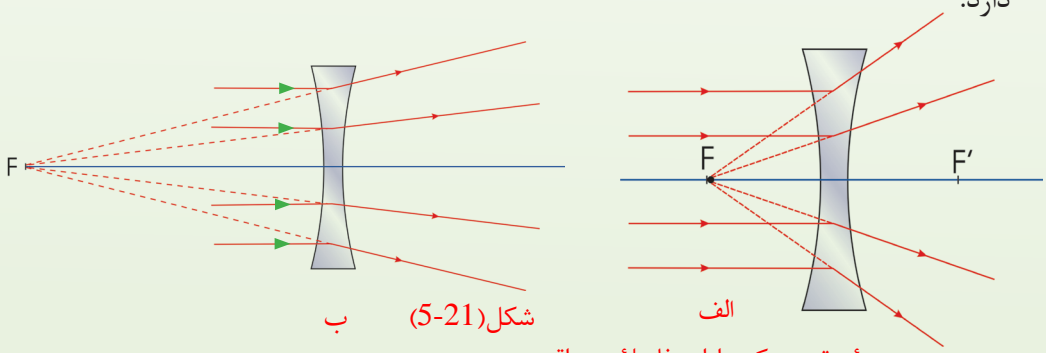
الف) عدسیه با داشتن فاصلهٔ محراقی کوچکتر دارای قدرت بزرگ در نزدیک کردن شعاع نوری می‌باشد.

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

شکل (5-20)

هم‌چنان در اشـــکال (5-21الف 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 می‌شـــود که قدرت عدســـیه با فاصلهٔ محراقی عدســـیه رابطهٔ معکوس دارد.



الف

ب

شکل(5-21)

عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی کوچکتر اســـت در دورکردن شعاع نوری قدرت بزرگتر رادارد.

عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی بزرگتر اســـت در دورکردن شعاع نوری قدرت کوچکتر را دارد.

معکوس فاصلهٔ محراقی، یعنی($\frac{1}{f}$) را قدرت عدسیه می‌گویند و آن را توسط D نشان می‌دهند، یعنی:

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

هر گاه فاصلهٔ محراقی به متر اندازه شود، واحد قدرت عدسیه معکوس متر ($\frac{1}{m}$)می‌باشد، که به نام دیوپتر یاد می‌شود و آن را توسط d نشان می‌دهند. گفتنی است که قدرت عدسیه‌های محدب، مثبت و قدرت عدسیه‌های مقعر، منفی می‌باشد.

5-9: ترکیب عدسیه‌های باریک

برای تشکیل یک تصویر از دو عدسیه استفاده می‌نماییم. این موضوع را طور ذیل توضیح می‌کنیم:

نخست تصویر عدسیهٔ اول طوری محاسبه می‌گردد که گویا عدسیهٔ دوم موجود نباشد. (نور برای عدسیهٔ دومی‌طوری می‌رسد که گویا از تصویر تشکیل شده آمده است) بنابر این تصویر تشکیل شده توسط عدسیهٔ اولی برای عدسیهٔ دومی‌مانند شی عمل می‌کند. تصویری که توسط عدسیهٔ دومی‌تشکیل می‌شود عبارت ازتصویر نهایی سیستم می‌باشد. بزرگ‌نمایی مجموعی سیستم عدسیه‌ها مساوی به حاصل ضرب بزرگ‌نمایی هر کدام ازعدسیه‌ها است. اگر تصویر تشکیل شده توسط عدسیهٔ اولی در عقب عدسیهٔ دومی‌قرار داشته باشد، این تصویر برای عدسیهٔ دومی‌حیثیت شی مجازی را دارد (یعنی در این حالت p منفی است). به عین ترتیب یک سیستم سه یا بیشتر عدسیه‌ها را تشکیل داده می‌توانیم.

فعالیت

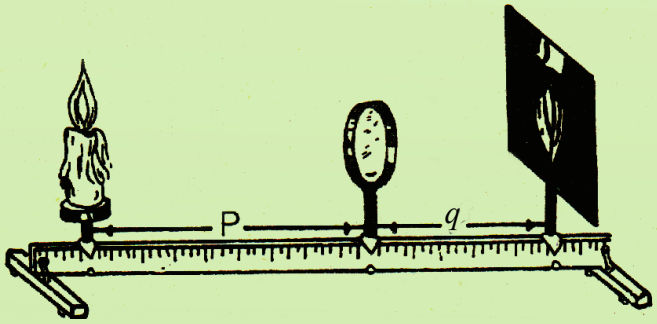
هدف: محاسبهٔ فاصلهٔ محراقی یک عدسیه

مواد مورد ضرورت

شمع، گوگرد، پرده، پایه‌های لغزنده و خط کش

طرزالعمل

شمع، پرده و عدسیه را مطابق شکل (5-22) بالای خط کشی که روی میز قرار دارد طور عمودی بگذارید. شـــمع را روشـــن نمایید و پرده را تا زمانی تغییر مکان دهید که بالای پرده تصویر واضح شـــمع تشـــکیل گردد. در این حالت دیده می‌شود که تصویر نیز بالای محور اصلی عمود می‌باشد. حال فاصلهٔ 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.



شکل (5-22)

5-10: تطبیقات

1. یک شی را در مقابل عدسیهٔ محدبی که دارای فاصلهٔ محراقی $8cm$ است یک مرتبه بـــه فاصلهٔ $12cm$ و مرتبهٔ دیگر به فاصلهٔ $4cm$ قرار دهیـــد. در هر حالت موقعیت تصویر و چگونه‌گی آن‌را در یافت نمایید. برای هر دو حالت شکل آن‌را ترسیم نمایید.

برای حالت اول

$$P = 12cm \ , \ q = ? \ , \ f = 8cm$$

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

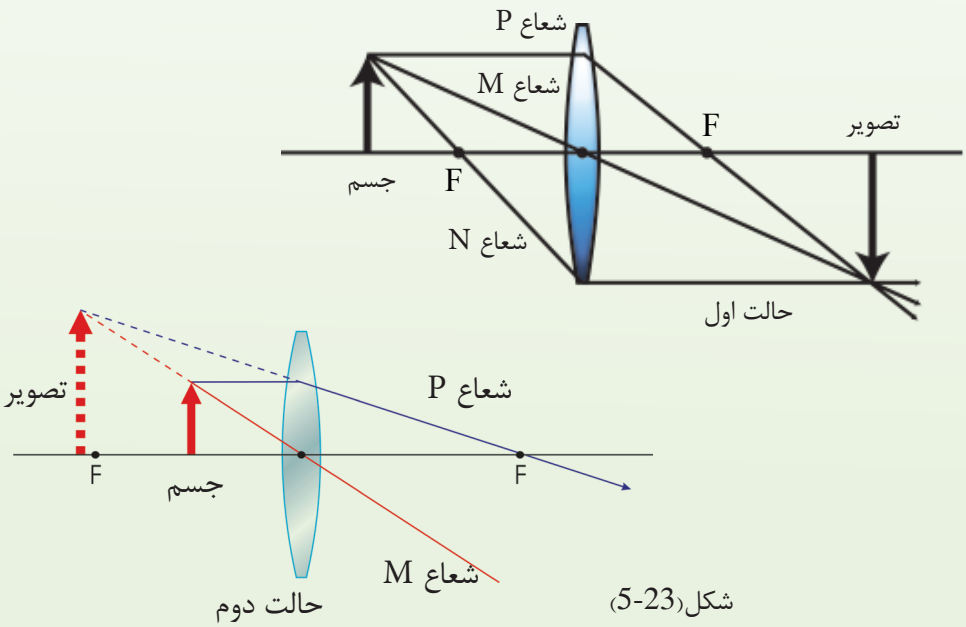
پس فاصلهٔ تصویر از عدسیه $q = 24\,cm$ و چون q مثبت است؛ بنابراین تصویر حقیقی می‌باشد.

برای حالت دوم

$$P = 4 \ Cm \ , \ f = 8\,Cm : q = ?$$

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

فاصلهٔ تصویر از عدسیه: $q = -8\,cm$، چون در این حالت q منفی است؛ بنابرین تصویر مجازی می‌باشد.



شکل(23-5)

2. اگر یک شی در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی $6\,cm$ است به فاصلهٔ $18\,cm$ قرار داشته باشد، فاصلهٔ تصویر از عدسیه را دریافت نمایید.

حل: چون عدسیه مقعر است؛ پس فاصلهٔ محراقی آن منفی می‌باشد.

$$P = 18\,Cm\,,\quad f = 6Cm\,,\quad q = ?$$

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

فاصلـهٔ تصویر از عدسـیه: $-4.5\,Cm = -\frac{18cm}{4} \Rightarrow q = -\frac{4}{18cm}$، علامت منفی نشان می‌دهد که تصویر مجازی است.

3. اگر شـی مجازی با طول $10\,cm$ از عدسـیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی $8\,cm$ است. به فاصلهٔ $20\,cm$ واقع باشد، چگونه‌گی تصویر را مشخص نمایید.

حل: چون شـی مجازی و عدسـیه مقعر است، پس فاصلهٔ شـی و فاصلهٔ محراقی هر دو منفی در نظر گرفته می‌شوند، یعنی:

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

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

چون q مثبت است؛ پس تصویر حقیقی می‌باشد.

هم چنان $\gamma = \frac{I}{O}=\frac{q}{P}=\frac{60cm}{20cm}=3$

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

4 - می خواهیم با اســتفاده از یک عدســیهٔ محدب، ازشــی‌یی که دارای طول $0.5cm$ اســت، تصویر مجازی به طول $2cm$ تشــکیل بدهیم در صورتی که فاصلهٔ شــی از عدسیه $6cm$ باشد، فاصلهٔ تصویر را از عدسیه و فاصلهٔ محراقی عدسیه را محاسبه نمایید.

حل: $P = 6cm\,,\quad AB = 0.5cm\,,\quad A'B' = 2cm\,,\quad q = ?\,,\quad f = ?$

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

$$q = \frac{12cm}{0.5} = 24cm$$ فاصلهٔ تصویر از عدسیه

چون تصویر مجازی است، پس q قیمت منفی دارد. برای دریافت فاصلهٔ محراقی:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f},\quad \frac{1}{6cm} - \frac{1}{24cm} = \frac{1}{f},\quad \frac{4-1}{24cm} = \frac{1}{f},\quad \frac{3}{24cm} = \frac{1}{f}$$

$$3f = 24cm,\quad f = \frac{24cm}{3}$$

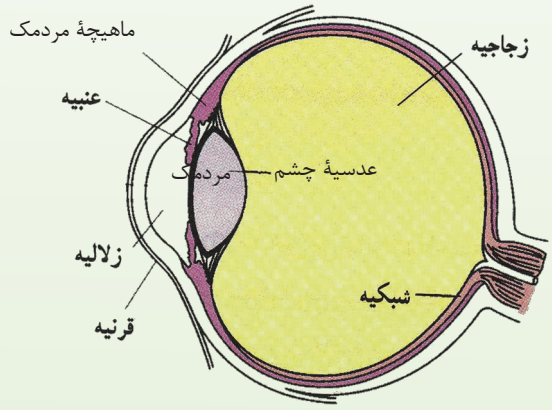
فاصلهٔ محراقی عدسیه $f = 8cm$ است.

آلات اپتیکی نوری

چشم انسان

بینایی بیشــتر از حواس دیگر ما را با جهان اطراف مرتبط می کند. وقتی جســمی را می بینیم، چشم ما تصویر حقیقی، کوچک و سرچپهٔ جسم را به کمک عدسیه محدب خود بالای شبکیه تشکیل می‌دهد. شبکیه عبارت ازیک صفحهٔ حساس در مقابل نور است. چشم تقریباً شکل کروی دارد که توسط یک پردهٔ نسبتاً سخت محا فظت می‌گردد. این پرده به‌نام صلبیه یاد می‌شــود. قسمت پیش روی صلبیه شفاف است و به‌نام قرنیه یاد می‌شود، شکل(24-4). زمانی‌که نور داخل چشم می‌گردد، انکسار اول در قرنیه صورت می‌گیرد. ضریب انکسار قرنیه

1.376 می‌باشد. در عقب قرنیه مایع شفافی و جود دارد که به‌نام زلالیه یاد می‌شود و ضریب انکسار آن 1.336 است. چون بین ضرایب انکسار زلالیه و قرنیه تفاوت بزرگی وجود ندارد، بنابراین درسر حد مشترک زلالیه و قرنیه انکسار چندانی رخ نمی‌دهد. مردمک چشم عبارت از یک کلکینچه‌یی است که بر اثر تغییر قطر آن، نور عبوری کنترول می‌گردد. در این عمل قطر مردمک چشم از 2 الی 8 ملی متر تغییر می‌نماید. در عقب مردمک، عدسیهٔ چشم واقع است. عدسیهٔ چشم دارای ساختمان شفاف محدب الطرفین می‌باشد. ضریب انکسار عدسیه تقریباً 1.437 است. بنابرین بعد از انکسار نور در قرنیه، عدسیهٔ چشم تصویر حقیقی، معکوس و کوچک بالای شبکیه تشکیل می‌دهد. عدسیهٔ چشم توسط یک نوع عضلات مخصوص محافظت می‌گردد. همین عضلات ضخامت عدسیه را تغییر می‌دهند. زمانی‌که این عضلات در حالت استراحت باشند، عدسیه دارای بیشترین فاصلهٔ محراقی می‌باشد و تصویر اشیای دور را بالای شبکیه تشکیل می‌دهد، مگر برای دیدن اشیای نزدیک، این عضلات منقبض می‌شوند و ضخامت عدسیه را بیشتر می‌سازند و درنتیجه فاصلهٔ محراقی عدسیه کاهش می‌یابد و تصویر بالای شبکیه تشکیل می‌شود. تغییر فاصلهٔ محراقی به خاطر تشکیل تصویر واضح اجسام دور یا نزدیک بالای شبکیه را تطابق چشم می‌گویند.



شکل (5-24) تصویر چشم انسان

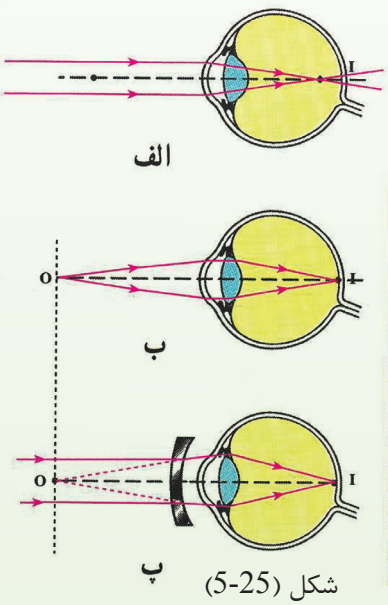
فاصلهٔ دور و نزدیک دید

چشـــمان ســـالم می‌توانند از فاصلهٔ 25 ســـانتی متر الی فواصل خیلی دور عمل تطابق را انجـــام دهند. در جوانان این فاصله از 25 ســـانتی متر کمتر اســـت که با تزاید ســـن بزرگتر می‌شود، به صورت عموم قدرت تطابق چشمان با تزاید سن محدود می‌گردد.

نزدیک ترین فاصلهٔ دید عبارت ازهمان فاصلهٔ کوتاهی اســـت که چشـــم بتواند جسمی را بدون عمل تطابق به طور واضح ببیند. دورترین فاصلهٔ دید عبارت از همان فاصله‌یی است که چشم بتواند جسمی را بدون تطابق چشم به‌صورت واضح ببیند.

عیوب چشم

چشـــم نزدیک بین: چشـــم نزدیک بین تنها اشیای نزدیک را به‌صـــورت واضح می‌بیند. تصویر اشـــیای دور در پیش روی شبکیهٔ آن تشـــکیل می‌گردد، شکل(25-5 الف). برای اصلاح این چشم از عدســـیهٔ مقعر به حیث عینک استفاده می‌گردد. عدســـیهٔ مقعر سبب می‌شـــود که تصویر بالای شبکیه تشکیل گـــردد؛ مانند شـــکل (25-5 ب). این نوع عیـــوب معمولاً در جوانان دیده می‌شود.



شکل (25-5)

الف: تشکیل تصویر در پیشروی شبکیه.

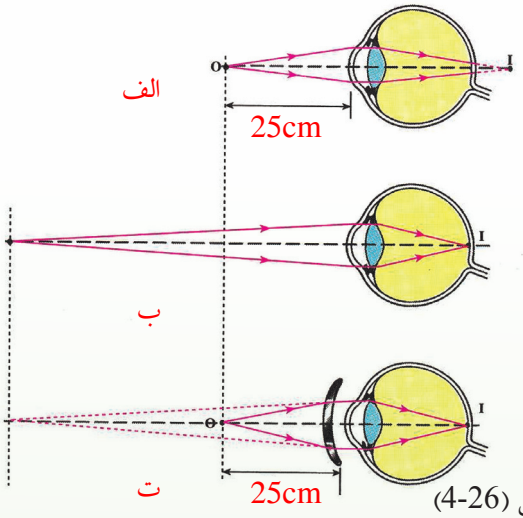
ب: تشکیل تصویر بالای شبکیه.

چشم دوربین: چشم دور بین تنها اجسام دور را به صورت واضح می‌بیند. تصویر اشـــیای نزدیک در عقب شبکیهٔ این نوع چشم تشـــکیل می‌شود، شـــکل (26-5 الف). عدسیهٔ این نوع چشـــم‌ها همیشه در حالت کش شده می‌باشد که این خود یک فشار بالای چشم می‌باشد. چشمان بزرگ‌سالان بیشتر این نوع عیب را داشته می‌باشند. برای از بین بردن این نوع عیب، از عدسیهٔ محدب استفاده می‌نمایند، تا این‌که اشعه را در پیش روی جمع و تصویر را بالای شبکیه تشکیل د هد شکل(26-5 ب).

دوربین عکاسی

دوربیـــن عکاســـی آلهٔ اپتیکی اســـت که به کمک عدســـیهٔ محدب تصویری کوچک، ســـرچپه و حقیقی یک شـــی را می ســـازد، شکل (4-26).

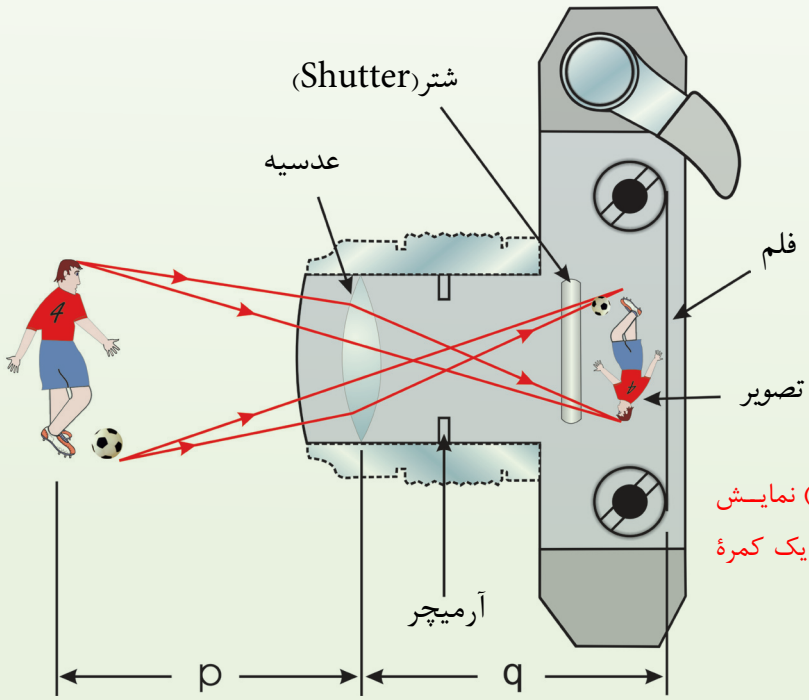
دوربین عکاســـی متشـــکل از یک حجرهٔ بســـته، عدســـیهٔ محدبی که تصویر حقیقی را تشـــکیل می‌دهد و فلمی‌در عقب عدسیه، غـــرض گرفتـــن تصویر می‌باشـــد. شـــخص دوربین عکاســـی را بـــا تغییـــر دادن فاصله بین عدســـیه و فلم تنظیم می‌نماید. تنظیم کـــردن مناســـب دوربین عکاســـی که برای تولید تصویرهای واضح ضروری اســـت تابع فاصلهٔ عدســـیه الی فلم، فاصلهٔ شی و فاصلهٔ محراقی عدسیه می‌باشد.



شکل (4-26)

الف: تشکیل تصویر در عقب عدسیه.

ب: تشکیل تصویر بالای شبکیه.



شـــکل (5-27) نمایـــش مقطع عرضی یک کمرهٔ ساده.

دریچه‌یی که درعقب عدســیه واقع می‌باشد، به نام دیافراگم یا Shtter یاد شده و برای انتخــاب وقفهٔ زمانی باز می‌گردد. یک شــخص می‌تواند از جســم‌های متحرک به وقفه‌های کوچک زمانی و یا مناظر سایه و کم نور با استفاده از این دریچه عکاسی نماید.

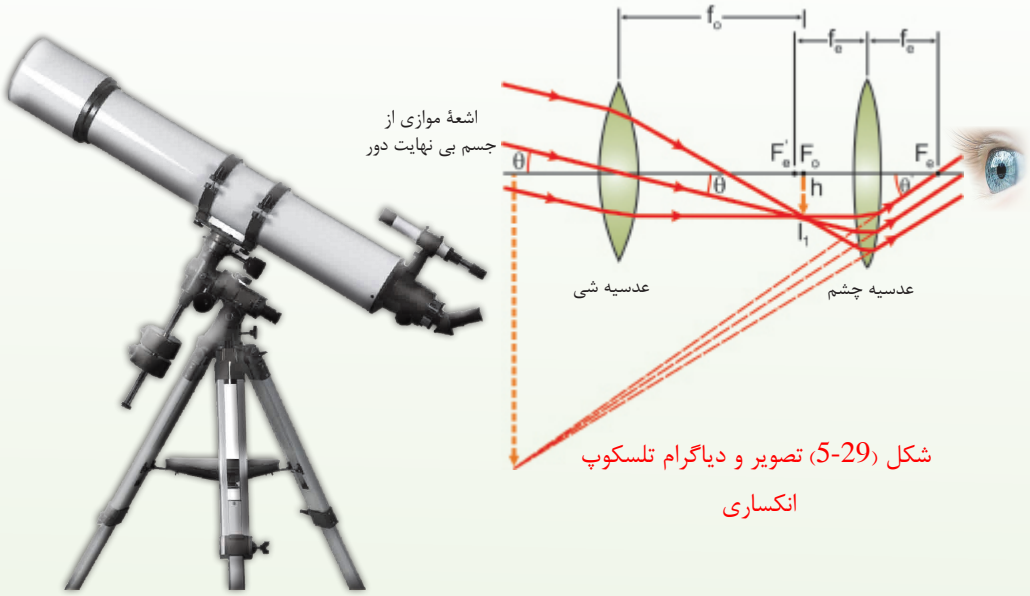
سرعت‌های معمولی دریچه، $(\frac{1}{30})s, (\frac{1}{60})s, (\frac{1}{125})s$ و $(\frac{1}{250})s$ می‌باشد.

ذره بین: اگر یک شــی در فاصلهٔ محراقی عدســیه قرار گیرد، شعاع‌های نوری متقارب نشــده بلکه طوری معلوم می شــود که از یک موقعیت در عقب عدسیه وارد شده اند. تصویر در این حالت ســر راســته و بزرگتر از اصلی شی است. این تصویر مجازی است زیرا از تقاطع امتداد یافته شــعاع‌های منکسره تشکیل می شود، شــکل (28-5) این چنین عدسیه را ذره بین می گویند.



شکل (28-5)

تلسکوپ: اساساً تلسکوپ‌ها به دو نوع اند. هر دو نوع آن برای مشاهدهٔ اشیای دور؛ مانند ستاره‌های نظام شمسی به‌کار برده می‌شوند. در یک نوع آن از عدسیه‌ها استفاده می‌شود و به اســاس انکسار فعالیت می‌نمایند، در نوع دیگر آن آیینه‌های کروی به‌کار برده می‌شوند و به اســاس انعکاس کار می‌کنند. تلسکوپی که از عدسیه‌ها ساخته شده است در شکل (5-29) نشان دادشده است.



شکل (5-29) تصویر و دیاگرام تلسکوپ انکساری

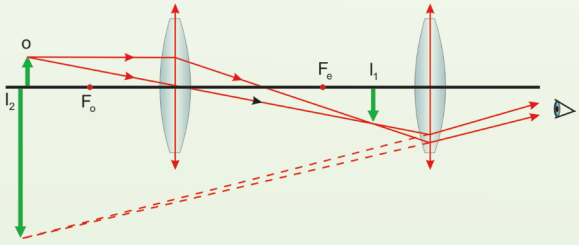
این تلســکوپ دو عدســیه دارد. عدســیه‌یی که به طرف شــی واقع اســت به‌نام عدسیهٔ شی(Objective) و عدسیه‌یی که به طرف چشم واقع است به‌نام عدسیهٔ چشم (Eyepiece) یاد می‌شــود. این دو عدســیه طوری تنظیم می‌گردد که عدسیهٔ شی از یک شی دور، تصویر حقیقی و معکوس را در نزدیک محراق عدسیهٔ چشم تشکیل بدهد. چون شی اصلاً در فاصلهٔ خیلی دور قرار دارد؛ بنابراین نقطه‌یی که در آن تصویر I_1 تشکیل می‌شود، عبارت از محراق عدسیهٔ شی می‌باشد. بعد عدسیه چشم از تصویر I_1 تصویر دیگر بزرگ و معکوس را تشکیل می‌دهد که از فاصلهٔ محراقی عدسیهٔ چشم مشاهده می‌شود.

پرسش‌ها

- درکلنیک‌های تشخیصیه، ملاریا توسط کدام آله تشخیص می‌شود؟
- آمیب را چگونه دیده می‌توانید؟

5-11: میکروسکوپ

ذره بین ساده می‌تواند اشیای کوچک را تا اندازه‌یی بزرگ نماید. مگر بزرگ ساختن اشیایی که توسط چشم قابل دید نباشد توسط میکروسکوپ صورت می گیرد. میکروسکوپ ترکیبی از دو عدسیه است: عدسیه‌یی که به شی نزدیک است به‌نام عدسیه شی یاد می‌شود و فاصلهٔ محراقی آن از $1cm$ کوچکتر می‌باشد. عدسیهٔ دیگری که به چشم نزدیک می‌باشد، به‌نام عدسیهٔ چشم یادشده و دارای فاصلهٔ محراقی چندین سانتی متر می‌باشد؛ چنانکه در شکل (5-30) نشان داده شده است، شی در نزدیک محراق عدسیهٔ شی گذاشته می‌شود که تصویر حقیقی بزرگ و معکوس را در داخل فاصلهٔ محراقی عدسیهٔ چشم تشکیل می‌دهد. عدسیهٔ چشم که به‌حیث 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، شکل (5-30).

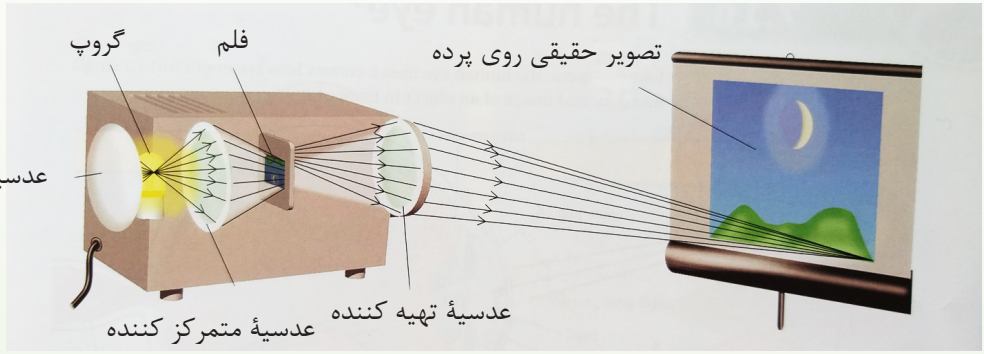




شکل(5-30): ساختمان و دیاگرام میکروسکوپ

پروجکتور

هر گاه شی در فاصلهٔ بین c و f یک عدسیهٔ محدب واقع باشد، تصویر آن حقیقی، معکوس و بزرگتر از اصل شـــی می‌باشـــد. این سیســـتم اپتیکی در پروجکتور سلایدی یا فلمی‌که در یک پارچهٔ کوچک فلم از شـــی یک تصویر بزرگ را بالای پرده تشـــکیل می‌دهد به‌کار برده می‌شـــود. برای حاصل کردن یک تصویر که به طرف بالا عمود باشـــد، باید فلم در پروجکتور به‌طرف پایین طور عمود گذاشته شود. این ساختمان اساس پروجکتورها را تشکیل می‌دهد. بنابراین، پروجکتور عبارت از آله‌یی اســـت که از فلم، شی یا سلاید، تصویر بزرگ بالای پرده تشکیل می‌دهد. شکل (31-5)



شکل (31-5) ساختمان و چگونگی کار پروجکتور



خلاصهٔ فصل

- قسمتی از یک محیط شفاف، مانند شیشه که توسط دو سطح محدود شده باشد و کم از کم یک سطح آن انحنا داشته باشد به نام عدسیه یاد می‌شود.
- عدسیهٔ باریک: عدسیه‌یی را گویند که ضخامت آن از انحنای عدسیه و یا از فاصلهٔ 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 نازکتر بوده و هر دو طرف آن‌ها محدب می‌باشد.
- در عدسیه‌های مقعر نور بعد از عبور از آن‌ها از همدیگر متباعد (دور) می‌گردند. کناره‌های این عدسیه‌ها نسبت به قسمت وسطی آن‌ها ضخیمتر و هر دو طرف آن‌ها مقعر می‌باشد.
- خطی که در یک عدسیه از مراکز دو سطح کروی (منحنی) گذشته و بر سطح مستوی عمود باشد به نام محور اصلی یاد می‌شود.
- نقطه‌یی که در وسط محور اصلی عدسیه موقعیت دارد به نام مرکز نوری عدسیه یاد می‌شود.

- فورمول عدسیه‌های باریک عبارت از: $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^-} = \frac{1}{f}$

- معکــوس فاصلــهٔ محراقی $\left(\frac{1}{f}\right)$ را قدرت یا تقارب عدســیه می‌گویند و آن را به D نشان می‌دهند، یعنی $D = \frac{1}{f}$ که واحد آن $\frac{1}{m}$ است و به نام دیوپتر یاد می‌شود.

- فورمول نیوتن در عدسیه های باریک عبارت است از: $f^2 = X \cdot X'$

- معادلهٔ ســاختن عدسیه عبارت اســت از: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ از این معادلــه برای دریافت قیمت‌های R_1 و R_2 زمانی اســتفاده کرده می‌توانیم که ضریب انکسار(n) و فاصلهٔ محراقی عدسیه (f) معلوم باشد.

- بزرگ‌نمایی عدسیه از رابطهٔ ذیل به دست می‌آید: $\gamma = \frac{I}{O} = \frac{P'}{P}$

سؤالات فصل

1. شعاع آفتاب را کدام نوع عدسیه جمع (فوکس) کرده می‌تواند.

2. زمانی‌که یک شــی در محراق عدســیهٔ محدب واقع باشــد چرا تصویر آن تشکیل نمی‌گردد؟

3. تصویر تشــکیل شده توسط یک عدسیهٔ محدب باریک را در نظر بگیرید. تحت کدام شرایط تصویر:

a. معکــوس، b. به‌طــرف بالا، c. حقیقــی، d. مجازی، e. بزرگتر از اصل شــی و f کوچکتر از اصل شی خواهد بود.

4. سؤال فوق را برای یک عدسیهٔ مقعر نازک در نظرگرفته جواب بدهید.

5. اگر یک عدسیهٔ محدب شیشه‌یی در آب گذاشته شود، فاصلهٔ محراقی عدسیه نسبت به حالتی‌که عدسیه در هوا باشد طویل خواهد شد یا کوتاه؟ چرا؟

6. اگر یک میکروسکوپ از دو عدسیهٔ محدب ساخته شده باشد، چرا تصویر معکوس تشکیل می‌دهد؟

7. در مقابل عدسیهٔ مقعری که دارای فاصلهٔ محراقی 20cm باشد، شی گذاشته شده است. برای هر فاصلهٔ ذیل شی، فاصلهٔ تصویر را دریافت نمایید و بزرگ‌نمایی تصویر را توضیح نمایید.

a) $P = 40cm$ b) $P = 200cm$ c) $P = 10cm$

8. شخصی با استفاده از عدسیهٔ محدب، بازی را در مسابقه تماشا می‌کند. فاصلهٔ محراقی عدسیه 12.5cm است. عدسیه یک تصویر مجازی را تشکیل می‌دهد که از عدسیه به فاصلهٔ 30.0cm قرار دارد. بزرگ‌نمایی عدسیه را دریافت نمایید. آیا تصویر سر راسته است و یا سرچپه؟

9. یک شی در مقابل عدسیهٔ محدبی که دارای فاصلهٔ محراقی 20.0cm می‌باشد، گذاشته شده است. برای هر فاصلهٔ ذیل شی، فاصلهٔ 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 عدسیهٔ 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 فاصلهٔ محراقی عدسیه موقعیت داشته باشد.

d. شی باید خارج فاصلهٔ محراقی عدسیه واقع باشد.

12. در میکروسکوپ‌ها کم از کم دو عدسیهٔ محدب به‌کار برده می‌شود. یکی برای شی و دومی‌برای 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؟

به سؤالات ذیل جواب دهید:

1. برای ترسیم تصویر در یک عدسیه به چند شعاع ضرورت می‌باشد؟
2. اگر یک شـــی از عدســـیه به اندازۀ فاصلۀ دو چند محراق واقع باشد، تصویر آن را رسم و چگونه گی آن‌را بیان نمایید.
3. اگرشی در محراق عدسیه واقع باشد، تصویر آن در کجا تشکیل می‌گردد؟
4. جاهای خالی جملۀ ذیل را با کلمه‌های مناسب پر نمایید.

اگر شی در بین محراق عدسیۀ محدب و $2f$ واقع باشد، تصویر آن .....، .....و خارج از..... تشکیل می‌گردد.

برق ساکن

شـــکل، شهر کابل را در شب نشـــان می‌دهد. مانند شهرهای دیگر، کابل نیز از طرف شب توسط برق تولید شده از بندهای برق یا برق جنراتوری روشن می‌گردد. امروزه اکثریت جوامع خیلی زیاد به استفاده برق نه تنها برای روشنایی؛ بلکه برای راه اندازی کارخانه ها، ماشین ها، سیستم های ارتباطی و اطلاعاتی و گرم ساختن متکی اند. در این فصل خواص اساسی چارج برقی، روش های چارجدار شدن اجسام، محاسبه قوۀ برقی، مفهوم پوتانشیل برقی و خازن ها مورد مطالعه قرار می گیرد.

در اخیر این فصل شـــاگردان خواهند توانست به پرسش‌های ذیل جواب ارایه نمایند:

1. خـــواص اساســـی چارج‌هـــای برقی چیســـت؟ و چگونـــه تغییر مکان می‌نماید؟
2. با استفاده از قانون کولمب، قوه‌های برقی بین چارج‌های برقی چگونه محاسبه می‌گردد؟
3. شدت ساحۀ برقی و خطوط شدت ساحۀ برقی چگونه بیان می‌شود؟
4. اجسام‌هادی و عایق از همدیگر چه تفاوت دارند؟



6-1: چارج برقی

آیا گاهی بعد از قدم زدن بالای یک فرش در وقت تماس دست تان با چیزی دیگر تکانی احساس کرده اید؟ و هم‌چنان دیده اید در هوای خشـــک موهای شما بعد از شانه کردن توسط یک شانۀ پلاستیکی به طرف شانه جذب می‌گردد؟

عامل چنین اتفاقاتی؛ مانند دو نمونۀ بالا چه بوده می‌تواند؟

در صنوف قبلی راجع به مســایل فوق چیز هایی آموخته اید. جذب شــدن مو توسط شانۀ پلاستیکی، تولید جرقه بر اثر کشــیدن دســت بر روی تکه های پشــمی و یا تکانی که حین تماس دست خود با دستیگر دروازه بعد از راه رفتن بالای فرش حس می کنیم به علت چارجدار شدن اجسام است. اتفاقات ذکر شــده در هوای خشک خوب صورت می‌گیرد؛ زیرا اگر هوا زیاد مرطوب باشد از جسم چارج شده زمینۀ خروج چارج‌ها مساعد می‌گردد. اجسام چگونه چارجدار می‌شوند؟

بــرای دریافــت جواب به این پرســش باید در مورد ســاختمان اتــوم یک اندازه معلومات داشــته باشــیم. تمــام اشــیای اطــراف ما از اتوم‌ها ســاخته شــده اند. هر اتــوم از ذرات کوچک تشــکیل گردیــده کــه عبارت از پروتــون، نیوترون و الکترون می‌باشــد. پروتون‌ها دارای چــارج مثبت اند و نیوترون‌هــا از نظــر چارج خنثی می‌باشــند و در مرکز اتوم (هســته) قرار دارنــد. الکترون‌ها دارای چــارج منفی بوده و در اطراف هســتۀ اتــوم (مدارها) در حال حرکت می‌باشــند بنجامین فرنکلین (Banjamin Franklin)، کــه در 1706-1790 زندگی می‌کرد. بالای چارج‌ها نام‌های مثبت و منفی را گذاشته است. این نام‌ها محض قرار دادی استند.

در مورد اتوم‌ها شــما در سال‌های آینده به‌صورت مفصل بحث خواهیدکرد. پروتون‌ها و نیوترون‌ها در هستۀ اتوم در موقعیت‌های خود نسبتاً ثابت اند، مگر الکترون‌ها می‌توانند از یک اتوم به اتوم دیگر نقل مکان نمایند.

تا زمانی‌که الکترون‌ها در یک اتوم توسط پروتون‌های مساوی در حال توازن قرار گرفته باشند، پس اتوم به صورت کل خنثی و چارج مجموعی آن صفر است. مگر زمانی‌که الکترون‌ها از یک اتوم خنثی به اتوم دیگر نقل مکان نمایند، پس اتوم اولی چارج منفی را از دست می‌دهد و دارای چارج مثبت می‌شود و اتوم دومی‌که الکترون‌ها به آن انتقال کرده است دارای چارج منفی می‌گردند. اتوم‌های که دارای چارج مثبت یا منفی باشند به‌نام آیون یاد می‌شوند.

موهای شما و شانه دارای تعداد زیاد اتوم‌های خنثی می‌باشند. مگر این یک خواست طبیعی چارج‌ها اســت که بین مواد مختلف تغییر مکان نمایند. هر گاه دو جســم را بایکدیگرمالش بدهیم (طور مثال شانه و موها) در بین آن‌ها سطح تماس (مالش) زیاد گردیده و زمینۀ تغییر مکان چارج مساعد می‌شود.

زمانی‌که شـــانه با موهای شـــما مالش داده می‌شـــود؛ الکترون‌های موهای شـــما به شانه تغییر مکان می‌نماید و به این ترتیب شانه منفی و موها مثبت چارج می‌شود.
در این تجربه و تجارب مشـــابه دیگر تنها مقدار اندک چارج‌ها از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌نماینـــد. باید دقت شـــود که همان اندازه چارج منفی که به شـــانه تغییر مـــکان 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 اندازۀ مساوی از یک جسم به جسم دیگر تغییر مکان می‌یابد که این موضوع را قانون تحفظ چارج گویند.

6-1-1: اجسام هادی و عایق

مواد را می توان از لحاظ قابلیت انتقال چارج برقی دسته بندی نمود.
هر گاه پلاستیک، رابر، شیشه و ابریشم توسط مالش چارج شوند در این اجسام چارج‌ها از همان قسمتی که چارج شده است به طرف دیگر حرکت نمی توانند؛ ولی بر عکس اگر بعضی اجسام دیگر؛ مانند مس، المونیم و نقره 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 المونیم، ازجمله اجســـام‌هادی اند و اجســـامی‌که در آن چارچ‌های برقی به‌طور آزاد حرکت کرده نتوانند به‌نام اجسام عایق برق یاد 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 اجســـام خالص باشند؛ مانند اجسام عایق اند و اگر در این اجسام ناخالصی به‌وجود بیاید و بعضی اتوم‌های خاص بیگانه در آن داخل گردند؛ پس خاصیت هدایت برقی آن زیاد می‌شود.

طریقه های چارج کردن اجسام

1 – طریقه تماس

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 چارج خواهند گردید 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 شیشـــه‌یی قرار فوق چارج شـــوند؛ پس هر دو میله یکدیگرِ را دفع می‌نمایند، یعنی دارای چارج مشابه اند. در این مثال‌ها شیشه، رابر، ابریشم و پشم تماما اجسام عایق اند. حال پرســـش به‌وجود می‌آید که آیا اجســـام‌هادی 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

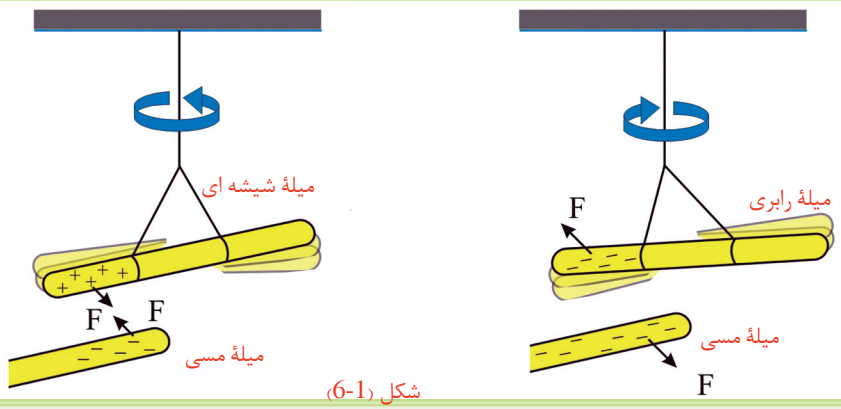
یک میلهٔ شیشه‌یی، میلهٔ رابری، میلهٔ مسی، ابریشم، پشم یا پر

طرزالعمل

میلهٔ شیشه‌یی را با ابریشم و میلهٔ رابری را با پشم مالش دهید. طوری‌که قبلاً ذکر گردید یک میله مثبت و دیگر آن منفی چارج خواهد شد.

میلهٔ مسی را با پشم مالش دهید بعد آن‌را به میلهٔ شیشه‌یی و میلهٔ رابری نزدیک سازید، ببینید که چه واقع می‌شود؟

مرتبهٔ دیگر، میلهٔ مسی با دستهٔ عایق را با پشم مالش دهید و بعد آن‌را به میلهٔ شیشه‌یی و رابری نزدیک سازید و ببینید که چه واقع می‌شود؟



شکل (1-6)

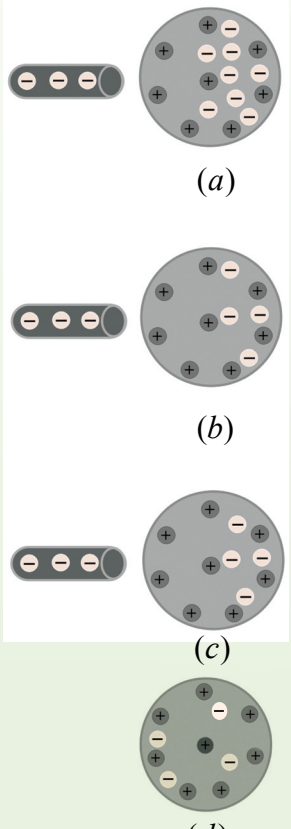
در حالت اول که میلهٔ مسی را به میله‌های شیشه‌یی و رابری نزدیک می‌نمایید، ممکن است هیچ کدام را جذب یا دفع نکند؛ مگر در حالت دوم میلهٔ مسی را که دارای دستهٔ عایق است به هر دو میله نزدیک نمایید، میلهٔ شیشه‌یی را جذب و میلهٔ رابری را دفع می‌نماید. علت آن چه بوده می‌تواند؟

ممکن است شما فکر نمایید که میلهٔ مسی در حالت اول به اثر مالش چارج دار نمی‌گردد، مگر در حالت دوم چارج دار می‌شود.

این موضوع را چنین توضیح می‌نماییم. در حالت اول نیز میلهٔ مسی چارج دار می‌شود، مگر چارج‌های آن از طریق بدن شما و زمین که هر دو هدایت کننده‌های خوب هستند در اسرع وقت حرکت می‌نمایند. در حالت دوم که دستهٔ میلهٔ مسی عایق است چارج‌ها از میله حرکت کرده نمی‌توانند و به همین سبب، میلهٔ مسی، میلهٔ شیشه‌یی را جذب می‌نماید و میلهٔ رابری را دفع می‌کند، یعنی در این حالت میلهٔ مسی چارج دار است.

در این جا واضح می‌شود که اجسام عایق وهادی هر دو از طریق تماس چارج دار شده می‌توانند.

2-طریقه القا



شکل (2-6)

هرگاه یک میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی به یک کرهٔ خنثی و چارج ناشده نزدیک گردد، بین چارج‌های منفی میله و چارج‌های منفی کره، قوهٔ دفع اثر نموده در نتیجهٔ آن چارج‌های منفی کره به طرف مقابل (عقب) حرکت می‌نمایند، طوری‌که در شکل ($2,a-6$) نشان داده شده است. اگر کره توسط یک سیم‌هادی با زمین وصل گردد؛ چنانکه در شکل($2,b-6$)نشان داده شده است، یک تعداد الکترون‌ها به زمین حرکت خواهند کرد. حالا اگر سیم‌هادی برداشته شود و میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی به جای خود نگهداشته شود؛ طوری‌که در شکل ($2,c-6$) نشان داده شده است، در این حالت کره دارای تعداد بیشتر چارج‌های مثبت القایی می‌باشد. حال اگر میلهٔ رابری چارج شدهٔ منفی دور شود، چارج‌های مثبت القا شده در کره باقی می‌ماند و چنانکه در شکل($2,d-6$) نشان داده شده است، این چارج‌های القایی در بالای سطح کره به طور متناظر توزیع می‌گردند.این عملیه را القا گویند و این چارج‌ها به‌نام چارج‌های القایی یاد می‌شوند.

در این جا باید متوجه بود جسمی‌که به واسطهٔ القا چارج دار می‌شود، با جسم القا کننده (میلهٔ رابری) تماس نمی‌کند؛ بلکه با جسم سومی

(زمیـــن) تماس می‌نمایـــد. میلهٔ رابری چارج‌های منفی خود را از دســـت نمی‌دهد؛ زیرا که با کره در تماس نیست. در این طریقه دو جسم با یکدیگر تماس حاصل نکرده و انتقال مستقیم چارج‌ها در آن صورت نمی‌گیرد.

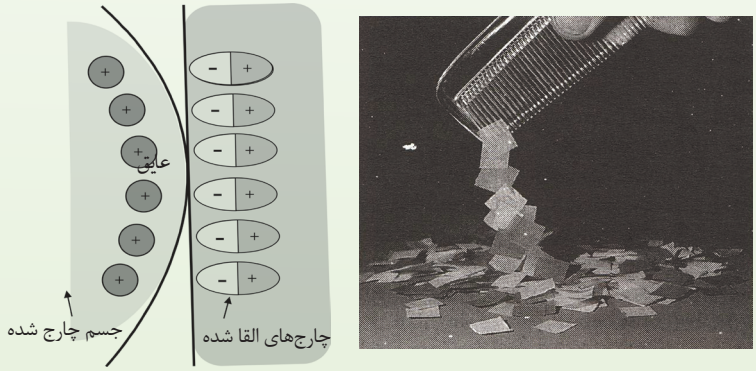
به وسیلهٔ قطبی شدن چارج ها نیز می‌توان بر روی سطح یک جسم عایق چارج القایی تولید کرد. قبلاً دیدیم که توسط شانهٔ پلاستیکی چارج شده پارچه‌های کاغذ جذب می‌شد، شکل (6-3a). سبب آن چه بوده می‌تواند؟

یک عملیهٔ مشـــابه به چارج شـــدن القایی اجسام‌هادی وجود دارد که به وسیلهٔ آن اجسام عایق چارج شـــده می‌توانند. در اکثر اتوم‌ها و مالیکول‌های خنثـــی مراکز چارج‌های مثبت و منفی بالای یکدیگر منطبق می‌باشد. در صورت موجودیت یک جسم چارج دار در نزدیک جسم عایق این مراکز ازیکدیگر فاصله می‌گیرند و در نتیجه به یک طرف مالیکول‌های آن چارج‌های مثبت بیشتر نسبت به طرف دیگر آن قرار می‌گیرند. این عملیه به‌نام پولیرایزیشن یا قطبی شدن یاد می‌شود.

وقتی‌که این حالت چارج‌ها در هر مالیکول به‌وجود آید، در این صورت بالای ســـطح عایق یک چارج القایی تولید می‌گردد، چنانکه در شکل (6-3b) نشان داده شده است.

وقتی‌که یک جسم قطبی شود با وجود این‌که چارج محصلهٔ آن صفر است مگر با آنهم می‌تواند چارج‌ها را جذب یا دفع نماید.

به همین دلیل است که اگر یک شانه پلاستیکی که جسم عایق است به پارچه‌های کاغذ نزدیک شود آن‌را جذب می‌نماید. در این جا باید متوجه بود که مانند چارج شدن توسط عملیهٔ القا، درقطبی شدن نیز بالای سطح یک جسم، چارج‌ها بدون تماس فزیکی القا می‌گردد.



b a

شکل (6-3)

سؤالات

1 - وقتی‌که یک میلهٔ رابری با تکهٔ پشمی‌مالش داده شود، میلهٔ منفی چارج خواهد شد. در این حالت در مورد چارج تکهٔ پشمی چه گفته می‌توانید؟

2 - چرا فلزاتی مانند مس، نقره و غیره توسط القا چارج می‌گردد، درحالی‌که اجسام عایق مانند پلاستیک چارج شده نمی‌توانند؟ توضیح نمایید.

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 به‌نام قوهٔ برقی یاد می‌شود. این‌که این قوه چقدر بزرگ و یا کوچک است، آن را در قانون کولمب مطالعه خواهیم کرد.

قانون کولمب

قوهٔ برقی بین دو جسم چارجدار با مقدار چارج اجسام و فاصله بین شان چگونه رابطه دارد؟ در سال 1785 چارلس کولمب غرض تعیین مقدار قوه بین دو جسم چارج شده، تعداد زیاد تجارب را انجام داد. کولمب در یافت که قوهٔ برقی بین دو جسم چارج دار مستقیما متناسب به حاصل ضرب چارج است، یعنی هر گاه یک چارج دو چند شود قوهٔ برقی نیز دو برابر می‌شود و اگر چارج دوم نیز دو چند گردد پس قوهٔ برقی چهار برابر می‌شود. کولمب این را هم در یافت که قوهٔ برقی بین دو چارج معکوساً متناسب به مربع فاصله بین آن‌ها است، یعنی هر گاه فاصله بین دو چارج نیم گردد، قوهٔ برقی چهار برابر زیاد می‌شود. رابطهٔ که به‌نام قانون کولمب یاد می‌شود. برای دو چارج که به فاصلهٔ r از همدیگر واقع باشند، رابطهٔ ریاضیکی این قانون چنین است.

$$\text{قوهٔ برقی} = (\text{ثابت کولمب}) \frac{(\text{چارج اول})(\text{چارج دوم})}{(\text{فاصله})^2}$$

و یا:

$$F_{electric} = K_c(\frac{q_1 q_2}{r^2})$$

در رابطه فوق ضریب K_c به نام ثابت کولمب یاد می شود. مقدار ثابت کولمب در واحدات SI برابر است یا

$$K_c = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cong 8.988 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

ثابت کولمب K_c معمولاً به طور $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ نیز می نویسند. ε_0 (اپسیلون صفر) به عنوان ضریب نفوذ پذیری برقی خلا شناخته شده و مقدار آن تقریباً $\varepsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ است.

قانون کولمب شباهت قابل ملاحظه‌یی با قانون جاذبه نیوتن دارد.

$$F_g = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

قوۀ برقی همیشه در امتداد خط مستقیمی عمل می‌کند که مراکز دو چارج را باهم وصل می‌نماید. قابل یاد آوری است که قانون کولمب تنها بالای چارج‌های نقطه‌یی و 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 فاصله بین چارج ها عبارت از فاصله بین مراکز کره‌ها می‌باشد.

مثال اول: در اتوم‌هایدورجن الکترون و پروتون توسط فاصلهٔ ($5\cdot3\times10^{-11}m$) از همدیگر جدا شده اند. مقدار قوهٔ برقی و مقدار قوهٔ جاذبه را که این دو ذره بالای یکدیگر وارد می‌نمایند در یافت نمایید.

کمیات معلوم	کمیات مجهول
$r = 5.3\times10^{-11}\,m$	$F_{electric} = ?$
$k_c = 8.99\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2}$	$F_g = ?$
$m_e = 9.109\times10^{-31}\,kg$	
$m_p = 1.673\times10^{-27}\,kg$	
$q_e = -1.60\times10^{-19}\,C$	
$q_p = +1.60\times10^{-19}\,C$	
$G = 6.673\times10^{-11}\ \frac{N\,m^2}{kg^2}$	

حل: برای دریافت مقدار قوهٔ برقی از قانون کولمب استفاده می‌نماییم، یعنی:

$$F_{electric} = k_c\ \frac{q_1\,q_2}{r^2}$$

هم‌چنان برای در یافت مقدار قوهٔ جاذ به‌یی از قانون نیوتن استفاده می‌نماییم، یعنی:

$$F_g = G\ \frac{m_e\,m_p}{r^2}$$

در این جا مقصد ما جاذبهٔ حرکت دایروی است.

کمیات معلوم را در این معادلات وضع می کنیم و زمانی که اندازهٔ قوهٔ برقی را در یافت می‌نماییم از علامت‌های چارج‌ها صرف نظر می‌نماییم؛ بنابراین:

$$F_{electric} = k_c\ \frac{q_e\,q_p}{r^2} = (8.99\times10^{9}\ \frac{N\cdot m^2}{C^2})\left(\frac{(1.6\times10^{-19})^2}{(5.3\times10^{-11}m)^2}\right)$$

$$F_{electric} = 8.2\times10^{-8}\,N$$

$$F_g = G\ \frac{m_c\ m_p}{r^2} = (6.673\times10^{-11}\ \frac{N\cdot m^2}{kg^2})\left(\frac{(9.109\times10^{-31}kg)(1.673\times10^{-27}kg)}{(5.3\times10^{-11}\,m)^2}\right)$$

$$= 3.6\times10^{-47}\,N$$

چــون الکترون و پروتــون دارای علامت‌های مخالف اند، پس قوۀ برقی بین آن‌ها عبارت از قوۀ جذب می‌باشد. اگر نسبت بین این دو قوه را مطالعه نماییم؛ پس:

$$\frac{F_{electric}}{F_g} = \frac{8.2\cdot10^{-8}\,N}{3.6\cdot10^{-47}\,N} = 2\times10^{39}$$

از این جا معلوم می‌شود که قوۀ جاذبوی نیوتن نسبت به قوۀ برقی خیلی کوچک و قابل صرف نظر می‌باشــد؛ چون این هر دو قوه معکوساً متناسب با مربع فاصله اند؛ بنابراین نسبت این دو قوه مربوط به فاصله نمی‌باشد.

مثال دوم

دو ذره بــا چارج‌های برقی $q_1 = +2\mu C$ و $q_2 = +5\mu C$ بــه فاصلۀ $3cm$ از همدیگر قرار دارنــد. 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:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q_1\,q_2}{r^2}$$

$$F = 9\times10^{9}\frac{N\,m^2}{C^2}\;\frac{(2\times10^{-6})(5\times10^{-6})C^2}{9\times10^{-4}\,m^2} = 100N$$

چــون ذرات چــارج دار، دارای چارج‌های هم نوع اند؛ بنابراین قوه‌یــی را که هر دو ذره بالای یکدیگر وارد می‌نماید قوۀ دفع است.

تمرین

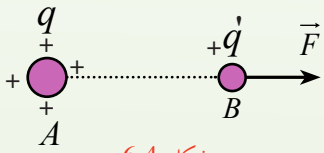
درمثال فوق قوۀ وارده را بالای q_1 حساب نمایید.

6-3: ساحهٔ برقی

قوهٔ جاذبه و قوهٔ برقی هر دو قوه های ساحوی اند. زمانی‌که یک چرخ را تیله می‌کنید یا توپی را با پای خود ضربه می‌زنید، بالای آن ها قوه وارد کرده اید. این قوه ها تماسی گفته می‌شوند؛ زیرا دست شما با چرخ و پای شما با توپ تماس فزیکی دارند. اگر بین اشیای عمل کنندهٔ متقابل هیچ نوع تماس وجود نداشته باشد، قوه‌های ساحوی بین آن‌ها اثر می‌نماید.

تعجیل جاذبوی زمین (g)در یک نقطهٔ فضا مساوی به حاصل تقسیم قوهٔ جاذبهٔ زمین (f_g) بالای کتلهٔ (m) ذرهٔ امتحانی است، یعنی $g = \frac{f_g}{m}$ هم چنان در اطراف یک چارج برقی ساحهٔ برقی وجود دارد. هر گاه یک شی یا چارج امتحانی، در ساحهٔ این چارج آورده شود بالای آن قوهٔ برقی عمل می‌نماید.

فرض نمایید که یک کرهٔ کوچک با چارج $q+$ مطابق شکل (6-4) در نقطهٔ A قرار دارد. هر گاه ذرهٔ دیگری با چارج $q'+$ را در نقطهٔ B قرار دهیم، ازطرف چارج $q+$ بالای آن قوهٔ $\vec{F}$ وارد می‌شود. (می‌دانیم که چارج $q'+$ نیز بالای q قوه‌یی وارد می‌نماید که عکس‌العمل قوهٔ $\vec{F}$ می‌باشد.



شکل (6-4)

حال در مورد پرسش‌های ذیل فکر نمایید.

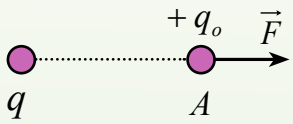
هر گاه کرهٔ چارج دار q را از نقطهٔ A بر داریم (شکل 4-5)، آیا در نقطهٔ B بالای چارج q' قوه عمل می‌نماید؟ هر گاه چارج q' در نزدیک A در هر موقعیت گذاشته شود آیا باز هم بالای آن قوهٔ برقی عمل می‌نماید؟

با در نظر داشت گفته‌های فوق می‌توانیم بگوییم که: یک چارج برقی در هر نقطهٔ اطراف فضای خود خاصیتی را به‌وجود می‌آورد که به‌نام 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.

6-3-1: تعریف ساحهٔ برقی

هر گاه چارج نقطه‌یی $+q_o$ مطابق شـکل (6-5) در ساحهٔ برقی چارج q ساحه برقی در یک نقطهٔ معین مسـاوی اسـت با قوهٔ برقی وارده بالای چارج (چارج امتحانی) در همان نقطه بر واحد چارج برقی 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)

ساحهٔ برقی کمیت وکتوری است. واحد ساحهٔ برقی نیوتن بر کولمب $(\frac{N}{C})$ است.

مثال: در ساحهٔ برقی چارج q بالای یک چارج برقی $+0.2\mu C$، قوهٔ $5\times10^{-2}N$ عمل می‌نماید. ساحهٔ برقی را در این نقطه محاسبه نمایید.

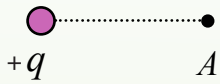
حل: از اربطهٔ $E = \frac{F}{q}$ می‌توانیم ساحهٔ برقی را دریافت نماییم.

$$E = \frac{5\times10^{-2}\,N}{2\times10^{-7}\,C}$$

$$= 2.5\times10^{5}\,\frac{N}{C}$$

ساحهٔ برقی یک ذرهٔ چارج دار

می‌خواهیم ساحهٔ برقی یک ذرهٔ چارج دار q را در نقطهٔ A که از q به فاصلهٔ r واقع است محاسبه نماییم، شکل (6-6). برای این کار از رابطهٔ $(E = \frac{F}{q})$ استفاده می‌نماییم. هرگاه در نقطهٔ A ذرهٔ چارج دار $+q_0$ قرار گیرد، از طرف چارج q بالای آن قوهٔ $\vec{F}$ وارد می‌شود. با استفاده از قانون کولمب مقدار قوه را حساب کرده و در رابطه (1) باگذاشتن قیمت آن ساحهٔ برقی چارج q را در نقطهٔ A پیدا می‌کنیم.



شکل (6-6)

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_O}\frac{q\ q_o}{r^2} \quad \text{.....(1)}$$

$$E = \frac{F}{q_o}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_O}\frac{q}{r^2} \quad \text{.....(2)}$$

از رابطهٔ فوق معلوم می‌شود که ساحهٔ 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 جهت ساحه در یک نقطه به‌طور مثال نقطهٔ A فرض می‌نماییم که در نقطهٔ متذکره یک چارج مثبت قرار دارد. در این نقطه ساحه، دارای جهت قوهٔ 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 نمایید که:

الف) از چارج به فاصلهٔ 2mm قرار داشته باشد.

ب) از چارج به فاصلهٔ 20cm قرار داشته باشد و برای یک حالت وکتور ساحه را ترسیم نمایید.

حل: با استفاده از رابطهٔ (2) می‌توانیم مقدار ساحهٔ برقی را در نقطهٔ مورد نظر دریافت نماییم.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_O}\ \frac{q}{r^2}$$

الف)

$$E_1\ 9\times10^9\ \frac{N\cdot m^2}{C^2} \times \frac{2\times10^{-6}\,C}{4\times10^{-6}\,m^2}$$

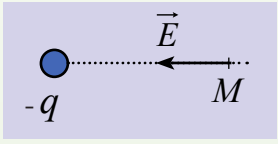
$$= 4.5\times10^9\ \frac{N}{C}$$

ب)

$$E_2\ 9\times10^9\ \frac{N\cdot m^2}{C^2} \times \frac{2\times10^{-6}C}{4\times10^{-2}\,m^2}$$

$$= 4.5\times10^5\ \frac{N}{C}$$

غرض ترسیم جهت ساحه فرض می‌نماییم که به فاصلهٔ 2mm از چارج q در نقطهٔ M یک چارج امتحانی مثبت قرار دارد؛ چون چارج q منفی است، چارج فرض شدهٔ مثبت را جذب می‌نماید، پس ساحهٔ چارج q نیز دارای همین جهت قوه است؛ چنانکه در شکل (7-6) نشان داده شده است.



شکل (7-6)

ساحهٔ برقی حاصل شدهٔ یک تعداد ذرات چارج دار

قانون کولمب فقط عمل متقابل بین دو چارج نقطه‌یی را توصیف می کند. تجربه ها نشان می دهند که وقتی چندین چارج همزمان قوه هایی بر یک چارج وارد کنند، قوهٔ محصله وارده بر آن چارج مساوی است با حاصل جمع وکتوری قوه‌هایی‌که هر یک از چارج ها به طور مجزا بر آن وارد می کنند. این خاصیت به نام اصل بر هم نهی (سوپر پوزیشن) قوه ها یاد می شود.

طور مثال غرض محاسبهٔ ساحهٔ برقی در نقطهٔ p فضا اول ساحه‌های تولید شده توسط هر چارج را به صورت جداگانه با استفاده از معادلهٔ $E = \frac{1}{4\mu\varepsilon_o} \cdot \frac{q}{r^2}$ محاسبه کرده و بعد آن‌ها را به‌صورت وکتوری جمع می‌کنیم.

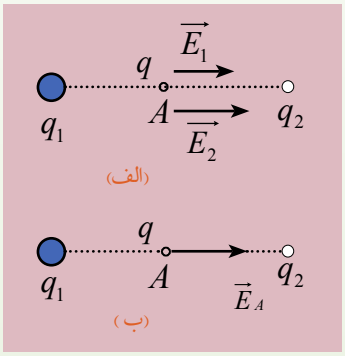
مثال: دو ذرهٔ چارج دار $q_1 = +4\mu C$ و $q_2 = -6\mu C$ از یکدیگر خود به فاصلهٔ 8cm واقع اند. ساحهٔ برقی را در نقاط ذیل در یافت نمایید.

الف) در قسمت وسط خط اتصال دهندهٔ هر دو ذره.

ب) در همان نقطهٔ خط اتصال دهندهٔ هر دو ذره که از چارج q_2 به فاصلهٔ 2cm و از چارج q_1 به فاصلهٔ 10cm واقع باشند.

حل: ساحهٔ برقی هر ذرهٔ چارج دار را به صورت جدا گانه محاسبه می‌نماییم. ساحهٔ محصله، مجموعهٔ ساحه‌های هر دو چارج خواهد بود.

الف) هرگاه یک چارج مثبت را در نقطهٔ A قرار دهیم، چارج q_1 آن‌را دفع می‌نماید و چارج q_2 آن‌را جذب می‌کند؛ بنابر این در نقطهٔ A، ساحه‌های $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ دارای عین جهت می‌باشند و به‌طرف چارج q_2 است، (اشکال6-8 الف و ب).



شکل (8-6)

$$E = k\frac{q}{r^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9 \frac{N\,m^2}{C^2} \times \frac{4\times10^{-6}C}{(4\times10^{-2}m)^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \times \frac{10^{-2}C}{4m^2} = 2.25\times10^7 \frac{N}{C}$$

$$E_2\ 9\times10^9 \frac{N\,m^2}{C^2} \times \frac{6\times10^{-6}C}{16\times10^{-4}m^2}$$

$$E_2 = 3.375\times10^7 \frac{N}{C}$$

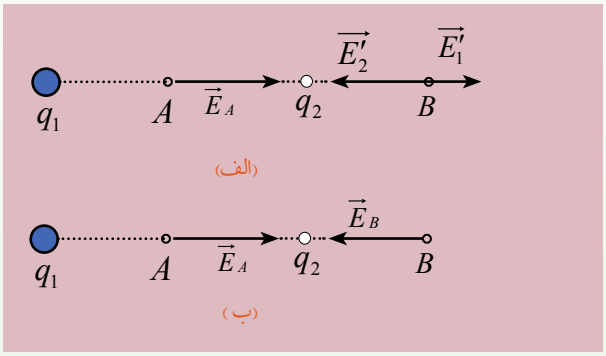
چون $\vec{E}_2$, $\vec{E}_2$ داری عین جهت اند، حاصل جمع آن‌ها مساوی به ساحهٔ محصله می‌باشد. به خاطر داشته باشید که در نقطهٔ A تنها ساحهٔ $\vec{E}_A$ وجود دارد.

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_A = 2.250 \cdot 10^7 \, N/C + 3.375 \cdot 10^7 \, N/C$$

$$E_A = 5.875 . \ 10^7 \frac{N}{C}$$

ب) هرگاه یک چارج مثبت را در نقطهٔ B قرار دهیم، چارج q_1 آن را دفع و چارج q_2 آن را جذب می‌نماید. در نتیجه جهت E'_2 به طرف چارج q_2 و جهت E'_1 بر خلاف آن می‌باشد، (شکل 14).



شکل (9-6)

$$E'_1 = 9\times10^9 \frac{N\,m^2}{C^2} \times \frac{4\times10^{-6}\,C}{(10\cdot10^{-2}\,m)^2}$$

$$= 3.60\times 10^6 \frac{N}{C}$$

$$E'_2 = 9\times10^9 \frac{N\,m^2}{C^2} \times \frac{6\times10^{-6}\,C}{4\times10^{-4}\,m^2}$$

$$E'_2 = 1.35 \times 10^8 \frac{N}{C} = 135.0\cdot10^6 \frac{N}{C}$$

چون $\vec{E}'_1$ او $\vec{E}'_2$ دارای جهت‌های مخالف اند، پس ساحهٔ محصله، مساوی به حاصل تفریق آن‌ها است.

$$\vec{E}_B = \vec{E}'_2 - \vec{E}'_1$$

$$E_B = E'_2 - E'_1 = 131.4\times10^6 \frac{N}{C}$$

6-3-2: خطوط ساحه برقی

ساحهٔ برقی اطراف یک جسم چارج دار را توسط خطوطی نشان می‌دهیم که به نام خطوط ساحهٔ برقی یاد می‌شود. این خطوط دارای مشخصات ذیل می‌باشند:

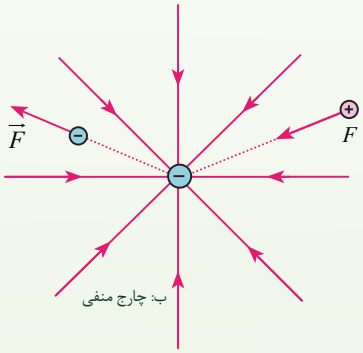
1 - خطوط ساحه در هر نقطه، دارای جهت قوه‌یی می‌باشد که در همان نقطه بالای یک چارج واقع شدهٔ مثبت وارد می‌گردد. درنتیجه، جهت این خطوط از چارج مثبت به‌طرف خارج و برای چارج منفی به داخل آن است. (قوهٔ وارد، بالای چارج منفی جهت مخالف ساحه را دارا است).

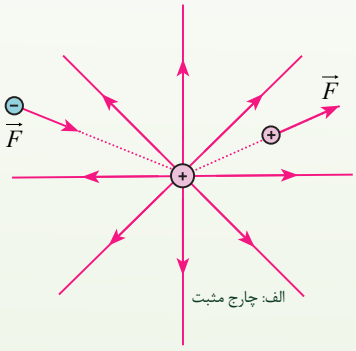
2 - خط ساحه در هر نقطه، جهت ساحه را در همان نقطه نشان می‌دهد و ساحه در هر نقطه وکتوری است که در همان نقطه با خط ساحه مماس و جهت آن‌را دارا است.

3 - در هر محل که ساحه قوی باشد در آن‌جا خطوط ساحه با یکدیگر نزدیک واقع اند.

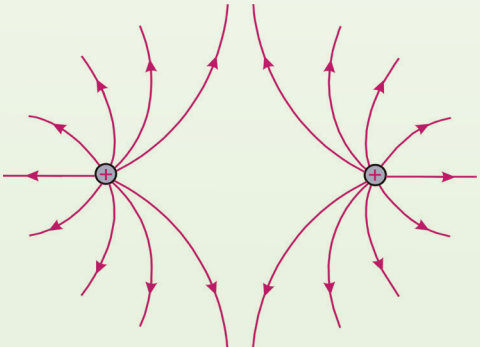
4 - خطوط ساحه یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه صرف یک خط عبور می‌کند.

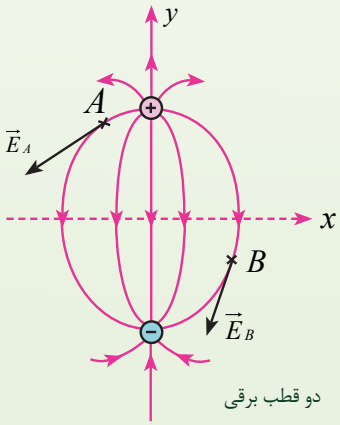
درشکل (6-10) خطوط ساحه برای چارج های مثبت و منفی نشان داده شده است.





شکل (6-10)


دو چارج برقی مثبت هم اندازه



دو قطب برقی

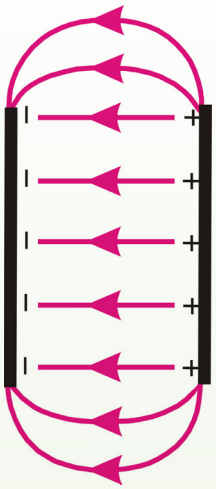
حرکت ذرات چارج دار در یک ساحهٔ منظم برقی

هر گاه یک ذره با چارج q و کتلهٔ m در یک ساحهٔ برقی واقع گردد، قوهٔ برقی $\vec{qE}$ 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 این‌جا تعجیل ذره عبارت است از:

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$



شـکل (11-6) سـاحهٔ بین دوهادی موازی با چارج‌های هم اندازه

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 ساحهٔ خارجی $4\times10^4 \frac{N}{C}$ قرار می‌دهیم. تعجیلی را محاسبه نمایید که ذره در اثر قوهٔ برقی وارده حاصل می‌نماید.

حل:

$$F = q\,E$$

چون داریم که:

$$F = 2\times10^{-6}\,C \times 4\times10^4 \frac{N}{C}$$

$$= 8\times10^{-2}\,N$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{8\times10^{-2}\,N}{2\times10^{-3}\,kg}$$

$$a = 40\ m/sec^2$$

6-4: پوتانشیل برقی

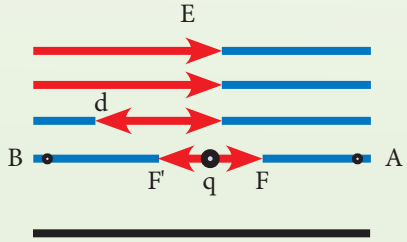
شما با انرژی پوتانشیل ساحهٔ جاذبوی زمین آشنا استید و این را نیز مشاهده کردید که با مصرف انرژی واجرای کار می‌توانیم جسمی‌با کتلهٔ m را از سطح زمین به ارتفاع h بلند نماییم. همان انرژی که برای بلند کردن جسم (با سرعت ثابت) به مصرف می‌رسد به شکل انرژی پوتانشیل جاذبه در جسم ذخیره می‌گردد. با انرژی پوتانشیل کشش فنر نیز آشنا استید، یعنی هر گاه فنری را آهسته آهسته منقبض نماییم یا آن‌را انبساط دهیم و کش نماییم، کار اجرا شده به شکل انرژی پوتانشیل در فنر ذخیره می‌شود. حال می‌خواهیم با انرژی پوتانشیل برقی آشنا شویم.

درقسمت اول این فصل دیدیم که دو ذرهٔ چارج دار بالای یکدیگر قوه وارد می‌نمایند و شما دیدید که بین دو چارج هم علامت قوهٔ دفع و بین دو چارج با علامت‌های مختلف قوهٔ جذب عمل می‌نماید. اگر دو چارج با عین علامت را داشته باشیم و آن‌ها را به یکدیگر نزدیک نماییم، لازم است که به‌خاطر غلبه بالای قوهٔ دفع بین آن‌ها کاری انجام دهیم و هم‌چنان هر گاه خواسته باشیم دو چارج با علامت‌های مختلف را ازیکدیگر با سرعت ثابت دور نماییم، پس به‌خاطر غالب شدن بالای قوهٔ 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: ذرهٔ چارج دار مثبت q را با سرعت ثابت در بین یک ساحهٔ منظم برقی $\vec{E}$ (یعنی ساحهٔ که وکتور ساحه در هر محل عین چیز باشد)در جهت مخالف ساحه و موازی با خطوط ساحه به فاصلهٔ d تغییر مکان می‌دهیم. برای این تغییر مکان چه مقدار کار باید اجرا شود؟

حل: ساحهٔ برقی بالای چارج $+q$ در جهت ساحه، قوهٔ $F = qE$ را وارد می‌نماید. برای این‌که ذرهٔ q را با سرعت ثابت در جهت مخالف تغییر مکان دهیم، باید بالای آن قوهٔ $F' = qE$ در جهت مخالف ساحه، یعنی در جهت تغییر مکان وارد نماییم شکل (6-12). بنابراین زاویه بین قوهٔ وارده (یعنی F') و تغییر مکان $(\vec{d})$ صفر است. کاری که بالای چارج انجام می شود مساوی است به:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos\propto$$
$$W = q \cdot E \cdot d \cos 0^\circ$$
$$W = qE \cdot d$$



شکل (6-12)

کاری انجام شده 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 انرژیِ مصرف شده زیاد می‌شود و در نتیجه انرژی پوتانشیل برقی چارج تزاید می‌نماید و این عیناً مشابه به حالتی است که ما یک جسم را به روی سطح زمین از یک نقطه به نقطهٔ مرتفع دیگر انتقال می‌دهیم و در انرژی پوتانشیل جاذبوی آن تزاید به‌عمل می‌آید. اگر چارج برقیq در نقطهٔB رها گردد، در جهت ساحه حرکت کرده و انرژی پوتانشیل برقی آن به انرژی حرکی تبدیل می‌شود. این حالت مشابه به آن است که یک جسم از نقطهٔ مرتفع زمین رها گردد و به‌طرف پایین حرکت نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل جاذبوی آن کاهش نموده و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

مثال:

چارج برقی منفیq را در یک ساحهٔ برقی منظمE با سرعت ثابت درجهت ساحه به فاصلهٔ d از A به B تغییر مکان می‌دهیم. کاری را که در این تغییر مکان انجام می‌شود محاسبه نمایید.

حل: از طرف ساحه قوهٔ $F = q\,E$ در جهت مخالف ساحه بالای چارج منفی برقی وارد می‌شود. در نتیجه به خاطر تغییر مکان چارج q با سرعت ثابت باید قوهٔ $F' = q\,E$ در جهت ساحه، یعنی در جهت تغییر مکان بالای آن وارد گردد، کاری که 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 مثبت است و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج q ذخیره می‌شود. هرگاه چارج q در نقطهٔ B رها گردد، در جهت مخالف ساحه به حرکت شروع می‌نماید. در این حالت از انرژی پوتانشیل برقی آن کاسته شده و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

از این مثال‌ها نتیجه می‌شود که کار اجرا شده بالای چارج‌ها مثبت بوده و انرژی مصرف شده به شکل انرژی پوتانشیل برقی در چارج q ذخیره می‌شود و زمانی‌که چارج رها گردد، در جهت مخالف کار انجام شده به حرکت آغاز می‌نماید. در این حالت انرژی پوتانشیل برقی آن کاهش یافته و به انرژی حرکی تبدیل می‌شود.

بنابراین، زمانی‌که یک چارج برقی را در یک ساحهٔ برقی تغییر مکان می‌دهیم در انرژی

پوتانشیل برقی آن تغییر به وجود می‌آید و این تغییر مساوی به انرژی است که برای تغییر مکان چارج به مصرف می‌رسد، یعنی:

$$\Delta U = w \text{.....(1)}$$

اگر کاری که برای تغییر مکان (با سرعت ثابت) چارج برقی انجام می شود مثبت باشد $(w>0)$ ، انرژی پوتانشیل چارج افزایش می‌یابد، یعنی $\Delta u > 0$ و $u_2 > u_1$ می‌شود. هر گاه کار اجرا شده منفی باشد $(w<0)$، انرژی پوتانشیل چارج کاهش می‌یابد، یعنی $\Delta u < 0$ و $u_2 < u_1$ است. در این جا u_1 انرژی پوتانشیل چارج قبل از تغییر مکان و u_2 بعد از تغییر مکان است.

6-4-1: مفهوم پوتانشیل برقی

از توضیح فوق با مفهوم انرژی پوتانشیل برقی آشنا شدیم. هرگاه انرژی پوتانشیل بالای چارج واقع شده در ساحهٔ برقی تقسیم گردد، کمیت فزیکی حاصل می‌گردد که تابع توزیع چارج منبع می‌باشد. نسبت انرژی پوتانشیل بر واحد چارج $(\frac{u}{q_o})$ در هر نقطهٔ ساحهٔ برقی دارای عین قیمت می‌باشد، این کمیت $(\frac{u}{q_o})$ به‌نام پوتانشیل برقی (یا به‌صورت ساده پوتانشیل) یاد می‌شود و آن را توسط حرف v نشان می‌دهند؛ بنابراین پوتانشیل برقی در هر نقطهٔ ساحهٔ برقی، عبارت است از:

$$V = \frac{u}{q_o}$$

چون انرژی پوتانشیل برقی یک کمیت مقیاسی است؛ پس پوتانشیل برقی نیز کمیت مقیاسی می‌باشد. پوتانشیل تنها مشخصهٔ ساحه است که تا بع ذرهٔ چارج دار امتحانی است که در ساحه واقع است. انرژی پوتانشیل، مشخصهٔ سیستم چارج و ساحه است که سبب عمل متقابل ساحه و ذرهٔ چارج دار واقع شده در ساحه می‌گردد.

6-4-2:تفاوت پوتانشیل

با مفهوم پوتانشیل برقی آشناشدیم؛ هم‌چنان از میخانیک می‌دانیم که هرگاه دو ظرفی که دارای آب باشند، توسط یک نل با یکدیگر وصل گردند آب از ظرفی که پوتانشیل جاذبوی واحد کتلهٔ آن بیشتر باشد به ظرف د یگر جاری می‌گردد. در برق نیز، سبب حرکت چارج برقی عبارت از تفاوت در انرژی پوتانشیل برقی چارج واحد بین دو نقطه است که طور ذیل تعریف می‌گردد:

هر گاه یک چارج واحد از نقطهٔ اول به نقطهٔ دیگر تغییر مکان نماید، تفاوت پوتانشیل بین این دو نقطه مساوی به تفاوت بین انرژی پوتانشیل یک چارج برقی واحد مثبت بین نقاط مذکور می‌باشد؛ بنابراین اگر انرژی پوتانشیل یک چارج مثبت q در یک نقطهٔ ساحهٔ برقی u_1 و در نقطهٔ دیگر آن u_2 باشد، تفاوت پوتانشیل برقی بین این دو نقطه که توسط Δv نشان داده می‌شود از رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad \text{یا} \quad \Delta u = u_2 - u_1$$

با در نظر داشت تفاوت پوتانشیل برقی داریم که:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} \text{.....(2)}$$

در این رابطه، u به ژول (J)،q به کولمب (c) و v به ولت (v) اندازه می‌شود.

مثال:

تفاوت پوتانشیل بین دو انجام یک بتری، 12v است. اگر یک چارج $+1.5c$ از انجام مثبت بتری الی انجام منفی بتری تغییر مکان نماید، انرژی پوتانشیل برقی چارج چقدر و چگونه تغییر می‌نماید؟

حل:

با استفاده از رابطهٔ(2) داریم که :

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q}$$

$$\Delta u = q \cdot \Delta v = q(v_- - v_+)$$

$$\Delta u = 1.5(-12) = -18J$$

علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی پوتانشیل برقی به اندازهٔ 18J کاهش یافته است، یعنی چارج برقی از پوتانشیل بلند به پوتانشیل پایین تغییر مکان کرده است. V_- پوتانشیل انجام منفی بتری و V_+ پو تانشیل انجام مثبت بتری است.

چنانکه 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 پوتانشیل و ساحهٔ برقی

هرگاه چارج q_o در ساحهٔ برقی $\vec{E}$ قرار گیرد، بالای چارج، قوه‌یی عمل می‌نماید که عبارت است از:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

اگر چارج توسط یک قوهٔ خارجی در بین ساحه حرکت داده شود، کار اجرا شده توسط ساحه بالای چارج، مساوی به کار منفی است که توسط قوهٔ خارجی به سبب تغییر مکان آن انجام می‌یابد. این مشابه به حالتی است که در ساحهٔ جاذبهٔ زمین بالای جسمی‌با کتلهٔ m کار اجرا شده توسط قوهٔ خارجی m gh و کار اجرا شده توسط قوهٔ جاذبه $-mgh$ می‌باشد.

اگر چارج از محل خود به فاصلهٔ Δs تغییر مکان نماید، کار اجرا شده بالای چارج توسط ساحهٔ برقی عبارت است از:

$$F \cdot \Delta s = q\ E \cdot \Delta s$$

چون این کار توسط ساحهٔ برقی اجرا گردیده است، پس انرژی پوتانشیل سیستم ساحهٔ چارج، به اندازهٔ $\Delta u = -q\ E \cdot \Delta s$ تغییر می‌نماید.

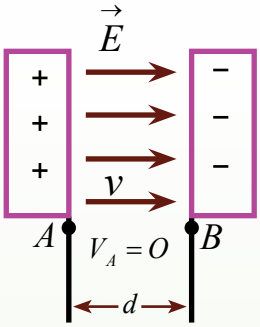
برای تغییر مکان چارج از نقطهٔA به نقطهٔB تغییر انرژی پوتانشیل ($\Delta u = u_B - u_A$) عبارت است از $\Delta u = -\ q\ E\ .\ \Delta s$

چون $\dfrac{\Delta u}{q} = \Delta v$ است؛ بنابرین از رابطهٔ فوق حاصل می‌گردد که:

$$\Delta v = E \cdot \Delta s$$

معادلهٔ فوق رابطه بین تفاوت پوتانشیل و ساحه را نشان می‌دهد. در این رابطه، Δs فاصله بین A، B است، از این جا معلوم می‌شود که تفاوت پوتانشیل مربوط به موقعیت‌های اول و دوم چارج می‌باشد، نه تابع مسیر تغییر مکان چارج.

مثال: یک پروتون از حالت سکون در بین ساحهٔ منظم برقی $8.0\times10^4\ \frac{v}{m}$ رها می‌گردد، شکل (13-6).



شکل (13-6)

پروتون در جهت ساحهٔ برقی به اندازهٔ 0.50m تغییر مکان می‌نماید.

a. تفاوت پوتانشیل را بین نقاط A و B در یافت نمایید.

حل: چون پروتون (چارج مثبت) در جهت ساحهٔ برقی حرکت می‌نماید،پس حرکت آن باید به‌طرف موقعیت پوتانشیل پایین باشد.

بنابراین داریم که:

$$\Delta v = -E\,d = -(8.0\times10^4\ \frac{v}{m})(0.50m) = -4.0\times10^4 v$$

b. تفاوت انرژی پوتانشیل 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:

$$\Delta u = q_p.\Delta v = e.\ \Delta v$$
$$= (1.6\times10^{-19}\,c)(-4.0\times10^4 v)$$
$$= -6.4\times10^{-15}\,J$$

علامت منفی بیان می‌کند وقتی‌که پروتون در جهت ساحهٔ برقی حرکت می‌کند، از انرژی پوتانشیل آن کاسته می‌شود. زمانی‌که پروتون در جهت ساحه تعجیل می‌گیرد، انرژی حرکی آن تزاید و در عین زمان انرژی پوتانشیل آن کاهش می‌یابد.

تطبیقات

در نقطه‌یی که از چارج $2\,\mu c$ به فاصلهٔ 20cm واقع است، پوتانشیل مطلقه را دریافت نمایید.

حل: چون $r = 20\,cm = 0.2m$ و $q = 2\mu c = 2\times10^6\,c$ است.

$$v = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}\ \frac{q}{r}$$

از این جا

$$v = 9\times10^9\ N.m^2/c^2\ \frac{2\times10^{-6}c}{0.20m} = 90000v$$

6-5: خازن

سیستمی متشکل از دو هادی که توسط یک عایق از همدیگر جدا شده باشد خازن گفته می شود، شکل (6-14). خازن می‌تواند یک اندازه چارج برقی ذخیره نماید و در وقت ضرورت آن را به سرکت بدهد. هر خازن یک ظرفیت دارد و این‌که ظرفیت چیست آن را قرار ذیل مطالعه می‌نماییم.



شکل (6-14) انواع مختلف خازن

6-5-1: مفهوم ظرفیت

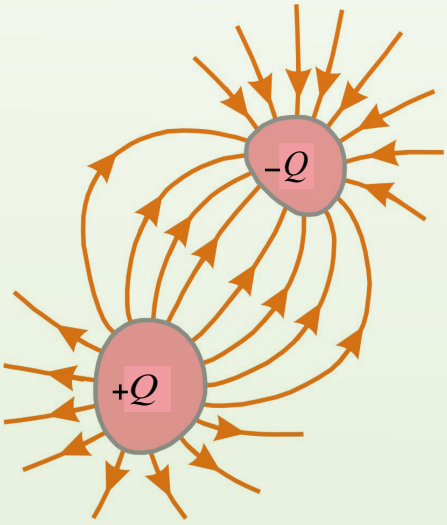
دو هادی را در نظر می‌گیریم که دارای چارج‌های مساوی و مختلف العلامت باشند، چنانکه در شکل (6-15) نشان داده شده است. این نوع ساختمان دو هادی را خازن گویند. هادی‌ها را به نام لوحه‌ها یاد می‌کنند. در هادی به سبب ذخیرهٔ چارج‌ها بین آن‌ها تفاوت پوتانشیل Δv به‌وجود می‌آید. تجربه نشان می‌دهد، مقدار چارج Q که بالای خازن ذخیره می‌شود متناسب به تفاوت پوتانشیل بین هادی‌ها می‌باشد، یعنی:

$$Q = c \cdot \Delta v$$

تناسب مربوط به شکل‌هادی‌ها 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 (6-15)

نسبت چارج هرهادی بر تفاوت پوتانشیل بین‌هادی‌ها به‌حیث ظرفیت خازن تعریف شده است.

$$c = \frac{Q}{\Delta v} \ldots\ldots\ldots (1)$$

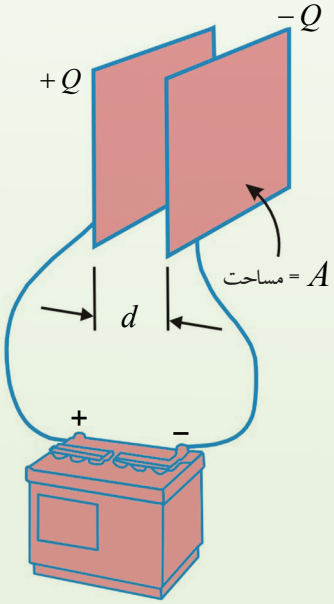
گفتنی‌است که به اساس تعریف، ظرفیت همیشه یک کمیت مثبت است. برعلاوه در رابطهٔ فوق (1) چارج و تفاوت پوتانشیل همیشه کمیت‌های مثبت می‌باشند.

چون تفاوت پوتانشیل به نسبت چارج ذخیره شده به‌طور خطی تزاید می‌نماید، پس نسبت $\frac{Q}{\Delta v}$ برای یک خازن معین ثابت است؛ بنابراین ظرفیت خازن عبارت از قابلیت مقدار ذخیرهٔ چارج می‌باشد. از رابطهٔ فوق (1) می‌بینیم که واحد ظرفیت در سیستم SI کولمب بروات است که به‌نام فاراد(Farad) یاد می‌شود، که نام عالم انگلیسی مایکل فاراد می‌باشد.

فاراد واحد خیلی بزرگ ظرفیت است. در عمل ظرفیت آله‌های معمولی از مایکروفاراد الی پیکوفاراد $(10^{-12} F)$ می‌باشد. ما برای مایکروفاراد سمبول μF را به‌کار می‌بریم و برای پیکوفاراد pF را می‌نویسیم.

6-5-2: خازن لوحه‌های موازی

مطابق شکل(6-16) دو لوحهٔ موازی فلزی را در نظر می‌گیریم که دارای مساحت A و فاصله بین شان d باشد. یک لوحه دارای چارج +Q ولوحهٔ دیگرآن دارای چارج Q- می‌باشد. حال مطالعه می‌نماییم که ساختمان هندسی این‌هادی‌ها در ذخیرهٔ چارج چه اثر دارد.



شکل (6-16)

برای این مقصد خازن لوحه‌های موازی را با بتری وصل می‌کنیم. و یک مرتبهٔ دیگر یادآور می‌شویم که چارج‌های هم علامت یکدیگر را دفع می‌نمایند.

وقتی‌که 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 فاصله‌یی را در نظر می‌گیریم که لوحه‌ها را از همدیگر جدا می‌سازد. هر گاه تفاوت پوتانشیل بین انجام‌های بتری ثابت باشد، پس زمانی‌که d کاهش می‌یابد باید ساحهٔ برقی بین لوحه‌ها زیاد گردد. فرض می‌نماییم که ما لوحه‌ها را با یکدیگر نزدیک می‌کنیم و حالت قبلی چارج را مطالعه می‌نماییم که می‌تواند در مقابل این تغییر حرکت نماید. چون هیچ چارج حرکت نمی‌کند، ساحهٔ برقی بین لوحه‌ها دارای عین قیمت می‌باشد، مگر نسبت به حالت قبلی در فاصلهٔ کوتاه تر امتداد می‌داشته باشد؛ بنابراین تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌ها، نسبت به قبل کوچک می‌شود. حال تفاوت پوتانشیل بین انجام‌های سیم‌های که بتری را با خازن وصل می‌نماید، به‌حیث تفاوت بین ولتیج این خازن جدید و ولتیج انجام‌های بتری وجود دارد. به سبب این تفاوت پوتانشیل در سیم‌ها ساحهٔ برقی به‌وجود می‌آید که چارج‌های بیشتر را به طرف لوحه‌ها انتقال می‌دهد و بین لوحه‌ها سبب ازدیاد تفاوت پوتانشیل می‌گردد. زمانی‌که تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌ها به اندازهٔ بتری گردد، تفاوت پوتانشیل بین سیم‌ها صفر می‌شود و جریان چارج‌ها توقف می‌نماید؛ بنابراین با نزدیک کردن لوحه‌ها بالای خازن، چارج تزاید می‌نماید. هر گاهd زیاد گردد، چارج کاسته می‌شود. در نتیجه، گفته می‌توانیم که ظرفیت خازن لوحه‌های موازی با d رابطهٔ معکوس دارد، یعنی: $c \sim \frac{1}{d}$

اگر بین دو لوحهٔ خازن خلا باشد، ظرفیت خازن لوحه‌های موازی از رابطهٔ $c = \varepsilon_o \frac{A}{d}$ حاصل می‌گردد:

در این رابطه، ε_o 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 را بطهٔ ذیل حاصل می‌شود.

$$c = k\varepsilon_o \frac{A}{d}$$

در این رابطه k یک کمیت بدون بعد است که آن‌را 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 بتری که دارای تفاوت پوتانشیل $24v$ است وصل می‌نماییم. هر گاه بالای لوحه‌های خازن $120\mu c$ چارج ذخیره شود، ظرفیت خازن را حساب

نمایید. اگر خازن در انجام‌های بتری وصل گردد که دارای تفاوت پوتانشیل $36v$ باشد، مقدار چارج ذخیره شده در آن چند خواهد شد؟

حل: با استفاده از رابطهٔ $c = \frac{q}{\Delta v}$ داریم که:

$$c = \frac{1.2\times10^{-4}c}{24\ v}$$

$$c = 5\times10^{-6}F = 5\mu F$$

رابطهٔ فوق را می‌توانیم به شکل $q = c.v$ بنویسیم. و با استفاده از این رابطه داریم که:

$$q = 5\times36 = 180\mu c$$

مثال: یک خازن لوحه‌های موازی را به فاصلهٔ $1.5\times10^{-3}m$ در نظر بگیرید که دارای شکل مستطیل بوده، طول آن 60cm و عرض آن 20cm باشد. اگر فضای بین لوحه‌های این خازن مملو از مادهٔ عایقی باشد که دارای ثابت عایق 10 باشد. ظرفیت این خازن را محاسبه نمایید.

$$\varepsilon_o \approx 9\times10^{-12}\frac{c^2}{N.m^2}$$

حل: با استفاده از رابطهٔ $c = k\,\varepsilon_o\frac{A}{d}$ داریم که:

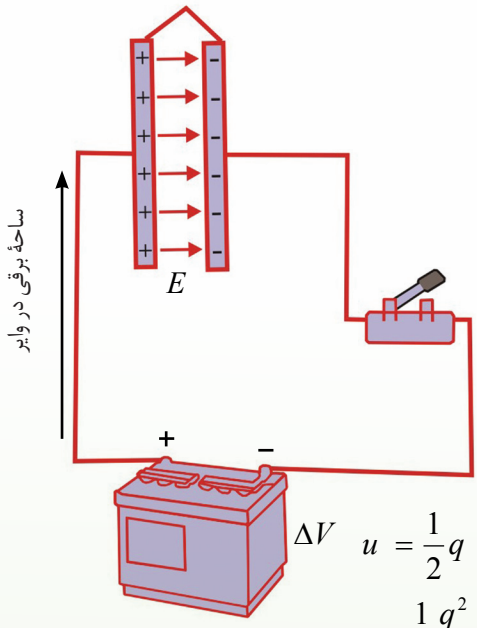
$$c = 10\times9\times10^{-12}\times\frac{20\times60\times10^{-4}}{1.5\times10^{-3}}$$

$$c = 7.2\times10^{-9}F = 7.2\eta F$$

6-5-3: انرژی یک خازن چارج دار

شکل (6-17) بتری را نشان می‌دهد که در یک سرکت با یک خازن لوحه‌های موازی از طریق یک سویچ وصل گردیده است. وقتی‌که سویچ وصل گردد، بتری در سیم‌ها ساحهٔ برقی را تولید می‌نماید و بین سیم‌ها و خازن، چارج‌ها به حرکت می‌افتد. زمانی‌که این حالت واقع می‌شود در داخل سیستم، انرژی انتقال می‌گردد. قبل از این‌که سویچ وصل گردد این انرژی به شکل انرژی کیمیاوی در بتری ذخیره می‌باشد. این انرژی زمانی انتقال می‌گردد که بتری در سرکت در حال فعالیت باشد و در داخل بتری تعامل کیمیاوی صورت بگیرد. و قتی‌که سویچ وصل شود، یک اندازه انرژی کیمیاوی بتری به انرژی پوتانشیل برقی دارای چارج‌های مثبت و منفی مربوط بالای لوحه‌ها تبدیل می‌گردد. در نتیجه، گفته می‌توانیم که

بر علاوهٔ چارج، انرژی نیز ذخیره می‌کند.
در حقیقت همان انرژی را که بتری برای چارج 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 شدهٔ خازن را می‌توانیم توسط رابطهٔ ذیل محاسبه نماییم.



شکل (6-17)

$$u = \frac{1}{2}q \quad v = \frac{1}{2}cv^2 = \frac{1}{2}\ c\frac{q^2}{c}$$

$$u = \frac{1}{2}\frac{q^2}{c}$$

مثال: خازنی را که دارای ظرفیت $6\times10^{-6}F$ است با ولیتج 200 ولت وصل می‌کنیم. چارج وانرژی ذخیره شده را در خازن محاسبه نمایید.

$q = c\,v$

حل: با استفاده از روابطه (1 − 14)(1 − 17) داریم که:

$$q = 6\times10^{-6}\times200$$

$$q = 1.2\times10^{-3}c = 1.2\,m\,c$$

$$u = \frac{1}{2}q\,v$$

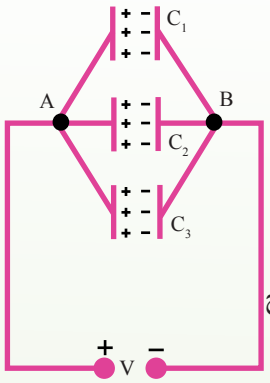
$$= \frac{1}{2}\times1.2\times10^{-3}\times200 = 0.12J$$

6-5-4: اتصال خازن‌ها

گاه گاه حالتی رخ می‌دهد که در یک سرکت باید از یک ظرفیت معین استفاده نماییم، مگر آن را 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 آن را 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 مجموعهٔ چندین خازن می‌باشد. خازن‌ها یا به‌صورت موازی یا مسلسل با یکدیگر وصل شده می‌توانند.

الف) اتصال موازی خازن‌ها

اگر خازن‌های C_1, C_2 و ..... مطابق شکل (6-18) با یکدیگر وصل شوند، گفته می‌شود که خازن‌ها به‌صورت موازی با هم وصل اند. اگر در انجام‌های این مجموعهٔ خازن‌ها ولتیج تطبیق گردد، تفاوت پوتانشیل انجام‌های هر یک از خازن‌ها خواهد بود. مقدار چارج برقی بالای هر خازن عبارت است از:



شکل (6-18)

$$q_1 = c_1 v$$

$$q_2 = c_2 v$$

$$q_3 = c_3 v$$

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 ولیتج وصل گردد. چارج ذخیره شده بالای آن $q = C_{eq} v$ است. درنتیجه داریم که :

$$q = c_{eq} v$$

$$q_1 + q_2 + q_3 = c_{eq} v$$

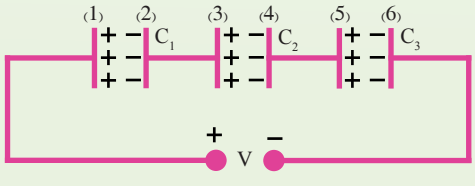
$$(c_1 + c_2 + c_3)v = c_{eq} v$$

$$c_{eq} = c_1 + c_2 + c_3$$

ظرفیت معادل یک ترکیب خازن‌های موازی، مساوی به مجموعهٔ ظرفیت‌های همه خازن‌ها بوده و از ظرفیت هر خازن جدا گانه بیشتر می‌باشد.

ب) اتصال مسلسل خازن‌ها

در شکل (6-19) ذیل سه خازن به‌صورت مسلسل با یکدیگر وصل گردیده اند. هر گاه یک اتصال مسلسل خازن‌ها به یک ولیتج وصل گردد، دیده می‌شود که هیچ کدام از این خازن‌ها به‌طور مستقل با ولیتج V وصل نمی‌باشد.



شکل (6-19)

اگر بالای لوحهٔ (1) چارج $+q$ ذخیره شود، بالای لوحهٔ (2)، چارج $-q$ القا می‌گردد؛ بنابر این بالای لوحهٔ (3)، چارج $+q$ ذخیره می‌شود. به این ترتیب چارج هر خازن با q برابر است؛ هم‌چنان چارج ذخیره شده بالای مجموعهٔ خازن‌ها نیز q می‌باشد. اگر ولتیج خازن‌ها به ترتیب، v_1 ، v_2 و v_3 باشد، ولتیج انجام‌های سرکت مساوی به مجموعهٔ ولتیج‌های انجام‌های خازن‌ها می‌باشد.

$$v = v_1 + v_2 + v_3$$

اگر عوض v_1 ، v_2، و ..... قیمت‌های مساوی آن‌ها را از رابطهٔ $v_1 = \frac{q}{c_1}$ ، $v_2 = \frac{q}{c_2}$ وضع نماییم، نتیجه می‌شود که:

$$v = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$

اگر C_{eq} ظرفیت معادل باشد، زمانی‌که باولیتج 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 به‌صورت 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 مجموعهٔ سه خازن که دارای ظرفیت‌های $3\mu F, 6\mu F$ و $2\mu F$ اند و به‌صورت 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) ولیتج انجام‌های هر خازن را محاسبه نمایید.

حل

الف) با استفاده از رابطهٔ زیر داریم که:

$$\frac{1}{C_{eg}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}$$

$$\frac{1}{C_{eg}} = \frac{1}{6\mu F} + \frac{1}{3\mu F} + \frac{1}{2\mu F}$$

$$\frac{1}{C_{eg}} = \frac{1+2+3}{6\mu F} = \frac{6}{6\mu F} = \frac{1}{1\mu F}$$

$$C_{eg} = 1\mu F$$

ب) چارج برقی هر خازن مساوی با چارج خازن معادل است.

$$q = c\,v$$

$$q = 1 \times 150 = 150\mu c$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q = 150\mu c$$

ج) با استفاده از رابطهٔ $q = cv$ داریم که:

$$v = \frac{q}{c}$$

$$v_1 = \frac{150}{6} = 25v$$

$$v_2 = \frac{150}{3} = 50v$$

$$v_3 = \frac{150}{2} = 75v$$

ممکن است در یک سرکت، خازن به‌صورت مغلق با هم وصل گردیده باشند. در این حالت می‌توانیم با استفاده از ترکیب موازی و مسلسل خازن‌ها، ظرفیت‌های خازن‌ها را محاسبه کرده و سرکت را ساده نماییم و در نتیجه ظرفیت معادل را حاصل کنیم.

خلاصهٔ فصل

• چارج‌های هم علامت یکدیگر را دفع و چارج‌های با علامت‌های مختلف یکدیگر را جذب می‌نمایند.

• قانون کولمب بیان می‌کندکه قوهٔ جذب یا دفع بین دو ذرهٔ چارج دار و با حاصل ضرب چارج‌های هر دو ذره رابطهٔ مستقیم و با مربع فاصلهٔ بین ذرات رابطهٔ معکوس دارد، یعنی:

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

و یا:

$$F = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_o}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

در این جا $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$ ثابت تناسب است.

• در هر نقطهٔ فضا قوهٔ برقی وارده بالای یک چارج واحد مثبت به‌نام ساحهٔ برقی در همان نقطه یاد می‌شود، یعنی:

$$E = \frac{F}{q}$$

• خطوط ساحهٔ برقی در یک قسمت فضا ساحهٔ 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 ساحهٔ برقی E بین نقاط A و B حرکت نماید، تغییر انرژی پوتانشیل چارج عبارت است از:

$$\Delta u = -q\,E \cdot \Delta s$$

• پوتانشیل $v = \frac{u}{q}$ یک کمیت مقیاسی است و دارای واحد $\frac{J}{c}$ می‌باشد. درحالی‌که $1\frac{J}{c} = 1v$ است.

• در بین یک ساحهٔ برقی E بین نقاط A و B تفاوت پوتانشیل Δv طور ذیل تعریف می‌شود:

$$\Delta v = \frac{\Delta u}{q} = -E\,d$$

دراین جا $d = \left|\vec{s}\right|$ است.

• خازن عبارت از ساختمان دوهادی است که مقدار چارج‌های مساوی و مختلف العلامت را انتقال می‌دهد.

• نسبت چارج هر هادی خازن بالای تفاوت پوتانشیل (انرژی ذخیره وی) بین‌هادی خازن عبارت از ظرفیت خازن می‌باشد؛ یعنی:

$$c = \frac{q}{\Delta v}$$

واحد ظرفیت در سیستمSI، کولمب بر ولت یا فاراد (F) است، $1F = 1\frac{c}{v}$.

• هر گاه دو یا بیشتر خازن‌ها به‌طور موازی با هم وصل گردیده باشند، لوحه‌های تمامی آن‌ها دارای عین تفاوت پوتانشیل می‌باشد. ظرفیت معادل ترکیب موازی خازن‌ها عبارت است از:

$$c_{eq} = c_1 + c_2 + c_3 .....$$

• 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:

$$\frac{1}{c_{eq}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + ...$$

• انرژی ذخیره شده در یک خازن معادل به انرژی است که درعملیهٔ چارج شدن خارن، چارج‌ها از هادی با پوتانشیل پایین به‌هادی به پوتانشیل بلند انتقال می‌نماید. در خازنی که دارای چارج باشد، انرژی ذخیره شده عبارت است از:

$$u = \frac{q^2}{2c} = \frac{1}{2}\,Q\,.\,\Delta v = \frac{1}{2}cv^2$$

سؤالات اخیر فصل

1. شما یک میلهٔهادی که دارای چارج منفی است و یک کرهٔ هادی بدون چارج را که بالای یک پایهٔ عایق گذاشته شده است در اختیار خود دارید. با ترسیم شکل نشان دهید که چگونه می‌توانیم:

الف) کره را مثبت چارج نماییم.

ب) کره را منفی چارج نماییم.

2. دو جسم بدون چارج را چگونه می‌توانیم چارج دار سازیم.

3. اگر فاصله بین چارج نقطه‌یی نصف گردد بالای قوه بین آن‌ها چه واقع می‌شود؟

4. دو چارج نقطه‌یی $9\mu c+$ و $5\mu c-$ به فاصلهٔ 50cm از یکدیگر قرار دارند. قوهٔ جاذبه‌یی را در یافت نمایید که هرکدام را بالای دیگری وارد می‌نماید.

5. فاصله بین دو الکترون را در حالی دریافت نمایید که قوه بین آن‌ها برابر با وزن یک الکترون باشد.

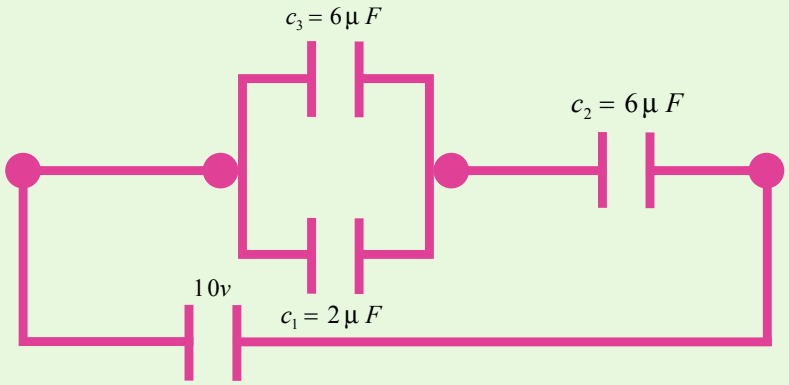
6. دو چارج $2\times10^{-7}c+$ و $5\times10^{-6}c-$ به فاصلهٔ 50cm از همدیگر قرار دارند. نقطه‌یی را در یافت نمایید که در آن ساحهٔ تولید شده توسط چارج‌های متذکره صفر باشد.

7. دو لوحهٔ فلزی به فاصلهٔ 0.3cm از یکدیگر قرار دارند. آن‌ها با بتری 9v وصل گردیده است. ساحهٔ برقی را بین لوحه‌ها دریافت نمایید.

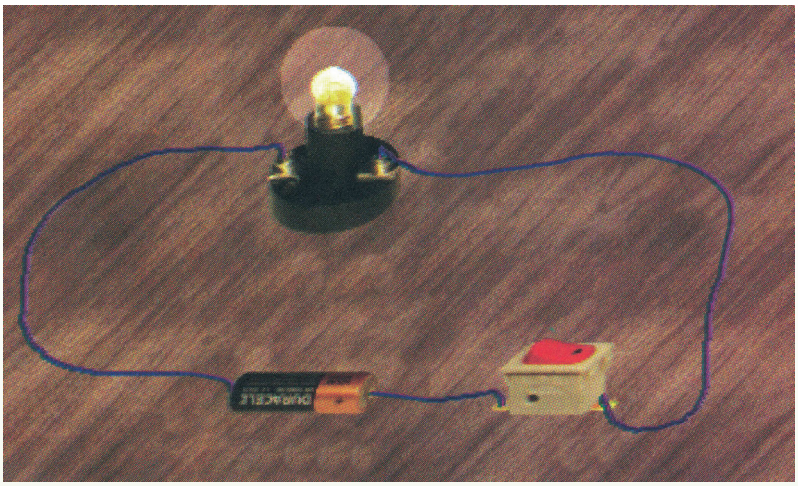
8. به یک خازن که دارای ظرفیت $25\mu F$ است، ولتیج $1000v$ را تطبیق می‌نماییم. چارج را بالای خازن محاسبه نمایید.

9. یک خازن که دارای ظرفیت $12\mu F$ است تا زمانی چارج می‌شود که تفاوت پوتانشیل بین لوحه‌های آن به $250v$ برسد. انرژی ذخیره شده را در خازن دریافت نمایید.

10. شکل مقابل را در نظر بگیرید. ظرفیت معادل و چارج را بالای هر خازن دریافت نمایید.



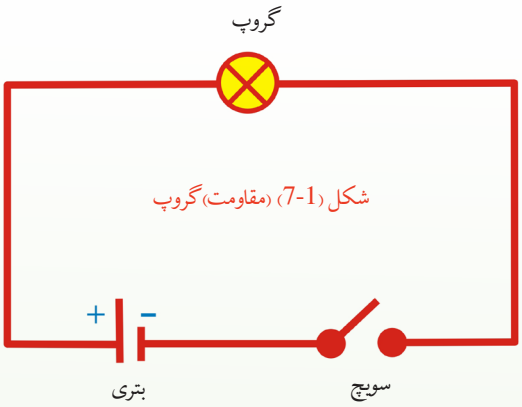
جریان برق و سرکت



در این شکل چه چیز را می‌بینید؟ واضح است که خواهید گفت، بتری، گروپ، سویچ ولین‌ها همین ترکیب را سرکت می‌گویند. در حقیقت شما یک سرکت ساده را می‌بینید. آیا شما فکر کرده اید که در سرکت گروپ چگونه روشن می‌شود؟ حتمی‌خواهید گفت که جریان برق در آن جاری می‌شود. جریان برق چیست؟ در مورد جریان برق بعد 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 و قتی‌که سویچ 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) بتری از طریق عناصر شامل سرکت تا انجام (ترمینل) دیگر بتری را مسیر مکمل گویند، والکترون‌ها از یک انجام بتری الی انجام دیگر آن از همین طریق حرکت می‌نمایند و گروپ را روشن می‌کند. یعنی مسیر حرکت الکترون‌ها باید یک حلقهٔ بسته باشد. این حلقهٔ بسته را سرکت گویند. اگر در سرکت سویچ را باز نمایید، آیا گروپ روشن می‌شود؟ نخیر، 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 سـرکت، بتری را بردارید آیا گروپ روشـن باقی می‌ماند؟ واضح اسـت که نخیر. از این جا معلوم می‌شـود که بتری در انجام‌های مقاومت تفاوت پوتانشیل را به‌وجود می‌آورد و بالای الکترون قـوه وارد نمـوده و آن‌ها را در سـرکت به حرکت می‌انـدازد که این را قوۀ محرکۀ برقی می‌گویند. در مـورد قوۀ محرکۀ برقی بعـد در همین فصل بحث صورت خواهد گرفت. هر سرکت توسط یک فورمول تدوین می‌گردد و کار می‌کند، بنابراین لازم اسـت کـه برای یک سـرکت معادلۀ آن را بشناسـیم که به نام معادلۀ سـرکت یاد می‌شود. این موضوع نیز در همین فصل مطالعه خواهدشـد. هر گاه در یک سرکت ترکیب مقاومت‌ها و منابع یک سرکت مغلق را تشـکیل بدهد آن را چگونه می‌توانیم حل نماییم؟ برای حل سـرکت مغلق از قانون اول و دوم کرشهوف استفاده می‌گردد. در مورد این قوانین نیز در همین فصل بحث می‌شود؛ هم‌چنان بعضی مثال‌ها و سؤالات حل شده نیز در همین فصل گنجانیده شده است.



شکل (1-7) (مقاومت) گروپ

سـرکت فوق توسط دیاگرام ذیل نیز نشان داده می‌شود. در آن بتری توسط دو خط موازی قطب مثبت بتری توسط خط طویل و قطب منفی آن توسط خط کوتاه نشان داده می‌شود.

سـویچ و گروپ نیز با سمبول‌های مربوط نشان داده می‌شود. پیشتر ذکرگردید که گروپ توسط جاری شدن جریان برق روشن می‌گردد، این‌که جریان چیست، طور ذیل مطالعه می‌گردد.

7-1: جریان برق

دو ظرفی را در نظر بگیرید که توسـط یک نل باهم وصل شده باشند، طوری‌که یک ظرف در محل بلند و ظرف دیگر نسبت به آن پایین‌تر گذاشته باشد. اگر در ظرفی که بلند گذاشته شده اسـت آب بریزید، آب به ظرفی که پایین گذاشـته شده است جاری خواهد شد. چرا؟ زیرا که تفاوت ارتفاع بین دو ظرف در حقیقت تفاوت انرژی پوتانشـیل بین دو ظرف را نشان می‌دهد و سبب جاری شدن آب می‌گردد. به عین ترتیب اگر در انجام‌های یک‌هادی تفاوت پوتانشیل برقی تطبیق گردد که این تفاوت توسط بتری یا منبع دیگری تهیه می‌گردد، ازهادی چارج‌های برقی عبور می‌نماید. اگر در این حالت یک مقطع عرضی‌هادی 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 چه 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 به‌صورت 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 رابطهٔ $I = \frac{q}{t}$ محاسبه نماییم.

$$I = 1.2\,A : \quad t = 0.5s \times 60 = 30s \quad : q = ?$$

$$q = I.t = 1.2\,A \times 30\,s = 36\ cau\ 1$$

برای بیان قانون تحفظ چارج تجربهٔ ذیل را انجام می‌دهیم:

تجربه

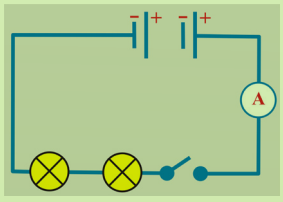
مواد مورد ضرورت

- بتری 1.5 ولت دو عدد،گروپ 1.5 ولت دو عدد، امپیرمتر یک دانه،سویچ، سیم‌های اتصالی.

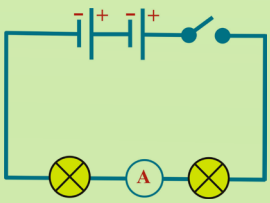
طرز العمل

- سرکت را مطابق شکل(2-7 الف) وصل نمایید.
- سویچ را وصل نموده و جریان را از امپیرمتر بخوانید.
- محل امپیر متر را مطابق شکل (2-7 ب) تغییر دهید و جریانی را که نشان می‌دهد آن‌را بنویسید.

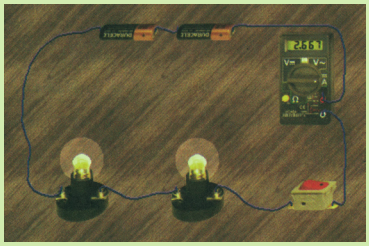
شما خواهید دید که امپیرمتر

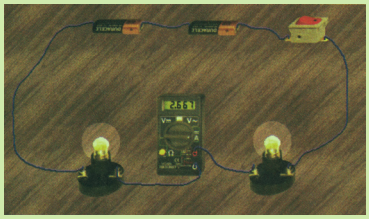


(الف)



(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 نشـــان می‌دهد که هر مقدار چارجی وارد هر مقطع عرضی ســـرکت می‌شـــود همان مقدار از مقطـــع عرضی متذکره خارج می‌گردد، بنابرین امپیرمتر در هر محل سرکت عین جریان را نشان می‌دهد.

سؤال

آیا شما در ازدحام شهر عقب کاری مهمی‌به 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 گرمی‌می‌نمایید و اجرای کار مهم سبب می‌شود که سرعت حرکت تان را دوباره زیاد نمایید.
به نظر شـــما بین حرکت چارج‌هادی و حرکت یک شـــخص در ازدحام، شباهت وجود دارد؟
در ازدحـــام مقابـــل حرکت یک شـــخص یک نـــوع مقاومت وجود دارد که ســـرعت و انرژی شـــخص را کاهـــش می‌دهد و درهـــادی در مقابل حرکـــت الکترون‌ها اتوم‌ها و مالیکول‌های‌هـــادی اند کـــه الکترون‌ها با آن‌ها تصادم کرده و انرژی خود را از دســـت می‌دهد.

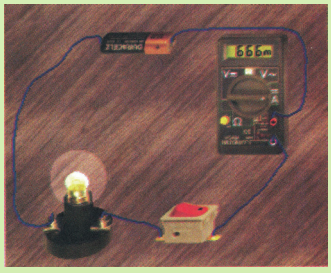
تجربه

مواد مورد ضرورت

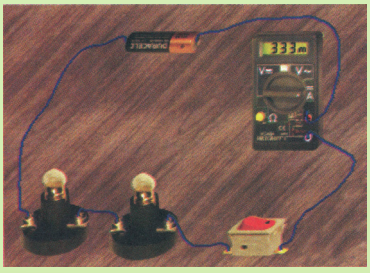
- بتـــری 1.5 ولت دو عدد، گروپ 1.5 ولت دو عدد،امپیرمتر یک دانه،ســـویچ، ســـیم‌های اتصالی به اندازه ضرورت

طرز العمل

1 - بتری 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 یاد داشت 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 یاد داشت نمایید.



(الف)



(ب)

شکل (3-7)

نتیجه

با انجام تجربهٔ دوم چنین نتیجه می‌گیریم که روشنی گروپ نسبت به تجربهٔ اول کاهش می‌یابد.

سؤالات

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 به‌نام چه یاد می‌شود؟

7-2: مقاومت

هر گاه انجام‌های یک‌هادی به یک بتری (منبع) وصل گردد. در انجام‌های‌هادی تفاوت پوتانشیل به‌وجود می‌آید. در نتیجهٔ تطبیق تفاوت پوتانشیل چارج‌های برقی انرژی حاصل کرده و به حرکت آغاز می‌نماید. این چارج‌های متحرک در مسیر خود با اتوم‌های‌هادی که در اطراف نقطهٔ تعادل خود در حال اهتزاز می‌باشـد تصادم کرده و یک قسمت انرژی خود را از دست می‌دهد. و سبب می‌شود که درجهٔ حرارت‌هادی بلند برود. حرکت چارج‌ها درهادی مشابه به حرکت یک شخص در ازدحام می‌باشد؛ زیرا گفته می‌توانیم که‌هادی دارای مقاومت برقی است.

یعنی جلوگیری از حرکت چارج‌ها در بین‌هادی عبارت از مقاومت برقی می‌باشد. مقاومت برقی را توسط R نشان می‌دهد. واحد مقاومت برقی اوم است و توسط علامت (Ω) نشان داده می‌شود. این جریان برقی است که به سبب تفاوت پوتانشیل به‌وجود آمده و گروپ را روشن می‌نماید. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به‌نام لود(مصرف کننده) یاد می‌شود.

تجربه نشـان می‌دهد که تفاوت پوتانشـیل در انجام‌های یک پارچه‌هادی مستقیم متناسب با جریان می‌باشد یعنی:

$$\Delta v \sim I$$

$$\Delta v = R\, I$$

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در ایـن جا R ثابت تناسـب و مقاومت، هادی اسـت و قیمت آن تابـع طبیعت، ابعاد و حالت فزیکی‌هادی می‌باشد. رابطهٔ فوق به‌طور ساده تعریف مقاومت است و رابطه بین و لتج، جریان برق و مقاومت را تشکیل می‌دهد. اوم که واحد مقاومت است طور ذیل تعریف می‌گردد.

هرگاه 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 (Ohm) اندازه می‌گردد. اگر L طول سیم و مقطع آن باشد، مقاومت‌هادی است به:

$$R \sim \frac{L}{A}$$

$$R = \rho\, \frac{L}{A}$$

در این جا ρ ثابت تناسب است که به‌نام مقاومت مخصوصه یاد می‌شود و قیمت تابع مادهٔ است که سیم از آن ساخته شده است. چون $\rho = R\frac{A}{L}$ است؛ بنابرین واحد مقاومت مخصوصه اوم متر $Ohm \times m$ داست. گاه گاه برای توضیح خاصیت برقی یک ماده کمیتی دیگری به کار بره می‌شود که به‌نام هدایت مخصوصه یاد می‌شود. هدایت مخصوصه معکوس مقاومت مخصوصه است؛ یعنی $\delta = \frac{1}{\rho}$ هدایت مخصوصه را نشان می‌دهد.

مثال

در انجام‌های یک گروپ تفاوت پوتانشیل $220v$ تطبیق شده است. اگر شدت جریان در گروپ $0.44A$ باشد، مقاومت برقی گروپ را در یافت نمایید.

حل

$$V = 220v \;.\; I = 0.44A \;.\; R = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220v}{0.44A} = 500\Omega$$

سؤالات

1 - دریک سرکت از مقاومت برای چه استفاده می‌نمایند؟

7-2-1: انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌ها که به‌نام عناصر سرکت یاد می‌شوند در بسیاری از سرکت‌های برقی جهت کنترول اندازه جریان برق قسمت‌های مختلف سرکت به‌کار برده می‌شود. مقاومت‌های عادی به دو نوع اند:
یکی آن مقاومت ترکیبی اســت که دارای کاربن می‌باشد و دیگرآن مقاومت سیم پیچده شده است. قیمت‌های مقاومت‌ها توسط Ohm به صورت نورمال توسط رنگ‌ها نیز مشخص می‌شود چنانکه در جدول نشان داده شده است.

جدول رنگ‌های که نشان دهندهٔ قیمت‌های مقاومت‌ها است

رنگ	عدد	ضریب	خبط
سیاه	0	$1=10^0$	
نصواری	1	10^1	
سرخ	2	10^2	
نارنجی	3	10^3	

زرد	4	10^4	
سبز	5	10^5	
نیلی (Blue)	6	10^6	
بنفش	7	10^7	
خاکی (Gray)	8	10^8	
سفید	9	10^9	
طلایی		10^{-1}	%5
نقره ای		10^{-2}	%10
بیرنگ (Color less)			%20

حال سوال این است که این مقاومت‌ها چگونه در یک سرکت وصل می‌شوند؟

نوت: روش خواندن این گونه مقاومت‌ها به تفصیل در شـمارۀ (6) درس مربوط کتاب رهنمای معلم وضاحت داده شده است.

7-2-2: اتصال مقاومت‌ها

فرض نمایید که با صدا در آوردن زنگ مکتب رخصت شدید و می‌خواهید با هم صنفیان خود از صنف و بعد با گذشتن از صحن مکتب از مکتب خارج شوید. شما دو راه دارید:

1 - می‌توانید از یک دروازۀ صنف خارج شوید و در صحن مکتب راهی را انتخاب نمایید که در آن گروپ‌های زیادی از شاگردان یکی پی دیگری ایستاد باشند.

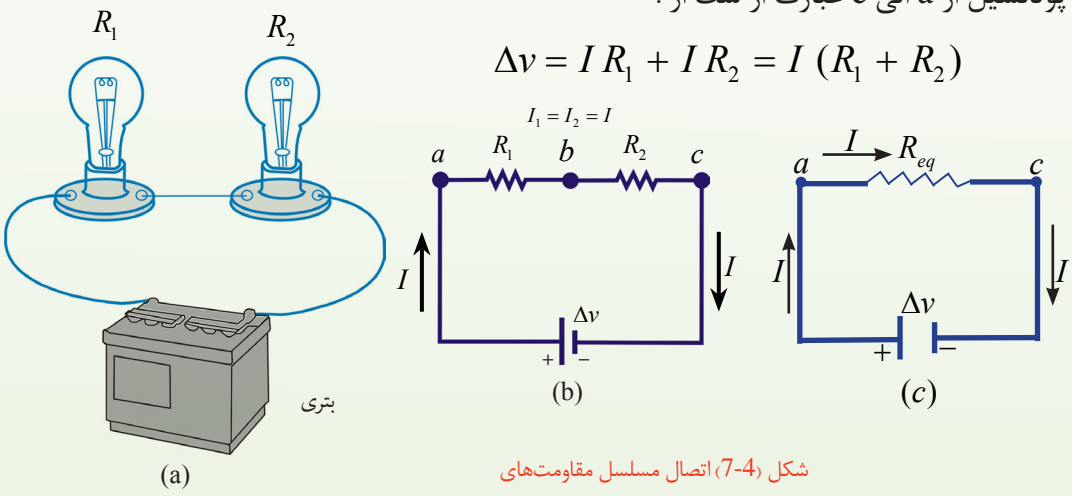
2 - هم‌صنفی‌های شما می‌توانند که بعد از خروج از صنف هر یک به طور انفرادی به خاطر عبور از صحن مکتب به راه‌های تقسیم شوند که در آن جا تنها یک یک گروپ شاگردان ایستاد باشند.

در کدام حالت به وقت کمتر ضرورت است که شما با پیمودن صحن مکتب بیرون شوید؟

واضح است که پیمودن مسیری وقت کمتر را در برمی‌گیرد که در آن جا تنها یک یک گروپ شـاگردان ایستاده اند. می‌توانیم مسـیری را که در آن گروپ‌های پی در پی شاگردان ایستاده اند مقاومت‌های مسلسـل و مسـیری را که در آن تنها یک یک گروپ شـاگردان ایستاده اند

مقاومت‌های موازی بگوییم، از این مثال ساده می‌توانیم جریان برق را در سرکت‌های در یافت نماییم که دارای مقاومت‌های بیشتر باشند. اگر دو مقاومت ویا بیشتر از آن مطابق گروپ‌های شـــکل (7-4a) باهم وصل گردیده باشند آن را 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 مسلســـل 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 شـــاگردان 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 مسلســـل 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 $I R_1$ و تفاوت پوتانشیل از b الی c مساوی به $I R_2$ است. تفاوت پوتانشیل از a الی c عبارت از ست از :

$$\Delta v = I R_1 + I R_2 = I (R_1 + R_2)$$



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- یـک مقاومت عـوض دو مقاومت به‌کار برده شـده اسـت کـه دارای مقاومت معادل $R_g = R_1 + R_1$ می‌باشد.

تفاوت پوتانشـــیل بتری در انجام‌های مقاومت R_{eq} تطبیق می‌شود؛ چنانکه 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 داشـــت، یعنی اگر R_{eq} به همین بتری وصل گردد عین جریان برق حاصل می‌شود. از ترکیب این دو معادله می‌توانیم عوض اتصال مسلســـل این دو مقاومت یک مقاومت معادل که قیمت آن مساوی به مجموع قیمت‌های آن دو مقاومت باشد وصل نماییم.

$$\Delta v = I\, R_{eq} = I\,(R_1 + R_2)$$

$$R_{eq} = (R_1 + R_2)$$

مقاومـــت R_{eq} عبـــارت از مقاومت معادل ترکیب دو ($R_1 + R_2$) می‌باشـــد، زیرا اگر R_{eq} عوض $R_1 + R_2$ گذاشته شود در سرکت جریان تغییر نمی‌کند. اگر سه مقاومت یا بیشتر از آن به‌صورت مسلسل وصل گردیده باشند مقاومت معادل آن عبارت است از:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \text{.....}$$

رابطهٔ فوق نشـــان می‌دهد که مقاومت معادل ترکیب مسلســـل مقاومت‌ها از روی عدد مساوی به مجموع هر کدام از مقاومت‌ها می‌باشـــد. ترکیب مقاومت‌ها نسبت به هر کدام از مقاومت‌ها همیشه بزرگتر می‌باشد.

قابل یاد آوری اســـت که هر گاه در شـــکل فوق (7.4)فلمنت یک گروپ قطع گردد. بعد از این ســـرکت وصل نبوده؛ بلکه یک سرکت باز می‌باشد و گروپ دوم نیز خاموش می‌شود. این یک شـــکل عمومی‌سرکت مسلسل اســـت. هرگاه در یک سرکت مسلسل یک آله از بین برود تمام آله‌ها از فعالیت باز می‌ماند.

سؤالات

1- فرض نمایید که در شـــکل (7.4) چارج‌های مثبت اول از R_1 و بعد از R_2 عبور می‌کنند. جریان برق در R_1 به مقایسهٔ جریان R_2 :

a: کوچک است b: بزرگ است c: عین چیز است

2- هر گاه در شـــکل(7.4) غرض اتصال نقاط b و c از یک ســـیم اســـتفاده شود، آیا روشنایی گروپ R_1 :

a: زیاد می‌شود b: کم می‌شود c: عین چیز باقی می‌ماند

سؤال

1- سه مقاومت 6.75Ω ، 15.3Ω و 21.6Ω با بتری $12v$ طور مسلسل وصل گردیده اند.

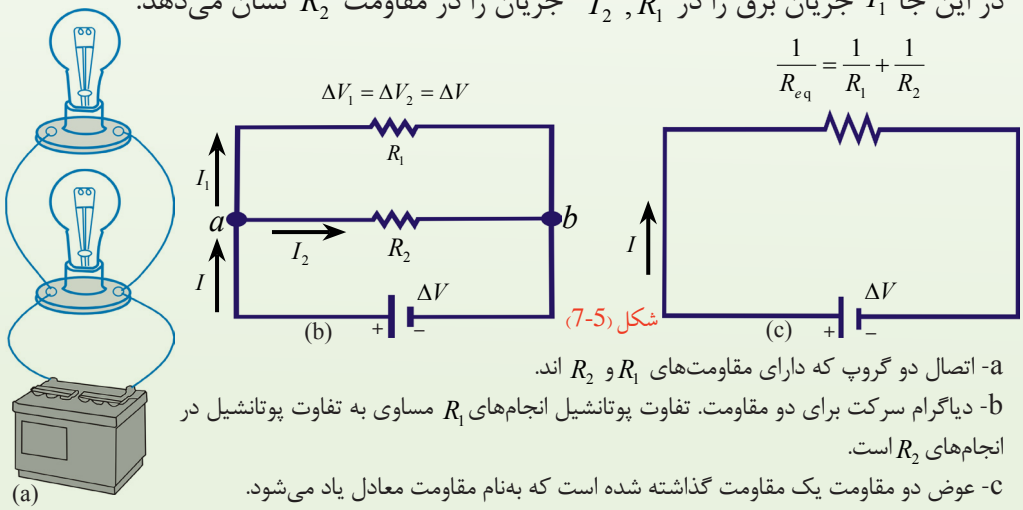
a- مقاومت معادل را محاسبه نمایید.

b- جریان را در سرکت معلوم نمایید.

حال دو مقاومت را در نظر می‌گیریم که به‌صورت موازی باهم وصل گردیده باشند؛ چنانکه در شکل (7-5b) نشان داده شده است. وقتی‌که در شکل (7-5a) چارج به نقطهٔ a که به‌نام نقطهٔ انشعاب یاد می‌شود برسد. به دو قسمت جدا می‌شود. یک اندازهٔ آن از طریق R_2 و قسمت باقی ماندهٔ آن از طریق R_1 عبور می‌نماید. در یک سرکت نقطهٔ انشعاب عبارت از نقطه‌یی است که در آن جریان برق تقسیم می‌گردد (این حالت مشابه به حالتی است که هم صنفیان شما از صحن مکتب از راه‌های زیادی عبور می‌نماید) این تقسیمات سبب می‌شود که جریان در هر مقاومت نسبت به آن کوچکتر است که از بتری منشأ می‌گیرد. و به اساس قانون تحفظ چارج جریان I که وارد نقطهٔ a می‌شود باید مساوی جریانی باشد که از نقطهٔ مذکور خارج می‌گردد، 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 می‌دهد.



شکل (7-5)

a- اتصال دو گروپ که دارای مقاومت‌های R_1 و R_2 اند.

b- دیاگرام سرکت برای دو مقاومت. تفاوت پوتانشیل انجام‌های R_1 مساوی به تفاوت پوتانشیل در انجام‌های R_2 است.

c- عوض دو مقاومت یک مقاومت گذاشته شده است که به‌نام مقاومت معادل یاد می‌شود.

چنانکه در شـــکل (7-5) دیده می‌شـــود 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 پوتانشـــیل عین چیز می‌باشـــد، پس با در نظر داشت افادۀ $\Delta v = I\ R$ حاصل می‌شود که:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta v}{R_1} + \frac{\Delta v}{R_2} = \Delta v\ (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})$$

$$= \frac{\Delta v}{R_{eq}}$$

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:

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

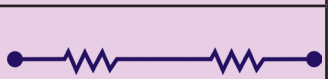
$$R_{eg} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2}$$

برای سه مقاومت و یا بیشتر از آن رابطۀ فوق را می‌توان چنین تحریر کرد.

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ ...$$

از این افاده دیده می‌شود که معکوس مقاومت معادل دو یا بیشتر مقاومت‌های موازی مساوی به مجموع معکوس هر کدام مقاومت‌ها می‌باشـــد. برعلاوه، مقاومت معادل همیشـــه نسبت به کوچکترین مقاومت این گروپ کوچکتر می‌باشد.

خلاصه نتایج حاصله در مورد ســـرکت‌های مسلســـل و موازی در جـــدول ذیل ترتیب گردیده است.

	مسلسل	موازی
سرکت دیاگرام		
جریان برق	$I = I_1 = I_2 = I_3 = ...$ برای هر مقاومت عین قیمت را دارد=	$I = I_1 + I_2 + I_3 + ...$ حاصل جمع جریان‌ها
تفاوت پوتانشیل	$\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + ...$ مجوعهٔ تفاوت‌های پوتانشیل	$\Delta v = \Delta v_1 = \Delta v_2 = \Delta v_3 ....$ برای هر مقاومت عین قیمت را دارد
مقاومت معادل	$R_{eg} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$ مجموعهٔ هر کدام مقاومت‌ها	$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...$ مجموعهٔ معکوس مقاومت‌ها

سؤالات

1- فرض نمایید که شما در شکل (7-4) مقاومت سومی را با آن دو مقاومت طور مسلسل افزود می‌کنید. آیا جریان در بتری:

a. تزاید می‌نماید. b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند و d. آیا ولیتج انجام‌های بتری تزاید می‌نماید. e. کاهش می‌یابد. f. ثابت باقی می‌ماند.

2- فرض نمایید که شما در شکل (7-6) یک مقاومت سومی‌را با آن دو مقاومت طور موازی وصل نمایید. آیا در بتری جریان برق:

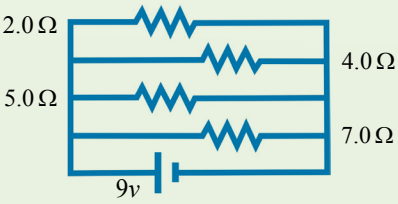
a. تزاید می‌نماید.b. کاهش می‌یابد. c. ثابت باقی می‌ماند.

و آیا ولیتج انجام‌های بتری: d. تزاید می‌نماید. e. کاهش می‌یابد.

f. ثابت باقی می‌ماند.

مثال

یک بتری 9v با چهار مقاومت مطابق شکل ذیل وصل گردیده اند. مقاومت معادل سرکت و جریان مجموعی را در سرکت در یافت نمایید.



شکل (7-6)

حل: کمیات معلوم

$$\Delta v = 9v$$

$$R_1 = 2\Omega \ , \ R_2 = 4\Omega \ , \ R_3 = 5\Omega \ , \ R_4 = 7\Omega$$

کمیات مجهول $\quad R_{eq} = ? \ I = ?$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$$

$$\frac{1}{R_{eg}} = \frac{70 + 35 + 28 + 20}{140} = \frac{153}{140}$$

$$R_{eg} = \frac{140}{153}\ \Omega$$

$$I = \frac{\Delta v}{R_{eg}} = \frac{9v}{\frac{140}{153}\Omega} = \frac{9v \times 153}{140\Omega} = \frac{1377}{140} A$$

$$I = 9.83A$$

سؤالات

1- یک سیم طویل را به پنج قسمت مساوی قطع می‌نمایند. بعد این پنج قسمت را به‌صورت موازی وصل می‌کنند، که مقاومت محصلهٔ آن 2Ω می‌باشد. قبل از این‌که سیم قطع گردد مقاومت طول ابتدایی سیم چند است.

2- یک مقاومت 4.2Ω، مقاومت 8Ω و یک مقاومت 12Ω در انجام‌ها بتری $24v$ به‌صورت موازی وصل گردیده اند.

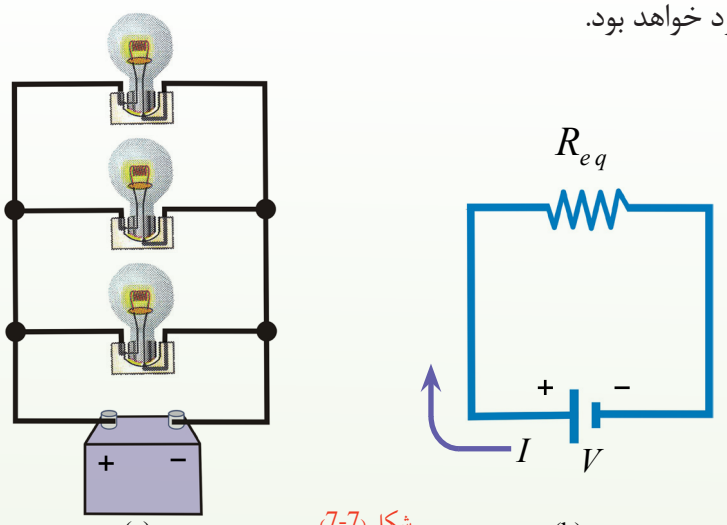
a. قیمت مقاومت معادل سرکت را حساب نمایید.

b. جریان برق را در هر مقاومت معلوم نمایید.

7-3: قوهٔ محرکه برقی

به شکل ذیل (7-7) توجه نمایید، هر گاه شما از این سرکت بتری را بردارید آیا گروپ درسرکت روشن باقی خواهد ماند؟

واضح اســت که بدون موجودیت تفاوت پوتانشیل در سرکت نه چارج حرکت خواهد کرد و نه جریان برق موجود خواهد بود.



(a) (b)

شکل (7-7)

پــس بــرای این‌که گروپ روشــن باقی بماند باید بــه بتری وصل گردد. هــر آله که در یک ســرکت انرژی پوتانشــیل چــارج متحــرک را زیاد می‌نمایــد، عبارت از منبع قــوهٔ محرکهٔ برقی(Electromotive Force) یا (emf) می‌باشد که توسط ε نشان داده می‌شود. یا به عبارت دیگر، انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می‌گردد عبارت از قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌باشد. فکر نمایید که این نوع منبع مانند پمپ چارج است که بالای الکترون‌ها قوه وارد می‌نماید تا در یک جهت معین حرکت نمایند. هر گاه انرژی هر چارج q را توسط w نشان دهیم، برای ε قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) می‌توانیم بنویسیم که: $\varepsilon = \frac{w}{q}$

چون قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) تمام چارج‌های یک بتری عبارت از همان ولتیج اعظمی‌ممکنه اســت که یک بتری بین ترمینل‌های خود دارد؛ بنابر ایــن می‌توانیم در رابطهٔ فوق قوهٔ محرکهٔ برقی ε تفاوت پوتانشیل اعظمی بتری V را چنین بنویسیم:

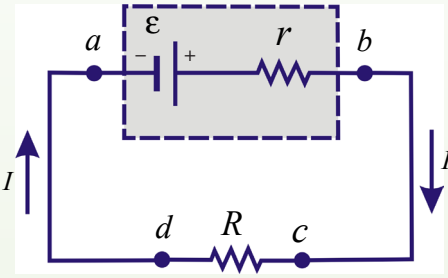
$$v = \frac{w}{q}$$

باتری‌ها و جنراتورها منابع قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) می‌باشند.
چون باتری خود دارای مقاومت داخلی می‌باشد؛ پس وقتی‌که چارج‌ها در باتری حرکت می‌نمایند تفاوت پوتانشیل انجام‌های باتری (ولیتج ترمینل‌ها) نسبت به (emf) واقعی یک اندازه کاهش می‌یابد. با در نظر داشت مقاومت داخلی باتری معادلهٔ سرکت را چگونه می‌توانیم بنویسیم؟

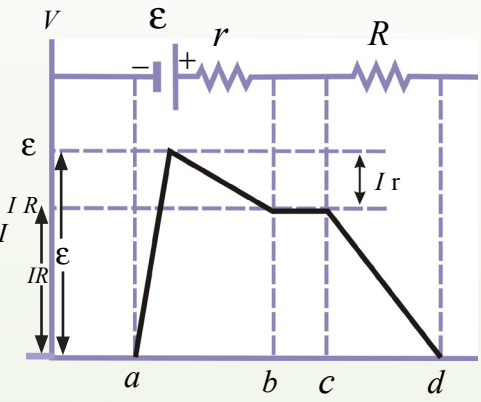
7-4: معادلهٔ سرکت برقی

برای حاصل کردن معادلهٔ سرکت برقی شکل (7-8) را بار دیگر درنظر می‌گیریم و فرض می‌نماییم که مقاومت سیم‌های اتصال قابل صرف نظر است. سرکت فوق را با در نظر داشت مقاومت داخلی باتری طور ذیل رسم می‌نماییم قطب مثبت باتری نسبت به قطب منفی باتری دارای پوتانشیل بلند است.

در سرکتی که جریان موجود باشد تفاوت پوتانشیل انجام‌های باتری آن با (emf) مساوی نمی‌باشد. برای درک آن سرکت دیاگرام (7-8) را در نظر می‌گیریم که در آن قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) باتری با مقاومت داخلی آن نشان داده شده است.



a. سرکت دیاگرام (emf) منبع ε (در این حالت مقاومت داخلی باتری r با مقاومت خارجی R وصل گردید.است)



b): نمایش تغیر گرافیکی پوتانشیل برقی

شکل (7-8)

حال فرض می‌نماییم که از a الی b از طریق باتری عبور می‌نماییم و در محل‌های مختلف پوتانشیل برقی را اندازه می‌کنیم. اگر از ترمینل (قطب)منفی به طرف قطب (مثبت) حرکت نماییم، پوتانشیل به اندازهٔ ε زیاد می‌گردد. مگر وقتی‌که از مقاومت r عبور می‌نماییم، پوتانشیل به اندازهٔ $I\,r$ کاهش می‌یابد، درحالی‌که I جریان را در سرکت نشان می‌دهد. از این‌جا ولیتج باتری (تفاوت پوتانشیل بین ترمینل‌های باتری) $\Delta v = v_b - v_a$ عبارت است از:

$$\Delta v = I\,R = \varepsilon - I\,r \ldots\ldots (1)$$

از این رابطه واضح می‌گردد که Ir مساوی با ولیتج سرکت باز است، یعنی این در حالی ولیتج 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 ولیتج ترمینل‌های بتری (Δv) 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 $\Delta v = I\,R$ است. با درنظرداشت این افاده از معادله (1) حاصل می‌نماییم که:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad .....(2)$$ (ولتیج داخلی بتری)

برای جریان I دریافت می‌نماییم که:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$ (جریان کل)

این افاده معادلهٔ سرکت برقی است.
رابطهٔ فوق نشان می‌دهد که جریان در این سرکت ساده تابع مقاومت مصرف کنندهٔ 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 بطهٔ فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\Sigma\varepsilon}{\Sigma R + \Sigma r} .....(3)$$

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 می‌شودکه:
$I\varepsilon = I^2 R + I^2 r$ رابطهٔ فوق نشان می‌دهد که طاقتی که توسط بتری تولید می‌شود در R و r ضایع می‌گردد.

مثال: emf بتری، $12v$ و مقاومت داخلی آن 0.05Ω است. انجام‌های بتری با مقاومت مصرف کننده 3Ω وصل می‌شود.
جریان در سرکت و ولیتج انجام‌های بتری (تفاوت پوتانشیل) را در یافت نمایید.

حل: چون جریان در سرکت عبارت است از:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{12v}{3\Omega + 0.05\Omega}$$

پس:

$$I = \frac{12v}{3.05\Omega}$$

$$I = 3.93A$$

$$v = \varepsilon - Ir$$

و

$$v = 12 - (3.93A)(0.05\Omega$$

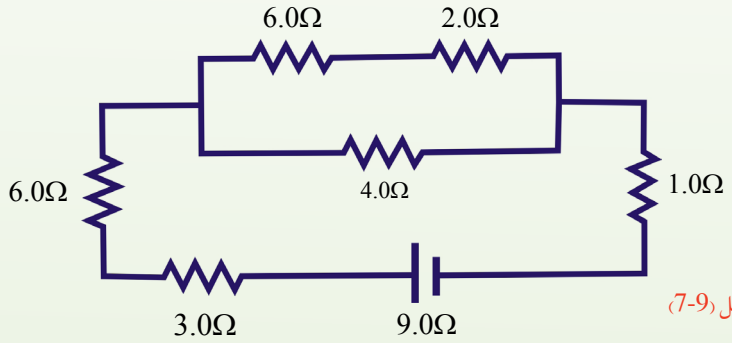
$$v = 11.79v$$

با استفاده از این قیمت می‌توانیم تفاوت پوتانشیل انجام‌های مقاومت مصرف کنندهٔ 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 (9-7)

حل: برای در یافت مقاومت معادل سرکت طریقهٔ بهتر این است که سرکت را به گروپ‌های مقاومت‌های مسلسل و موازی تقسیم نماییم و بعد برای هر گروپ، مقاومت معادل آن را محاسبه نمایید. برای رسیدن به این مقصد سرکت را بار دیگر مانند یک گروپ مقاومت‌ها یک طرف رسم می‌نماییم. چون موقعیت‌ها بالای سرکت اثر ندارد، پس لازم نیست که در دیاگرام سیتماتیکی نشان داده شوند. سرکت را بدون در نظرداشت 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.

برای گروپ (a): $R_{eq} = 3.0\Omega + 6.0\Omega = 9.0\Omega$

برای گروپ (b): $R_{eq} = 6.0\Omega + 2.0\Omega = 8.0\Omega$

• ترکیب موازی را تعیین نموده و مقاومت معادل آن را محاسبه می‌نماییم.
مقاومت‌های گروپ (c) موازی اند.

برای گروپ (c): $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8.0\Omega} + \frac{1}{4.0\Omega} = 0.12\Omega + 0.25\Omega = 0.37\Omega$

$$R_{eq} = \frac{1}{0.37}\Omega$$

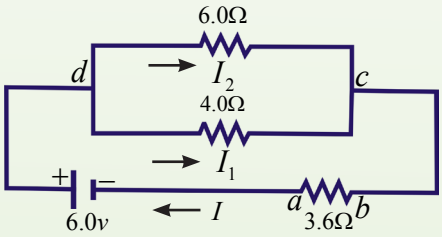
$$= \frac{100}{37}\Omega = 2.7\Omega$$

مراحل فوق را تا زمانی تکرار می‌نماییم که مقاومت‌های سرکت به یک مقاومت کاهش نماید. چنانکه بعداز تعیین گروپ‌های (a)، (b) و (c) مقاومت‌های گروپ (d) باقی می‌ماند که آن‌ها طور مسلسل می‌باشد؛ پس:

برای گروپ (d): $R_{eq} = 9.0\Omega + 2.7\Omega + 1.0\Omega$

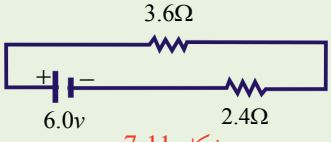
$$R_{eq} = 12.7\Omega$$

2. در سرکت ذیل قیمت‌های جریان‌های I، I_1 و I_2 را در یافت نمایید.



شکل (7-10)

حل: اول مقاومت معادل ترکیب موازی مقاومت‌های 4Ω و 6Ω را در یافت می‌نماییم:



شکل (7-11)

$$\frac{1}{R_{eg1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{5}{12}$$

$$R_{dc} = R_{eq1} = \frac{12}{5} = 2.4\Omega$$

چنانکه در شـــکل فوق نشان داده شده است مقاومت‌های 2.4Ω , 3.6Ω طور مثال وصل اند؛ بنابراین:

$$R_{a\,d} = R_{e\,q_{\,2}} = R_1 + R_2 = 2.4 + 3.6\Omega = 6.0\Omega$$

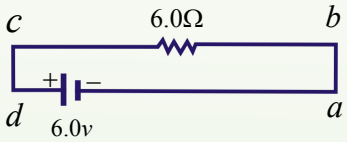
از این جا:

$$I = \frac{v_{a\,d}}{R_{a\,d}} = \frac{6v}{6\Omega} = 1\,Amp$$

برای دریافت I_1 و I_2 باید تفاوت پوتانشیل بین نقاط d و c را بشناسیم. چون مقاومت معادل مقاومت‌هـــای موازی 2.4Ω اســـت و جریان در ســـرکت یک امپیر اســـت، از این جا تفاوت پوتانشیل $v_{b\,c}$ عبارت است از:

$$V_{dc} = IR_{dc} = 2.4\times1 = 2.4v$$

این در انجام‌های مقاومت‌های 4Ω و 6Ω نیز تفاوت پوتانشیل می‌باشد. از آن جا که:



شکل (12-7)

$$I_1 = \frac{v_{dc}}{4} = \frac{2.4}{4} = 0.6A$$

او :

$$Ig = \frac{v_{dc}}{6} = \frac{2.4}{4} = 0.4A$$

دیده می‌شود که مجموعه جریان‌های I_1 و I_2، $1A$ است که جریان مجموعی را در سرکت نشان می‌دهد.

سؤال

سرکت‌های خیلی مغلق را چگونه می‌توانیم حل نماییم؟
ســـرکت‌های خیلی پچیده را می‌توانیم با استفاده از قوانین کرشهوف حل نماییم که طور ذیل مطالعه می‌گردد.

7-6: قوانین کرشهوف

طوری‌که دیدیم سرکت‌های ساده را می‌توانیم به وسیلهٔ افادهٔ $\Delta v = I\ R$ و ترکیب مسلسل و موازی مقاومت‌ها حل نماییم. هرگاه یک سرکت خیلی مغلق باشد، یعنی در آن مقاومت‌ها و چندین منابع طوری وصل گردیده باشدکه حل آن به وسیله قوانین متذکره ناممکن باشد پس آن‌ها را توسط قوانین دیگر که به‌نام قوانین کرشهوف یاد می‌شود حل شده می‌توانند.

7-6-1: قانون اول کرشهوف

قانون اول کرشهوف که به‌نام قانون انشعاب نیز یاد می‌شود بیان می‌نمایدکه:
مجموعهٔ تمام جریان‌های که در سرکت داخل نقطهٔ انشعاب می‌شوند مساوی به مجموعهٔ جریان‌های است که نقطهٔ انشعاب را ترک می‌نمایند، یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

نقطهٔ انشعاب در یک سرکت نقطه‌یی را می‌گویندکه در آن مقاومت‌های بیشتر از لین وصل شده باشد.

7-6-2: قانون دوم کرشهوف

قانون دوم کرشهوف که به‌نام قانون حلقه یا دورهٔ بسته نیز یاد می‌شود بیان می‌نمایدکه:
مجموعه تفاوت‌های پوتانشیل انجام‌های تمام عناصر شامل یک حلقهٔ بسته باید مساوی به صفر باشد، یعنی:

$$\sum \Delta v = o$$

قانون اول کرشهوف قانون تحفظ چارج را بیان می‌نماید، یعنی تمام چارج‌های که داخل یک نقطه می‌شوند باید از آن نقطه خارج شوند؛ زیرا چارج نمی‌تواند در نقطه به‌وجود آید. قانون دوم کرشهوف از قانون تحفظ انرژی پیروی می‌نماید.

خلاصهٔ 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 بین‌هادی عبارت از مقاومت برقی می‌باشـــد. هر عنصری که در یک سرکت انرژی را ضایع می‌کند به‌نام لود (مصرف کننده) یاد می‌شود. در یک ســـرکت مقاومت برقی با تفاوت پوتانشـــیل انجام‌های مقاومت و جریان در آن طوری ذیل رابطه دارد.

$$R = \frac{\Delta v}{I}$$

در این جا R عبارت از مقاومت هادی است و واحد آن اوم و یا ($\frac{volt}{Amp}$) می‌باشد.

• مقاومت‌های‌هادی به دو نوع اند.

یکی آن مقاومت ترکیبی اســـت که دارای کاربن می‌باشـــد و دیگر آن مقاومت سیم پیچیده شده است.

• اتصال مقاومت‌ها

الف) اتصال مسلسل مقاومت‌ها

در اتصال مسلسل مقاومت‌ها و تفاوت پوتانشیل 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 در این صورت

ب) در اتصال موازی مقاومت‌ها جریان در نقطهٔ 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 آلهٔ که در یک سـرکت انرژی پوتانشـیل چارج متحرک را زیاد می‌نماید عبارت از منبع قوهٔ محرکه برقی(Electromotive Force) یا (emf) می‌باشد که توسط حرف ε نشان داده می‌شود و یا انرژی یک واحد چارج که توسط منبع جریان برق تهیه می‌گردد عبارت از قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌باشـد. هر گاه انرژی هر چارج q را توسـط w نشان دهیم، به این قوهٔ محرکهٔ برقی(emf) می‌توانیم بنویسیم که:

$$\varepsilon = \frac{w}{q}$$

که واحد آن ولت می‌باشد.

• معادلهٔ سرکت برقی عبارت است از : $I = \dfrac{\varepsilon}{R + r}$

در این جا ε قوهٔ محرکهٔ برقی سـرکت، R مقاومت خارجی در سـرکت و r مقاومت داخلی منبع می‌باشد. اگر در یک سرکت از تعداد زیاد مقاومت‌های مصرف کننده و بتری‌ها استفاده شده باشد.

رابطهٔ فوق را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R + \sum r}$$

• قوانین کرشهوف

الف) قانون اول کرشهوف

مجموعهٔ تمام جریان‌های که در یک سـرکت داخل نقطهٔ انشعاب می‌شوند مساوی به مجموعهٔ جریان‌های است که نقطه انشعاب را ترک می‌نمایند، یعنی:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

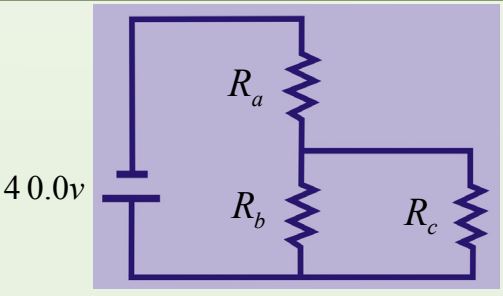
ب) قانون دوم کرشهوف

مجموعه تفاوت‌های پوتانشـیل انجام‌های تمام عناصر شـامل یک حلقهٔ بسته باید مساوی به صفر باشد، یعنی:

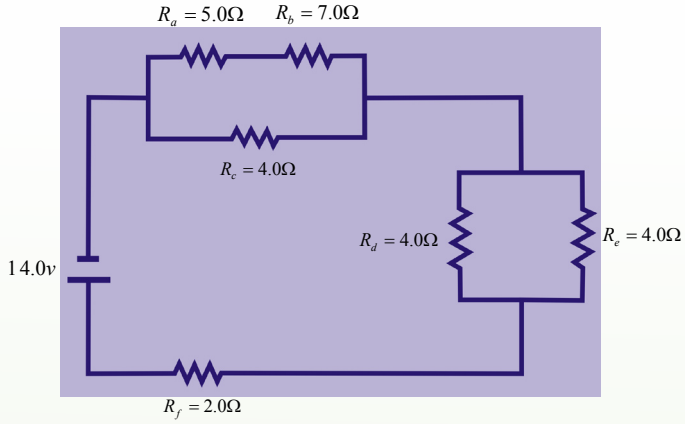
$$\sum \Delta v = o$$

سؤالات اخیر فصل

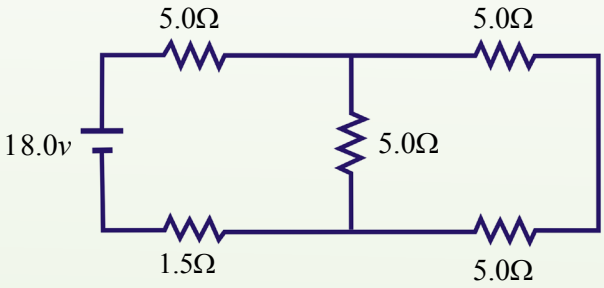
1. برای سرکت ذیل مقاومت معادل آن را محاسبه نمایید.



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 1.5Ω سرکت مغلق فوق جریان برق را در یافت نمایید.

c) در انجام‌های مقاومت 1.5Ω 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 بتری 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 سـرکت‌های ذیل تفاوت پوتانشـیل انجام‌های هر مقاومت و جریان را در آن دریافت نمایید.

a) یک مقاومت 4Ω و یک مقاومت 12.0Ω با منبع $4.0v$ طور موازی وصل گردیده باشند.

b) یک مقاومت 4Ω و یک مقاومت 12.0Ω با منبع $4.0v$ طور مسلسل وصل گردیده باشند.

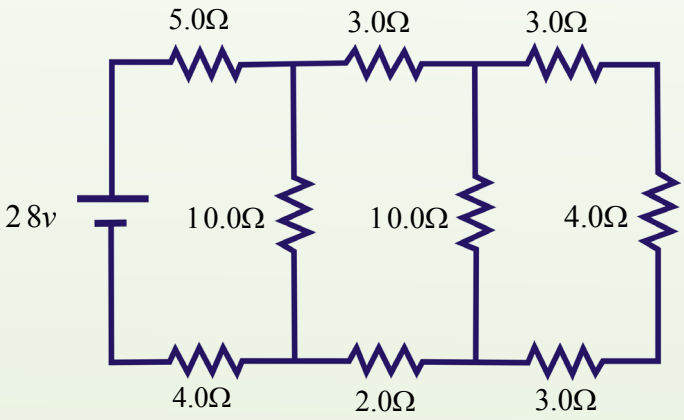
6. ولیتج انجام‌های (ترمینل‌های) یک بتری از emf آن بیشتر است؟ توضیح نمایید که این دو کمیت چرا باهم برابر نیستند؟

7. توضیح نمایید که چرا سرکت شارت می‌شود (آتش می‌گیرد).

8. برای سرکت ذیل.

a) مقاومت معادل سرکت

b) جریان در مقاومت 5.0Ω را دریافت نمایید.



مقناطیس



اکثر مردم مقناطیس را به خاطر داشتن خاصیت جذب کنندهٔ آن می‌شناسند، چنانکه 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 به‌نام قطب‌های مقناطیس یاد می‌شوند که یکی آن را قطب شمال و دیگر آن قطب جنوب می‌گویند. چرا قطب‌های شمال و جنوب؟ این نام‌ها از عملکرد یک مقناطیس بالای زمین اشتقاق گردیده است، زیرا اگر یک مقناطیس میله مانند از قسمت وسط آن آویزان گردد طوری‌که در یک مستوی افقی طور آزاد دوران کرده بتواند، میله تا زمانی دوران خواهدکرد که جهت‌های شمال و جنوب مقناطیس را اختیار نماید. در این حالت آن انجام مقناطیس میله مانند که درجهت قطب شمال مقناطیسی زمین قرار دارد،قطب جنوب و انجامی‌که به طرف قطب جنوب مقناطیسی زمین واقع است به‌نام 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؟ قوهٔ مقناطیسی بین دو مقناطیس را می‌توانیم با قوهٔ برقی بین دو ذرهٔ چارج دار تشبیه نماییم طوری‌که 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 دایمی‌طور متواتر قطع

گردد، مهم نیســت که چند مرتبه قطع می‌شود، بازهم هر پارچهٔ آن همیشه دارای قطب‌های شمال و جنوب خواهد بود؛ زیرا که قطب‌های مقناطیس همیشه یک‌جا بوده و نمی‌توانیم یک قطب مقناطیس را به تنهایی حاصل نمائیم. چون آهن توســط مقناطیس جذب می‌گردد، آیا آهن نیز مقناطیسی شــده می‌تواند؟ بلی. یک پارچهٔ آهن مقناطیس ناشده می‌تواند به وسیلهٔ مالش با مقناطیس دایمی‌مقناطیس گردد. مقناطیســیت توســط یک مقناطیس نیز القا شده می‌تواند؛ طور مثال، اگر یک پارچهٔ آهن مقناطیس ناشــده نزدیک یک مقناطیس دایمی‌قوی گذاشته شود، این پارچهٔ آهن مقناطیسی می‌گردد. عکس عملیه نیز شده می‌تواند، یعنی یک آهن مقناطیس شــده توســط حرارت دادن یا سرد ساختن و یا به وسیلهٔ چکش زدن می‌تواند مقناطیسیت خودرا از دست دهد.

ســؤال این است که آهن مقناطیس شــده تا چه زمانی مقناطیس باقیمانده می‌تواند ؟ از نظر مقناطیســیت مواد را به دو طبقه تقســیم می‌نمایند. یک‌دســتهٔ آن موادی اندکه به آســانی مقناطیس می‌شوند و هم به آسانی مقناطیسیت خود را از دست می‌دهند، این نو ع مواد را مواد نرم گویند؛ مانند آهن و نوع دیگری آن موادی اند که به سختی مقناطیس می‌شوند و به سختی مقناطیســیت خود را از دســت می‌دهند که این دسته مواد را به نام مواد سخت یاد می‌نمایند مانند کوبالت ونکل. عمل متقابل بین مقناطیس‌ها با استفاده از مفهوم ساحهٔ مقناطیسی تشریح می‌شود، پس ساحهٔ مقناطیسی چیســت؟ ساحهٔ مقناطیسی تنها توسط مقناطیس دایمی به وجود می‌آید و یا جریان برق در یک هادی نیز ســبب تولید ســاحهٔ مقناطیسی می‌گردد؟ اگر چنین باشــد پس بین جریان برق و ســاحهٔ مقناطیســی رابطه‌یی وجود دارد؛ بنابراین سؤالی طرح می‌گردد که آیا در یک ســاحهٔ مقناطیســی بالای یک‌هادی جریان دار قوهٔ مقناطیســی عمل می‌نماید؟ اگر توســط یک‌هادی مستقیم جریان دار ســاحهٔ مقناطیسی تولید می‌گردد، پس آیا به وسیلهٔ کوایل و سولینویید نیز ساحهٔ مقناطیسی تولید می‌شود ؟ در این مورد قانون بیوت – ساوارت چگونه بیان می‌نماید؟ با مطالعهٔ این فصل برای تمامی‌این سؤالات جواب‌های در یافت می‌گردد. هم‌چنان توقع می‌رود که در اخیر این فصل شــاگردان بدانندکه یک کوایل انتقال دهندهٔ جریان نیز مانند یک مقناطیس عمل می‌نماید.

8-1: مقناطیس و ساحهٔ مقناطیسی

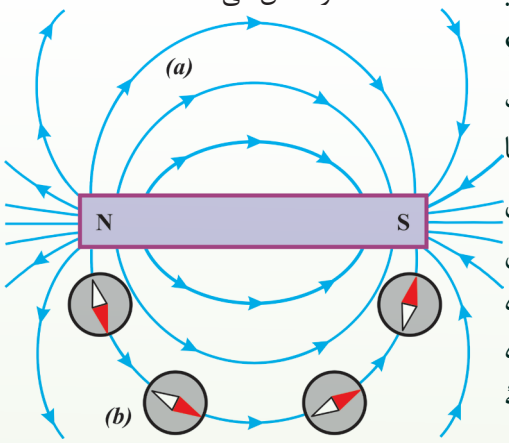
یونانی‌ها 800 سال قبل از میلاد سنگی را شناختند که عبارت بود از اکساید آن $(Fe_3\ o_4)$ که پارچه‌های آهن را جذب می‌کرد. رابطه بین مقناطیس و جریان برق توسط عالم دنمارکی اورسیتد در سال 1819 مشــاهده گردید. موصوف دریافت که در نزدیک یک سیم انتقال دهندهٔ جریان برق، عقربهٔ قطب نما انحراف می‌نماید. نامبرده از این حادثه نتیجه گرفت که بین جریان برق و

مقناطیس رابطه‌یی وجود دارد. ساحهٔ مقناطیسی چگونه یک کمیت است؟ ساحهٔ مقناطیسی که هر مقناطیس را احاطه کرده است، یک کمیت وکتوری ا ســت، یعنی هــم مقدار و هم جهت دارد و معمولاً توســط (B) نشان داده می‌شود. ساحهٔ مقناطیسی چگونه نشان داده می‌شود؟ به‌حیث نمونه ســاحهٔ مقناطیســی اطراف یک میلهٔ مقناطیسی را با استفاده از یک قطب نما پیدا کرده می‌توانیم؛ طوری‌که در شــکل ذیل نشان داده شــده است، هر گاه یک مقناطیس میله مانند کوچک که طور آزاد آویخته شــده باشد به یک ســاحهٔ مقناطیسی نزدیک آورده شــود، مانند عقربهٔ قطب نما با خطوط ساحهٔ مقناطیســی در یک خط واقع می‌گردد. دیده می‌شــود 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 بســته را تشکیل می‌دهند. در مقناطیس دایمی‌خطوط ساحه در داخل خود مقناطیس ادامه پیدا می‌کند تا حلقهٔ بسته را تشکیل بدهد. با لاخره آن فضای نزدیک یک مقناطیســی که در آن جا اثر مقناطیســیت ملاحظه می‌گردد به‌نام ساحهٔ مقناطیســی یاد می‌گردد. انحراف عقربهٔ قطب نما از اثر مقناطیســیت 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 ســاحه‌یی اســت که از یک مساحت معین ســطح عمود بالای ســاحه عبور می‌نماید. فلکس مقناطیسی بوسیلهٔ ϕm نشان داده می‌شود و ذریعهٔ فورمول ذیل محاسبه می‌گردد، که ثبوت این فورمول در فصل نهم صورت می‌گیرد. $\phi_m = A.B.\cos\theta$

(مرکبهٔ عمودی ساحه بالای مساحت سطح) × (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.

a) مقناطیس میله مانند
b) عقربهٔ قطب نما جهت خط ساحه را نشان می‌دهد.



شکل 1-8 ساحهٔ مقناطیسی

فعالیت

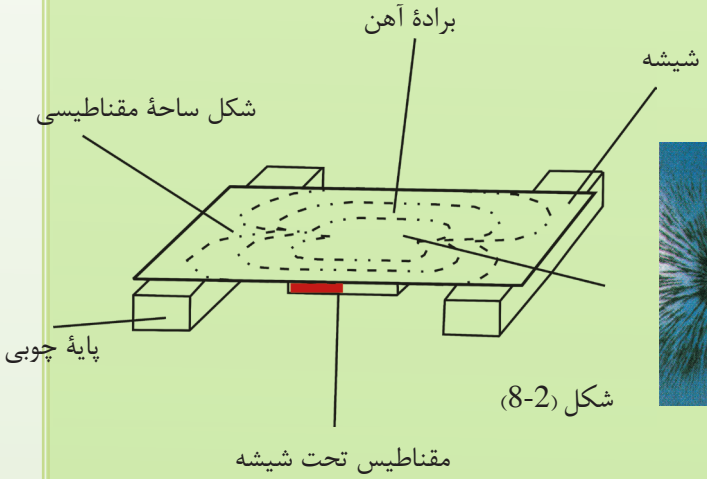
هدف: تشخیص ساحهٔ مقناطیسی در قسمت‌های مختلف یک میلهٔ مقناطیسی.

مواد مورد ضرورت

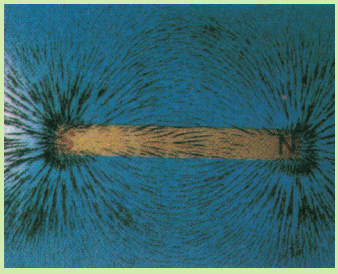
میلهٔ مقناطیس و شیشه.

طرزالعمل

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 روی 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. از اینجا نتیجه می‌شود که ساحهٔ مقناطیسی در انجام‌های مقناطیس قوی و در قسمت وسط آن ضعیف است.



شکل (2-8)



هم‌چنان به خاطر شـــناخت قطب‌های مقناطیسی و دانستن چگونه‌گی عمل متقابل بین شان این فعالیت را انجام می‌دهیم .

فعالیت

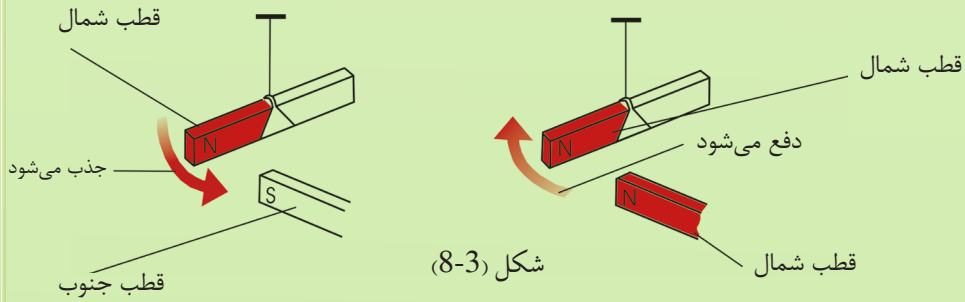
هدف: شناخت قطب‌های مقناطیسی و عمل متقابل بین شان.

مواد مورد ضرورت

میله‌های مقناطیسی دو دانه، تار به اندازهٔ ضرورت، میخ دو دانه، چکش.

طرزالعمل

هر دو میلهٔ مقناطیسی را طور آزاد آویزان نمایید. شما خواهید دید که این مقناطیس‌ها در امتداد شـــمال و جنوب قرار می‌گیرند؛ بنابرایـــن آن انجام‌های مقناطیس‌ها که به طرف شـــمال واقع می‌گردند به‌نـــام قطب‌های جنوب مقناطیس‌هـــا و انجام‌هایی که به‌طرف جنوب زمین قرار می‌گیرند به‌نام قطب‌های شمال مقناطیس‌ها یاد می‌شوند.

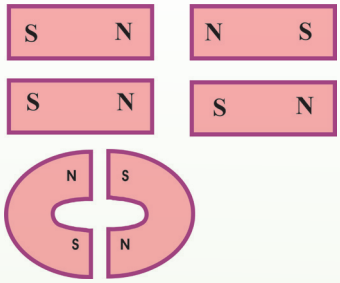


شکل (3-8)

بعد قطب‌های شـــمال مقناطیس‌ها و مرتبهٔ دوم قطب‌های جنوب را باهم نزدیک نمایید. در مرتبهٔ سوم قطب‌های شمال و جنوب را با همدیگر نزدیک نمایید. در نتیجه شما خواهید دید که قطب‌های شـــمال و هم‌چنان قطب‌های جنوب یکدیگر را دفع می‌نمایند، مگر قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌نمایند.

سؤال

1. در اشکال ذیل نشان دهید که در کدام حالت مقناطیس‌ها یکدیگر را جذب و در کدام حالت یکدیگر را دفع می‌نمایند.



2. اگر یک میلهٔ مقناطیسی را دو نصف نمایید، هر پارچه دارای چند قطب خواهد بود؟

سؤال

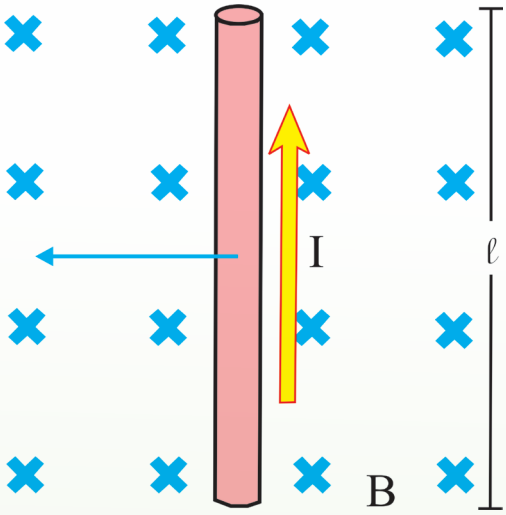
می‌دانید که در یک ساحهٔ مقناطیسی، با لای یک ذرهٔ چارج دار متحرک یک قوه عمل می‌نماید. چون جریان برق عبارت از جریان چارج‌ها ی متحرک است، پس آیا در بین یک ساحهٔ مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان، قوه وارد می‌شود؟ برای ارایهٔ جواب به این پرسش، بحث ذیل را ادامه می‌دهیم.

8-2: قوهٔ مقناطیسی بالای یک‌هادی حامل جریان

یک قطعه سیم مستقیم را با طول l که جریان I را انتقال می‌دهد، در بین یک ساحهٔ منظم مقناطیسی B مطابق شکل (8-4) در نظر می‌گیریم. هر گاه سمت‌های جریان برقی و ساحهٔ مقناطیسی بالای یکدیگر عمود باشند، مقدار قوهٔ مقناطیسی مجموعی بالای سیم توسط رابطهٔ ذیل نشان داده می‌شود.

$$F_m = B \cdot I \cdot l$$

(طول‌هادی در B) × (جریان) × (مقدار ساحهٔ مقناطیسی) = مقدار قوهٔ مقناطیسی



شکل (4-8) یک‌هادی حامل جریان برق در یک ساحهٔ مقناطیسی یک قوه‌یی را که به جهت جریان عمود است تولید می‌کند.

جهت قوهٔ مقناطیسی را بالای سیم می‌توانیم با اســتفاده از قانون دســت راســت دریافت نماییم. دست راست خود را طوری قرار دهید که کف دست تان درجهت ساحهٔ مقناطیسی و چهار انگشــت تان جهت جریان را داشته باشد. این چهار انگشت را طوری انحنا دهید که جهت جریان برق با جهت ساحهٔ مقناطیسی مطابقت نماید. در این حالت شصت تان جهت قوهٔ مقنا طیسی را بالای‌هادی نشان می‌دهد؛ بنابر این در شکل (4-8) جهت قوهٔ مقناطیسی بالای ســیم به‌طرف چپ می‌باشــد. هر گاه جهت جریان برق هم جهت ســاحه باشد یا جهت مخالف ساحه را داشته باشد، در این صورت قوهٔ مقناطیسی بالای سیم صفر است. از رابطهٔ فوق می‌توانیم بنویسیم که: $B = \frac{F}{Il}$

در این معادله می‌بینیم که در سیســتم SI، واحد ســاحهٔ مقناطیسی نیوتن (N) بر کولمب ضرب در متر فی ثانیه است که به‌نام تسلا (Tesla) یاد می‌شود و به T نشان داده می‌شود.

$$1\ T = 1\ \frac{N}{C.\frac{m}{s}}$$

چون کولمب بر ثانیه عبارت از امپیر است، پس می‌توانیم بنوسیم که: $1\ T = 1\ \frac{N}{A.m}$

مثال

ســیمی که دارای طول $36m$ است جریان، $22Amp$ را از طرف شرق به طرف غرب انتقال می‌دهد. هر گاه بالای سیم، قوهٔ مقناطیسی به سبب ساحهٔ مقناطیسی زمین به طرف پایین (به‌طرف زمین) و دارای مقدار $4.0\times10^{-2}N$ باشــد.در آن صورت مقدار ساحهٔ مقناطیسی و جهت آن‌را دریافت نمایید.

حل

کمیات داده شده: $F_m = 4.0\times10^{-2}\ N$ ، $l = 36m$ ، $I = 22\ Amp$،

کمیت مجهول $B = ?$

معادله‌یی را می‌نویسیم که بالای یک هادی حامل جریان برق از طرف ساحهٔ مقناطیسی عمودی، قوهٔ مقناطیسی را بیان می‌نماید:

$$F_m = B\ I\ l \quad .....(3)$$

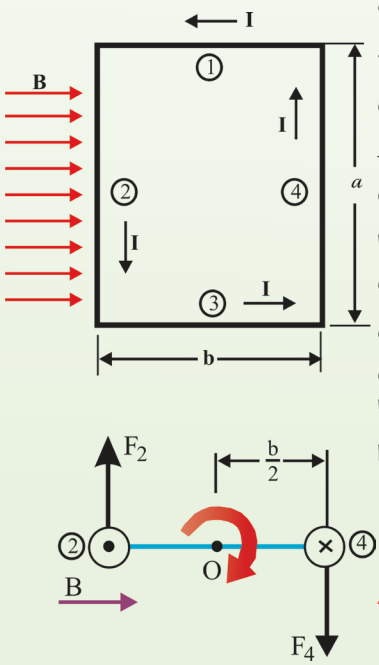
$$B = \frac{F_m}{I\ l}$$

$$B = \frac{4.0\times10^{-2}\ N}{(22\,Amp)(36m)} = 5.0\times10^{-5}\ T$$

با استفاده از قانون دست راست برای پیداکردن جهت $\vec{B}$ طوری ایستاده شوید که روی تان به‌طرف شمال باشد، شصت دست راست تان به طرف غرب (در جهت جریان برق) وکف دست تان را به طرف پایین (به طرف قوه) قرار دهید. جهت انگشتان دیگر تان به طرف شمال خواهد بود؛ بنابرین جهت ساحهٔ مقناطیسی زمین از طرف جنوب به طرف شمال می‌باشد.

8-2-1: مومنت بالای یک کوایل جریان دار

قبلاً نشان دادیم که بالای یک‌هادی حامل جریان در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید. بالای یک کوایل جریان دار در یک ساحهٔ مقناطیسی چگونه مومنت مقناطیسی عمل می‌نماید؟ به خاطر دریافت جواب برای این پرسش یک کوایل 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 کوایل هیچ قوه‌یی عمل نمی‌کند، زیرا این سیم ها با ساحه موازی اند. بالای کناره‌های 2 و 4 قوه‌های مقناطیسی عمل می‌کند؛ زیرا این کناره‌ها بالای ساحه عمود می‌باشد. مقدار این قوه‌ها براساس معادلهٔ (3) مساوی است به: $F_2 = F_4 = I \cdot a \cdot B$



شکل (8-5)

a) کوایل مستطیل شکل در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم

b) منظرهٔ کوایل از جانب پایین

بالای سیم 2، جهت قوهٔ مقناطیسی $\overrightarrow{F_2}$ از صفحهٔ کاغذ به طرف خارج است، چنانکه درشکل (8-5a) نشان داده شده است و بالای سیم 4، جهت قوهٔ مقناطیسی $\overrightarrow{F_4}$ از طرف صفحهٔ کاغذ به طرف داخل است. اگر از کنار 3 به طرف حلقه در امتداد کناره‌های 2 و 4 دیده شود، مانند شکل (8-5b) دیده می‌شود و جهت‌های دو قوهٔ مقناطیسی $\overrightarrow{F_2}$ و $\overrightarrow{F_4}$ 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 می‌نمایند. مقدار این مومنت یا تورک عبارت است از:

$$\tau_{max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB)\frac{b}{2} + (IaB)\frac{b}{2}$$
$$= Iab\ B$$

دراین 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 اعظمی‌تنها زمانی صدق می‌نماید که ساحهٔ مقناطیسی موازی با مستوی حلقه باشد.

مثال:

یک کوایل مستطیل شکل دارای ابعاد $5.40cm \times 8.50cm$ و 25 حلقه بوده و جریان، $15.0\,m\,amp$ را انتقال می‌دهد. کوایل دربین ساحهٔ مقناطیسی $0.350T$ که با مستوی کوایل موازی است گذاشته شده است. مقدار تورک عامل را بالای حلقه محاسبه نمائید.

حل: چون $\vec{B}$ بالای I و A عمود است پس داریم که:

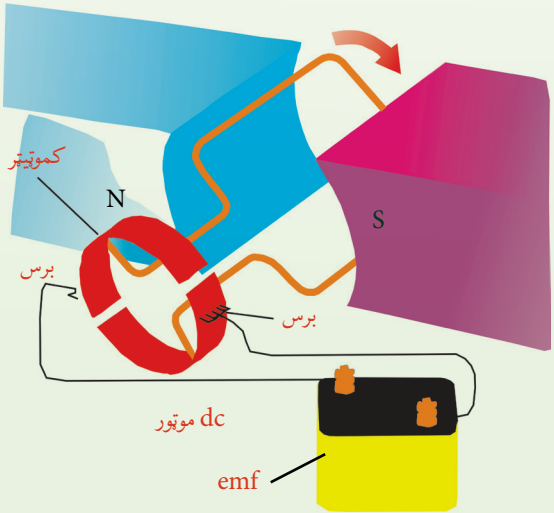
$$\tau = NIAB = (25)(15.0\times10^{-3}\,A)(0.0540m)(0.0850m)(0.350T)$$
$$= 6.02\times10^{-4}\ N.m$$

دراین جا، N تعداد حلقه‌های کویل است.

8-2-2: موتور برقی

موتور برقی چیست و چگونه کار می‌کند؟

موتور برقی ماشـینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید. کار موتور مبتنی برحقیقتی اسـت که در یک سـاحهٔ مقناطیسـی بالای یک‌هادی حامل جریان، قوهٔ مقناطیسـی عمل می‌کند. در موتور نیز جریان به کوایل داده می‌شـود. و بالای یک کوایل جریان دار قوهٔ مقناطیسـی سبب دوران آن می‌شـود (شکل دیده شود)، کوایل موتور بالای یک میلهٔ دوار نصب و دربین قطب‌های مقناطیس قرار داده شـده است. بورش‌ها با کموتیتر که در کوایل جریان را تغییر می‌دهد تماس دارد. این تغییر جریان سبب می‌شود که ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط جریان باید به‌صورت منظم تغییر نماید و به همین علت توسط سـاحهٔ مقناطیسی ثابت همیشـه دفع می‌گردد؛ بنابراین کوایل و میلهٔ دوار به حرکت ادامه می‌دهـد. یـک موتور می‌تواند در حالی کار میخانیکی را انجام دهد که کوایل دوار با یک آلهٔ خارجی و صل گردد. زمانی‌که کوایل در موتور دور می‌زند، مرکبهٔ عمودی ساحهٔ مقناطیسی درآن تغییـر می‌نماید ویک قوهٔ محرکهٔ برقـی (emf) را تولید می‌کند که در کوایل جریان را کاهش می‌دهد. این emf تولید شـده به‌نام emf معکوس یاد می‌گردد. emf معکوس با ازدیاد تغییر سـاحهٔ مقناطیسی تزاید می‌نماید. به عبارت دیگر، با دور خوردن سریع کوایل، emf معکـوس نیز زیـاد می‌گردد. تفاوت پوتانشـیل که برای موتور جریـان تهیه می‌نماید مسـاوی به تفاوت بین پوتانشـیل تطبیق شده و emf معکوس اسـت. در نتیجه، به سبب موجودیـت emf معکـوس نیز در کوایـل جریان کاهش می‌یابد. به هر انـدازه که موتور به سرعت دور می‌زند، در انجام‌های موتور emf خالص و در کوایل جریان خالص هر دو کوچک می‌گردد.



شـکل (6-8) در موتـور، جریان کوایل با سـاحهٔ مقناطیسـی عمل متقابل انجام می‌دهد که سبب دوران کوایل و میله‌یی می‌گـردد که کوایل بالای آن نصب شده است.

سؤالات

1. هر گاه در یک موتور از کموتیتر استفاده صورت نگیرد چه واقع می‌شود ؟ توضیح دهید.

8-3: قانون بیوت– ساوارت

ساحه‌های مقناطیسی که توسط قانون بیوت – ساوارت توضیح گردیده است ساحه‌هایی است که توسط یک‌هادی انتقال دهندۀ جریان تولید شده باشد. این‌هادی می‌تواند یک‌هادی مستقیم طویل باشد، شکل کوایل را داشته باشد و یا سولینویید باشد.

8-3-1: ساحۀ مقناطیسی یک‌هادی مستقیم طویل

ساحۀ مقناطیسی تولید شده توسط یک‌هادی حامل جریان طویل مستقیم را ذریعۀ تجربۀ ذیل ببینید:

فعالیت

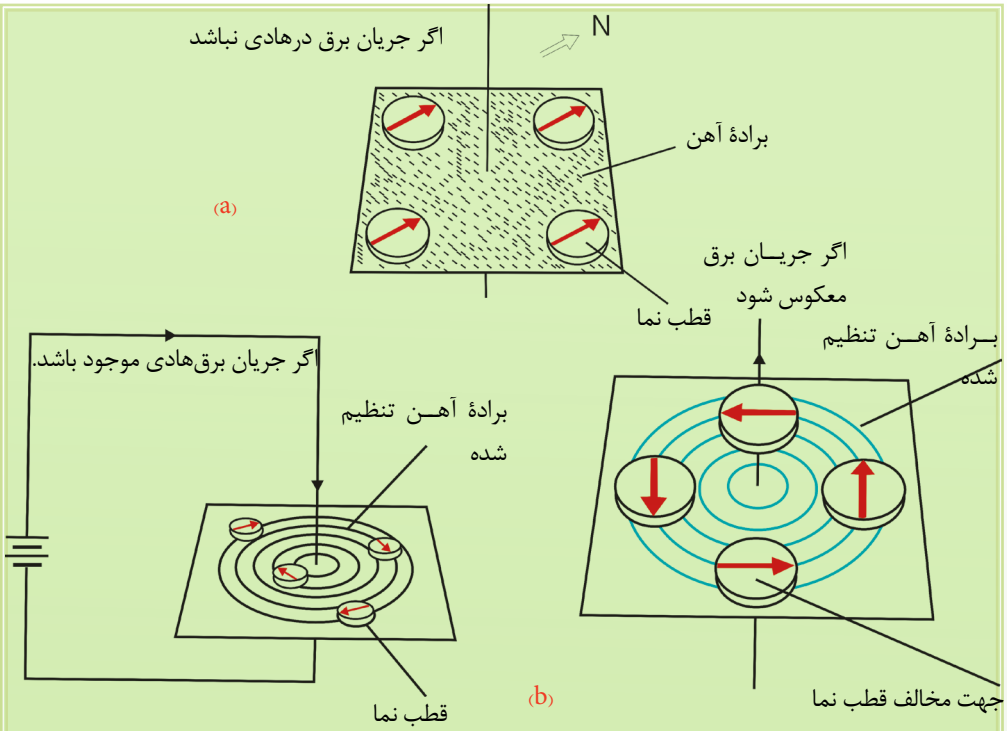
هدف: مشاهدۀ ساحۀ مقناطیسی یک سیم حامل جریان.

مواد مورد ضرورت

یک سیم طویل، یک ورق کاغذ سفید، بتری، برادۀ آهن به اندازۀ ضرورت، یک تعداد قطب نماها.

طرزالمعل

- سیم طویل را از کاغذ سفید طوری عبور دهید که کاغذ به‌صورت افقی قرار داشته باشد.
- بالای کاغذ برادۀ آهن را پاش دهید.
- انجام‌های سیم را با بتری وصل نمایید و جریان را از آن عبور دهید. چیزی را که مشاهده، می‌نمایید آن را باهم صنفیان خویش شریک سازید، شکل (7-8)



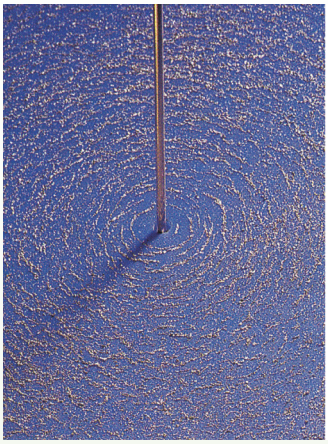
شکل (7-8)

هم‌چنان یک تعداد قطب‌ها را نزدیک سیم عمودی بالای مستوی افقی قرار دهید. زمانی‌که در سیم جریان وجود نداشته باشد، شما ببینید که عقربه‌های قطب نماها چگونه واقع می‌شوند. مرتبهٔ دیگر از سیم جریان را عبور دهید، ببینید که در موقعیت‌های عقربه‌های قطب نماها چگونه تغییر به وجود می‌آید؟ مشاهدات خویش را با یکدیگر تان شریک سازید.

حالت اول نشان می‌دهد که هر گاه از سیم جریان عبور نماید، برادهٔ آهن دراطراف سیم دایره‌های متحدالمرکز را تشکیل می‌دهد. در حالت دوم که در سیم جریان وجود نداشته باشد تمام عقربه‌ها به سبب ساحهٔ مقناطیسی زمین درعین جهت قرار می‌گیرند، مگر زمانی‌که از سیم یک جریان مستقیم قوی عبور نماید، عقربه‌های قطب نماها در اطراف سیم در جهت مماس به دسیممتحدالمرکز انحراف می‌نماید. از این تجارب واضح می‌گردد که ساحهٔ مقناطیسی توسط جریان تولید می‌شود. هر گاه جهت جریان تغیر نماید جهت عقربه‌ها نیز تغییر می‌نماید.

چگونه می‌توانیم جهت این ساحهٔ مقناطیسی را تعیین نماییم؟

از تجارب فوق واضح می‌گردد که جهت ساحهٔ مقناطیسی B برای جریان قرار دادی توسط یک قانون ساده تعیین می‌گردد که به‌نام قانون دست راست یاد می‌شود. اگر سیم را طوری در دست راست بگیریم که شصت ما جهت جریان را داشته باشد، طوری‌که در شکل نشان داده شده است، انحنای چهار انگشت دیگر ما در جهت B می‌باشد.





شکل (8-8)

a- وقتی‌که سیم یک جریان قوی را انتقال می‌دهد.

b- عقربه‌هـای قطب نماها می‌تواند غرض نشـان دادن سا حهٔ مقناطیسی به‌کار برده شود.

هم‌چنان شکل (8-9) نشان می‌د هد که B در هر محل مسیر دایروی یا مرکزیت سیم، دارای عین مقدار بوده و در مستوی عمودی بالای سیم واقع می‌باشد. تجارب نشان می‌دهد که B با جریان در سیم تناسب مستقیم و به فاصله از سیم 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 به‌صورت تجربی حاصل می‌گردد. μ_0 به‌نام ضریب نفوذ فضای آزاد یاد می‌شود و قیمت آن $4\pi \times 10^{-7}\ \frac{weber}{A.m}$ و یا $\frac{T}{m}$ است.



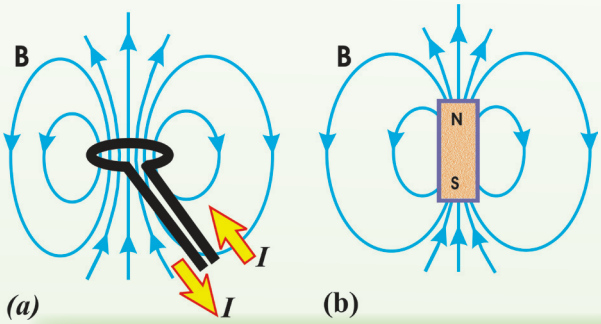
شـکل (8-9) اسـتفاده از قانون دست راست برای تعیین B

8-3-2: ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل

چگونه می‌توانیم جهت ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط یک کوایل دایروی حامل جریان را تعیین نماییم ؟ جهت ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل دایروی حامل جریان را چنانکه 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، ساحه در نقاط داخل حلقه دارای عین جهت بوده و به طرف بالا می‌باشد. یاد آوری می‌گردد که خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان مشابه به خطوط یک میلهٔ مقناطیسی می‌باشد، چنانکه در شکل(8-10b) نشان داده شده است.

برای یک حلقه، ساحه 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 $B = \frac{N\mu_o I}{2R}$ می‌باشد.



شکل (8-10)
a- ساحهٔ مقناطیسی یک کوایل دایروی حامل جریان
b- ساحهٔ مقناطیسی یک میلهٔ مقناطیسی

فعالیت

هدف: ساختن الکترو مقناطیس

مواد مورد ضرورت: بتری‌های خشک، سیم پوش دار به اندازهٔ یک متر، یک میز بزرگ، عقربهٔ مقناطیسی.

طرزالعمل

سیم را به اطراف میخ پیچانیده، از انجام‌های سیم پوش آن را دور ساخته و بعد این انجام‌ها را به ترمینل‌های بتری وصل نمایید. از عقربهٔ مقناطیسی به خاطری استفاده نمایید که نشان دهید آیا میخ مقناطیس شده است یا خیر. بعد بتری را طور معکوس وصل نمایید تا جهت جریان تغییر

نماید. بار دیگر عقربهٔ مقناطیسی را به همان قسمت میخ نزدیک سازید. شما خواهید دید که نوک عقربهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید. آیا می‌توانید توضیح نمائید که چرا جهت عقربهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید؟ گیراهای کاغذ را به میخ در حالی نزدیک نمائید که بتری وصل باشد. با گیراهای کاغذ چه واقع می‌شود؟ با تغییر دادن تعداد حلقه‌ها بالای میخ و هم‌چنان با اتصال دو بتری، تجربه را تکرار نمایید و چیزی را که می‌بینید توضیح دهید.

8-3-3: ساحهٔ مقناطیسی سولینویید

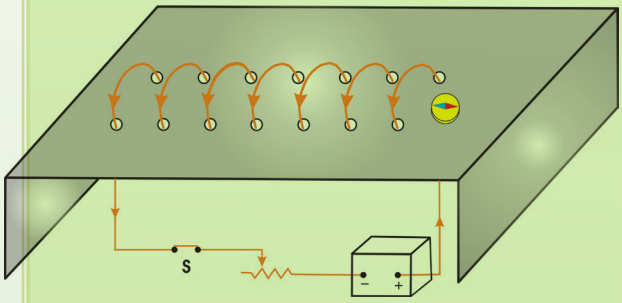
سولینویید چیست؟ ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط سولینویید در کدام محل قویتر می‌باشد؟ گذاشتن یک میلهٔ آهن در داخل سولینویید بالای ساحهٔ مقناطیسی چه تأثیر دارد؟

سولینویید عبارت از یک سیم طویل است که به‌شکل فنر پیچیده شده باشد؛ چنانکه در شکل (8-11) نشان داده شده است.

فعالیت زیر را انجام دهید

فعالیت

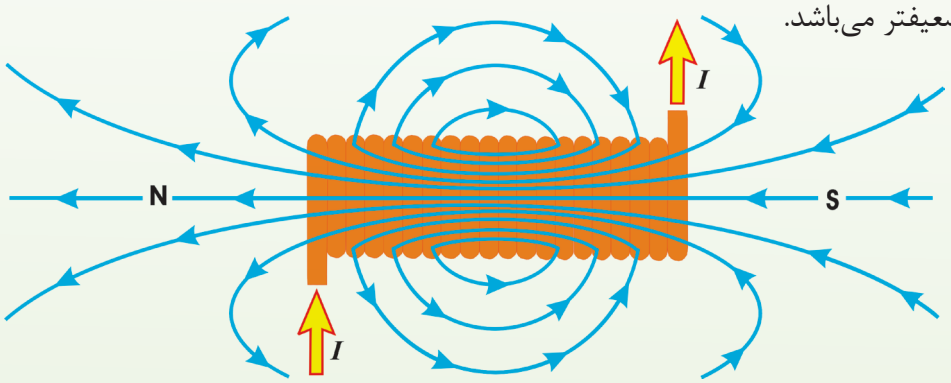
یک قطی پلاستیکی یا کاغذی را گرفته و در امتداد دو خط به فاصله‌های مساوی آن را سوراخ نمایید. یک سیم را از سوراخ‌ها طوری عبور دهید که مطابق شکل، یک سولینویید ساخته شود. از سولینویید یک جریان ثابت را عبور دهید و با استفاده از عقربهٔ مقناطیسی یا برادهٔ آهن خطوط ساحهٔ مقناطیسی سولینویید را نشانی کنید. مشاهدات خویش را با هم شریک ساخته و بعد با معلوماتی که در مورد ساحهٔ مقناطیسی سولینویید به دست آورده اید مقایسه نمایید.



شکل (8-11)

سولینویید در بسیاری موارد مهم است؛ زیرا وقتی‌که سولینویید جریان را انتقال می‌دهد، مانند یک مقناطیس عمل می‌نماید. ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید 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 سولینویید را نشان می‌دهد. μ_o ثابت و I اندازهٔ جریان مستقیم در سولینویید است. در داخل کوایل با گذاشتن یک میلهٔ آهنی می‌توانیم ساحهٔ مقناطیسی سولینویید را افزایش دهیم: این آله عموماً به‌نام الکترومگنیت یاد می‌شود. ساحهٔ مقناطیسی که در میله تولید می‌شود. با ساحهٔ مقناطیسی سولینویید جمع می‌شود، که معمولاً یک مقناطیس قوی را می‌سازد. شکل (12-8) خطوط ساحهٔ مقناطیسی یک سولینویید را نشان می‌دهد. گفتنی است که خطوط ساحه در داخل سولینویید دارای عین جهت بوده، تقریباً موازی اند، طور منظم واقع اند و باهم نزدیک می‌باشند. این نشان می‌دهد که ساحه در داخل سولینوییدقوی و تقریباً منظم است. ساحهٔ خارج سولینویید غیر منظم و نسبت به ساحهٔ داخل سولینویید ضعیفتر می‌باشد.



شکل (12-8) در داخل سولینویید ساحه قوی و منظم است.

سؤالات

1- ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط یک سیم حامل جریان مستقیم دارای کدام شکل است؟

2- چرا ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید نسبت به خارج سولینویید قویتر است؟

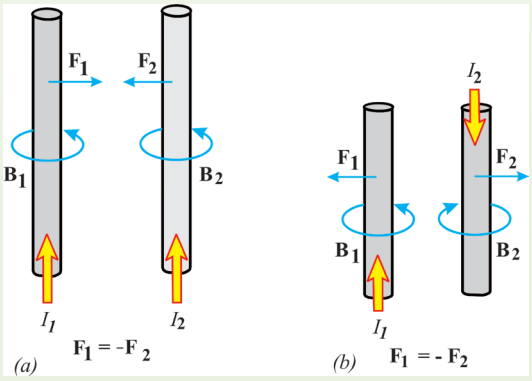
8-4: قوه‌های مقناطیسی بین دو سیم حامل جریان

هر گاه یک‌هادی حامل جریان در یک ساحهٔ خارجی واقع گردد، آیا بالای‌هادی قوهٔ 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 ساحهٔ مقنا طیسی خارجی واقع گردد، بالای آن قوهٔ مقناطیسی عمل می‌نماید؛ زیرا جریان‌هادی، خود یک ساحهٔ مقناطیسی را تولید می‌نماید و در نتیجهٔ عمل متقابل بین این دو ساحهٔ مقناطیسی، بالای‌هادی، قوهٔ مقناطیسی عمل می‌کند. از این‌جا 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 ساحهٔ مقناطیسی که توسط یک‌هادی تولید می‌شود بالای جهت جریان‌هادی دیگر عمود می‌باشد، و برعکس نیز چنین است. به این ترتیب قوهٔ مقناطیسی $F_m = BIl$ را بالای یکدیگر وارد می‌نمایند، در این جا B مقدار ساحهٔ مقناطیسی است که توسط یک‌هادی به‌وجود می‌آید.

حال دو سیم طویل مستقیم و موازی را طوری در نظر می‌گیریم که در شکل(8-13) نشان داده شده است. هر گاه جریان‌ها در هر دو سیم دارای عین جهات باشند، دو سیم یکدیگر را جذب می‌نمایند. این ادعا با استفاده از قانون دست راست به اثبات می‌رسد.

جهت شصت شما جهت جریان دریک سیم، جهات انگشتان شما جهت ساحهٔ تولید شده توسط سیم و جهت و کتوری که از کف دست شما در این حالت خارج می‌گردد، جهت قوه را به طرف سیم دیگر نشان می‌دهد. هر گاه جریان‌ها در سیم ها دارای جهات مخالف باشند، سیم ها یکدیگر را دفع می‌نمایند.



شـــکل (8-13) دو سیم موازی که هر کدام آن جریان ثابت را انتقـــال می‌دهد، یکی بالای دیگری قوهٔ مقناطیســـی وارد می‌نماید.

a- هر گاه جریان‌ها دارای عین جهت باشند سیمها یکدیگر را جذب می‌نمائید.

b- هر گاه جریان‌ها دارای جهات مخالف باشـــند، ســـیمها یکدیگر را دفع می‌نمایند.

خلاصهٔ 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 عقربهٔ قطب نما مشاهده می‌گردد که به نام ساحهٔ مقناطیسی یاد می‌شود.

• بالای یک سیم مستقیم با طول l که جریان I را انتقال می‌دهد در بین ساحهٔ مقناطیسی، قوهٔ مقناطیسی ذیل می‌نماید. $F = BIl$

• هر گاه یک حلقهٔ مستطیل شکل که دارای عرض a وطول b بوده و جریان I در آن جاری باشد در ساحهٔ مقناطیسی قرار گیرد که با مستوی حلقه موازی باشد ،مومنت اعظمی‌بالای حلقه عبارت است از: $\tau_{max} = Iab\,B$ دراین جا A مساحت حلقه است.

$$= IAB$$

• موتور برقی ماشینی است که انرژی برقی را به انرژی میخانیکی تبدیل می‌نماید.

•قانون بیوت- ساوارت آن ساحهٔ مقناطیسی را بیان می‌نماید که توسط یک هادی حامل جریان تولیده شده باشد. این‌هادی می‌تواند یک‌هادی مستقیم طویل باشد، شکل کوایل را داشته باشد یا سولینویید باشد.

• ساحهٔ مقناطیسی (B) یک هادی 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 این‌جا $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ثابت تناسب است. μ_0 به‌نام 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:

$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}$ دراین جا R شعاع حلقه است.

• شدت ساحهٔ مقناطیسی در داخل سولینویید نسبت به جریان تزاید 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 سولینویید است.

سوالات اخیر 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 ناشده 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 سولینویید تابع کدام فکتورها است؟

6- هرگاه یک سولینویید توسط تاری طوری آویخته شده باشد که بتواند طور آزاد دور بزند،

زمانی‌که سولینویید جریان مستقیم را انتقال دهد آیا از آن به حیث یک قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ هرگاه جریان آن متناوب باشد، آیا باز هم از آن به‌حیث قطب نما استفاده کرده می‌توانیم؟ توضیح دهید.

7- یک سیم، جریان $10.0A$ را در جهتی انتقال می‌دهد که با ساحهٔ مقناطیسی زاویه 90° را تشکیل می‌دهد. هرگاه بالای طول $50m$ این سیم، مقدار قوهٔ مقناطیسی $15.0N$ باشد، شدت ساحهٔ مقناطیسی را در یافت نمایید؟

8- جریان $I=15A$ در جهت مثبت محور X و عمود بالای ساحهٔ مقناطیسی جاری می‌باشد. بالای هادی در جهت منفی محور y قوهٔ مقناطیسی در فی واحد طول آن $0.12\frac{N}{m}$ است. مقدار و جهت ساحهٔ مقناطیسی را در ناحیه‌یی محاسبه نمایید که جریان از آن عبور می‌نماید.

9- ساحهٔ مقناطیسی را در داخل سولینویید چگونه می‌توان قوی کرد؟

a- با ازدیاد تعداد حلقه‌ها در فی واحد طول.

b- با تزاید جریان.

c- با گذاشتن میلهٔ آهنی در بین سولینویید.

d- توسط تمام نقاط ذکر شدهٔ فوق.

10 - فرض می‌کنیم برق در دو هادی (سیم های 1 و 2) در جریان است:

هر گاه سیم 1 جریان I_1 را انتقال و ساحهٔ مقناطیسی B_1 را تولید نماید و سیم2 جریان I_2 را در عین جهت انتقال و ساحهٔ مقناطیسی B_2 تولید نماید. جهت قوهٔ ساحهٔ مقناطیسی درموقعیت سیم2:

a- به‌طرف چپ است.

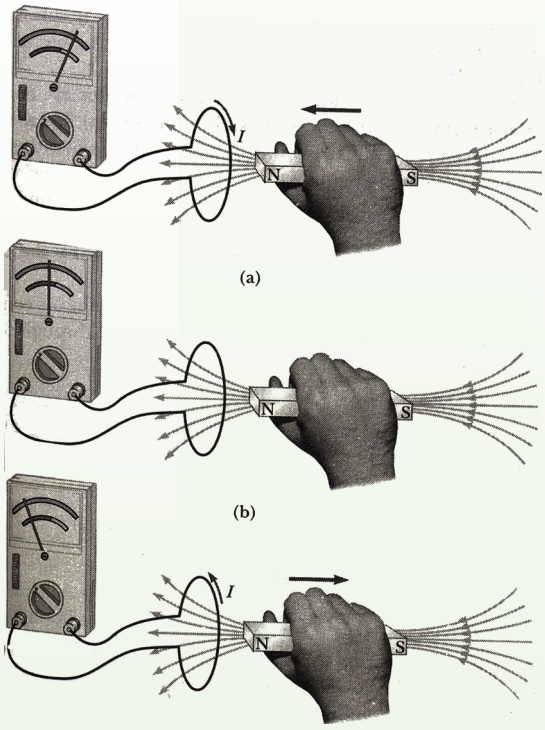
b- به‌طرف راست است.

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 القا در مادۀهادی، چارج برقی تولید می‌شود و درحالت دوم به سبب القا در یک مادۀ 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 سؤالی مطرح می‌گردد که قوۀ محرکۀ برقی این جریان القا شده را چه می‌گویند؟ القای خودی چیست؟ برای این پرسش‌ها با مطالعۀ این فصل جواب گفته می‌توانیم. زمانی‌که این موضوعات را درک نمودیم بعد به سؤالاتی؛ مانند این که سرکت RL چگونه سرکتی است؟ در کوایل انرژی چگونه ذخیره می‌شود؟ سرکت‌های RC و LC چگونه سرکت‌هایی اند؟ القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد؟ ترانسفارمر چیست؟ و جنراتور برقی داینمو 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 حلقۀ سیم را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل فوق با یک گلوانومتر وصل شده است. زمانی‌که یک مقناطیس به این حلقه نزدیک آورده شود عقربۀ گلوانومتر به یک طرف انحراف می‌نماید و این عقربه در حلقه موجودیت جریان برق را نشان می‌دهد که در شکل (a) انحراف عقربه گلوانومتر به طرف راست نشان داده شده است. زمانی‌که حرکت

مقناطیسی توقف داده شود و مقناطیس نسبت به حلقه حالت سکون را اختیار نماید؛ مطابق شـکل (a))، انحراف عقربهٔ گلوانومتر مشاهده نمی‌شـود. این عملیه عدم موجودیت جریان برق را در حلقه نشـان می‌دهد. زمانی‌که مقناطیس از حلقه دور می‌شود عقربهٔ گلوانومتر در جهت مخالف حرکت می‌نماید. چنانکه در شکل (b) نشان داده شده است، این کار در حلقه موجودیت جریان برق را در جهت مخالف نشـان می‌دهـد. بالآخره اگر مقناطیس در حالت سـکون حفظ گردد و حلقه به آن نزدیک یا از آن دور سـاخته شود، عقربهٔ گلوانومتر انحراف می‌نماید. از این مشـاهدات نتیجه می‌شود که در وقت حرکت مقناطیس نسبت به حلقه در حلقه سـاحهٔ مقناطیسی تغییر می‌نماید؛ بنابراین مشـاهده می‌شود که بین جریان و ساحهٔ مقناطیسـی متغییر رابطه‌یی وجود دارد. نتایج این تجارب حقیقتی را آشکار می‌سازد که در یک سـرکت حتا در صـورت عدم موجودیت بطری هم جریان برق تولید می‌شـود. این نوع جریان به نام جریان القا شـده یاد می‌شـود و گفته می‌شود که این جریان به وسیلهٔ یک قوهٔ محرکهٔ برقی (*emf*) القا شده تولید می‌شود؛ بنابراین مفهوم جریان القایی و *emf* القایی را باید شناخت، و به این منظور سرکت‌های RC، RL و LC مطالعه می‌شود، این‌که در کوایل انرژی چگونه ذخیره می‌شـود نیز در این فصل مطالعه می‌گردد. به همین‌گونه این‌که القای متقابل چگونه صورت می‌گیرد، ترانسـفارمر 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:

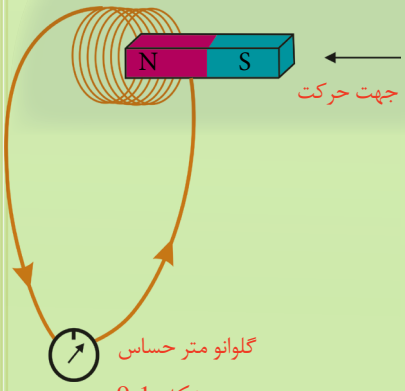
فعالیت

مواد مورد ضرورت

مقناطیس میلـه مانند، گلوانومتر حسـاس، کوایل ساخته از سیم، لین‌های اتصالی

طرزالعمل

1. کوایـل و گلوانومتـر را مطابق شـکل ذیل وصل نمایید.
2. میلـهٔ مقناطیسـی را به کوایـل نزدیک نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را بنویسید.
3. میلهٔ مقناطیسـی را از کوایل دور نمایید، چیزی را که می‌بینید آن را یادداشت نمایید.



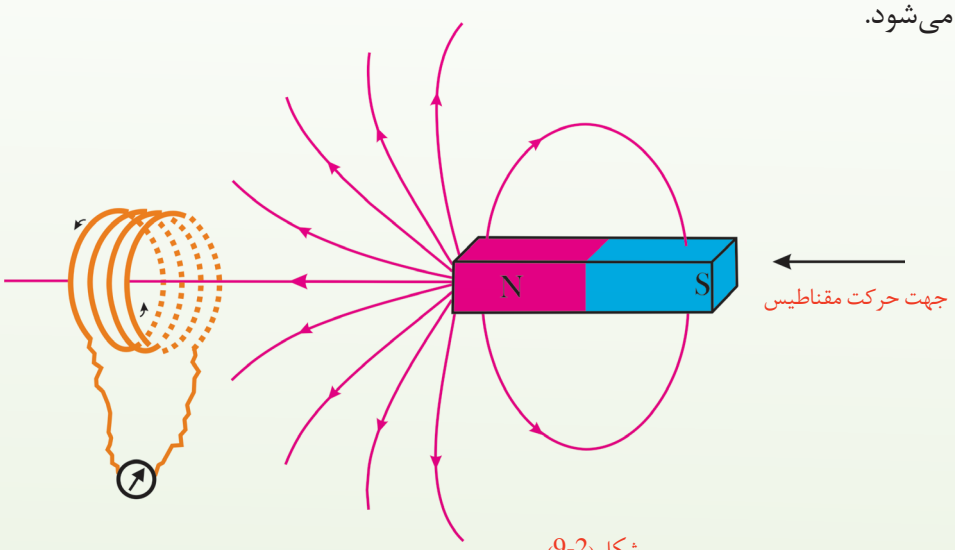
شکل (1-9)

نتیجه

شـــما مشاهده خواهید کرد که با نزدیک یا دور ســـاختن میلهٔ مقناطیسی به کوایل، عقربهٔ گلوانومتر انحراف می‌نماید و این موجودیت جریان برق را در کوایل نشان می‌دهد، یعنی که به سمت حرکت میلهٔ مقناطیسی نسبت به کوایل، در کوایل جریان برق تولید می‌شود. این حادثه را القای الکترومقناطیسی و جریان تولید شده را جریان برقی القا شده می‌گویند.

این‌که چگونه حرکت میلهٔ مقناطیســـی نســـبت به کوایل سبب تولید جریان برقی القا شده می‌گردد، آن را چنین توضیح می‌دهیم:

نزدیک یا دور شـــدن میلهٔ مقناطیســـی به کوایل سبب تغییر ســـاحهٔ مقناطیسی در کوایل می‌شود.



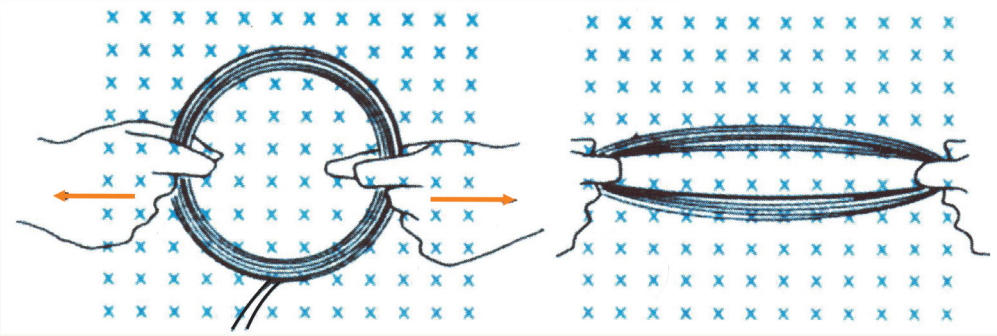
شکل (2-9)

و به این ســـبب در کوایل جریان القای برقی به وجود می‌آید. از اینجا نتیجه می‌گیریم که: تغییر ســـاحهٔ مقناطیســـی از یک حلقهٔ بســـته ســـبب ایجاد جریان برقی القا شده در حلقه می‌گردد.

برعلاوهٔ طریقه‌های ذکر شـــدهٔ فوق طریقه‌های دیگری نیز وجود دارند که می‌تواند توســـط آن‌ها جریان برق در کوایل تولید شود.

اگر یک کوایل در بین ســـاحهٔ مقناطیســـی منظم گذاشته شـــود، بعد شکل کوایل را تغییر

دهیم طوری‌که مساحت کوایل تغییر نماید، مشاهده می‌شود که به سبب این عمل در کوایل 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

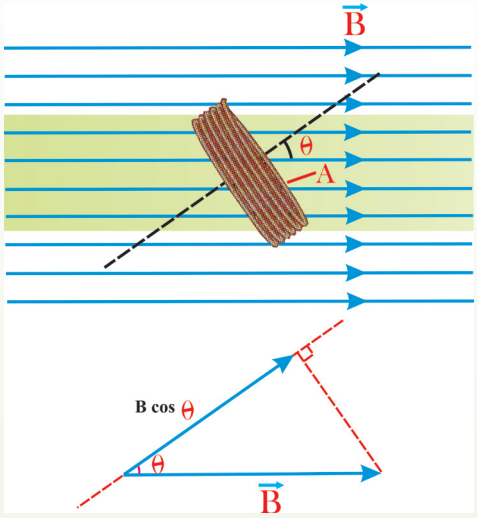
شما دیدید زمانی‌که میلهٔ مقناطیسی به حلقه نزدیک آورده می‌شود یا از حلقه دور می‌گردد، در حلقه جریان برق تولید می‌شود که این جریان به وسیلهٔ *emf* القایی تولید می‌شود. از این تجربه آشکار می‌گردد که با نزدیک کردن و دورساختن میلهٔ مقناطیسی از حلقه و هم‌چنان در صورت تغییر سایز حلقه، شدت ساحهٔ مقناطیسی تغییر 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 سایز 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 حلقهٔهادی 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 محاسبهٔ emf القا شده باید از قانون اندکشن مقناطیسی فارادی استفاده نمایید. برای یک حلقهٔ سرکت، این قانون طور ذیل بیان می‌شود:

$$emf = -\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مقناطیسی ϕ_M را می‌توانیم طور ذیل نیز بنویسیم:

$$\phi_M = AB\cos\theta$$



شکل (4-9) زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه با شدت ساحهٔ مقناطیسی بالای مستوی حلقه مساوی می‌باشد.

این رابطه بیان می‌نماید که تغییر شدت ساحهٔ مقناطیسی B، مساحت حلقهٔ A و زاویه θ نظربه زمان، (emf) القا شده را تولید می‌کند و حد $B\cos\theta$ مرکبهٔ عمودی ساحهٔ مقناطیسی را بالای مستوی حلقه نشان می‌دهد. زاویهٔ θعبارت از زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و عمود بالای مستوی حلقه می‌باشد؛ چنانکه در شکل نشان داده شده است:

$$emf = -\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$$

فلکس مقناطیس ϕ_M را چنین نوشته کرده می‌توانیم: $\phi_M = AB\cos\theta$

علامت منفی نشان می‌دهد که ساحهٔ مقناطیسی القا شده، مخالف تغییر ساحهٔ مقناطیسی تطبیق شده است. اگر تعداد حلقه‌های پیچیده شده N باشد، emf القا شدهٔ وسطی به طور ساده، N برابر emf القا شده است که برای یک حلقه می‌باشد؛ بنابر این شکل عمومی‌قانون اندکشن مقناطیسی فارادی عبارت است از: $emf = -N\frac{\Delta\phi_M}{\Delta t}$، در این جا N تعداد حلقه‌ها است.

گفتنی است که واحد ساحهٔ مقناطیسی در سیستم SI تسلا (T) است که با $1\frac{N}{A\cdot m}$ مساوی می‌باشد؛ چون $N = V\cdot A\cdot s/m$ است، پس می‌توانیم تسلا را با واحد معادل $\frac{V\cdot S}{m^2}$ نیز نشان دهیم.

9-3: القای خودی (Self Induction)

کلمهٔ القا برای کدام (*emf*)ها و جریان‌ها به کار برده می‌شود؟

کلمهٔ القا برای *emf*ها و جریان‌هایی به کار برده می‌شود که توسط تغییر ساحهٔ 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 اعظمی‌خود می‌رسد؟

زمانـــی که وصل گردد جریان از صفـــر الی قیمت اعظمی‌اش (ε/R) به طور ناگهانی جهش نمی‌کند و این موضوع را قانون اندکشن فارادی طور ذیل بیان می‌نماید:

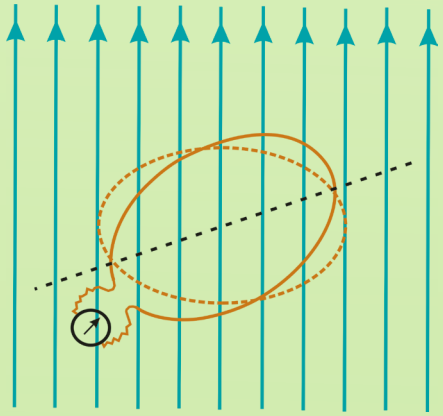
زمانی‌که جریان برق نظر به وقت تزاید می‌نماید، از بین حلقهٔ سرکت، فلکس مقناطیسی نیز به ســـبب این جریان نظربه وقت تزاید می‌کند. این فلکس زیاد شـــونده در سرکت یک *emf* القا شـــده را تولید می‌کند *emf* القا شـــده دارای جهتی می‌باشـــد که در حلقه جریان تولید نماید تا ساحهٔ مقناطیسی ناشی از آن مخالف تغییر ساحهٔ مقناطیسی اصلی باشد. بنابر این *emf* القا شـــده دارای جهت مخالف *emf* بتری می‌باشد. این حالت به نسبت تزاید لحظوی جریان برق الی قیمت نهایی حالت تعادل آن بیشـــتر تزاید تدریجی آن را نشـــان 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 ســـرکت آن‌را تولید می‌نماید. قوهٔ محرکهٔ برقی ε_1 که در این حالت تولید می‌شود، به نام *emf* القا شده یاد می‌گردد.

فعالیت

با اجرای فعالیت ذیل با طریقهٔ دیگری تولید جریان برق القا شده آشنا می‌شویم.

میلهٔ مقناطیسی را در نزدیک یک حلقه بگذارید. بدون این‌که فاصلهٔ میلهٔ مقناطیسی از حلقه تغییر نماید، حلقه را دور بدهید. چیزی را که در گلوانومتر مشـــاهده می‌کنید آن را یادداشـــت نمایید. شما خواهید دید که با انجام این کار، گلوانومتر یک جریان برق را نشان می‌دهد. علت آن این است که با دور دادن حلقه در بین ساحهٔ مقناطیسی مطابق شکل (5-9) شدت ســـاحهٔ مقناطیسی و مساحت حلقه تغییر نمی‌کند، بلکه زاویه بین ساحهٔ مقناطیسی و مساحت تغییر می‌نماید. از این فعالیت نیز نتیجه می‌شود که: تغییر زاویه بین حلقه و ساحهٔ مقناطیسی نیز عامل ایجاد جریان القا شده می‌گردد.

طرق ایجاد جریان القا شده در یک حلقه طور ذیل خلاصه می‌شود:



شکل (5-9) در زمان دوران حلقه در ساحهٔ مقناطیسی زاویه بین مساحت حلقه و ساحهٔ مقناطیسی

مشـــاهده می‌شود که یا تغییر ســـاحهٔ مقناطیسی در حلقه، تغییر مساحت حلقه و یا با تغییر زاویه بین مساحت و جهت ساحهٔ مقناطیسی، در کوایل جریان برق تولید می‌شود.
حال کمیتی را تعریف می‌نماییم که این ســـه کمیت نام‌برده در آن شـــامل باشد و آن عبارت از فلکس مقناطیسی می‌باشد.

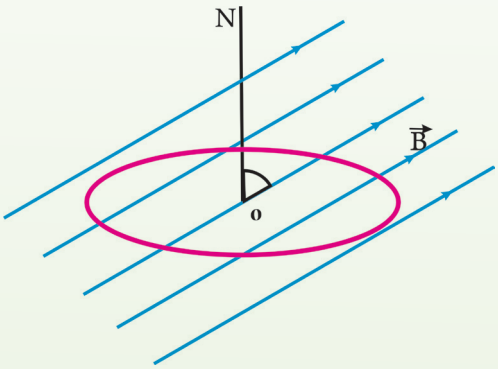
فلکسی مقناطیسی

فرض نمایید که با مســـاحت A یک حلقه مطابق شـــکل ذیل در ســـاحهٔ منظم B قرار دارد. فلکس مقناطیســـی که از این ســـطح عبور می‌نماید طور ذیل تعریف و توسط ϕ نشـــان داده می‌شود.

$$\phi = BA\cos\theta$$

در رابطهٔ فوق θ زاویه بین جهت ساحهٔ مقناطیسی $\vec{B}$ و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد. در سیســـتم SI واحد فلکس مقناطیســـی ویبر (Wb) اســـت. از معادلهٔ فوق نتیجه می‌شود که:

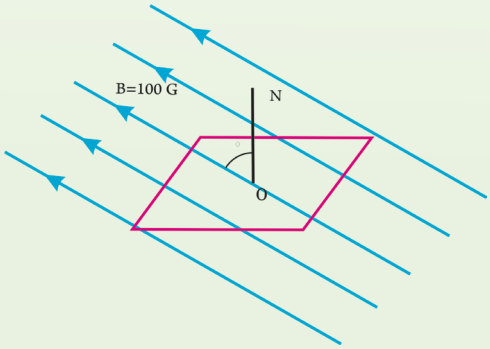
$$1Wb = 1T \times 1m^2$$



شکل (9-6) در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم $\vec{B}$ حلقه و عمود N بالای سطح حلقه و θ زاویه بین عمود N و ساحهٔ مقناطیسی است.

مثال

الف) فلکس مقناطیسی را از بین سطح حلقهٔ مستطیل شکلی که دارای ابعاد $20cm \times 30cm$ باشد در حالی دریافت نمایید که عمود بالای سطح آن با ساحهٔ مقناطیسی 100 گوس، زاویهٔ 60° را تشکیل بدهد.



شکل (9-7)

ب) اگـر ایـن حلقه را طوری دور بدهیم که زاویه بین خط عمود بالای آن و خطوط سـاحهٔ مقناطیسی از 60° به 30° کاهش یابد، تغییر فلکس مقناطیسی را دریافت نمایید.

حل

الـف) مطابق شـکل، خط ON را بالای سـطح طور عمود رسـم نمایید. زاویه بین سـاحهٔ مقناطیسی و خط ON، 60° است، بنابرین داریم که:

$$A = 30 \times 20 = 600cm^2 = 6 \times 10^{-2} m^2$$
$$B = 100G = 10^{-2} T$$
$$\phi = BA\cos\theta = 10^{-2} \times 6 \times 10^{-2} \cos 60^\circ$$
$$= 3 \times 10^{-4} Wb$$

ب) در وضعیت جدید داریم که:

$$\theta' = 30^\circ$$
$$\phi' = BA\cos\theta' = 10^{-2} \times 6{,}0 \times 10^{-2} \cos 30^\circ$$
$$\phi' = 5.2 \times 10^{-4} Wb$$

تغییر فلکس به سبب این دوران عبارت است از:

$$\Delta\phi = \phi' - \phi = 5.2 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2} = 2.2 \times 10^{-4} Wb$$

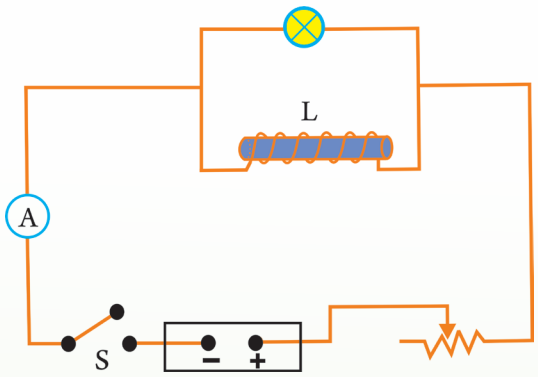
فعالیت

هدف: مطالعهٔ تغییر جریان در یک سرکت و ترسیم گراف آن.

مـواد مورد ضرورت: یک چراغ 12 ولت، بتری، ریوسـتات (مقاومت متغییر)، سـویچ، لین‌های ارتباطی، کوایل (دارای 200 یا 400 حلقه باشد)، هستهٔ آهنی

طرزالعمل

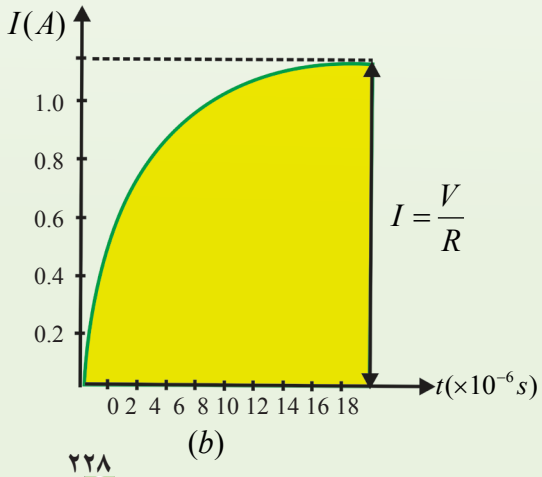
1. سرکت را مطابق شکل ذیل وصل نمایید.
2. ریوستات را طوری تنظیم نمایید که چراغ طور ضعیف روشن گردد.
3. سـویچ را ناگهانی قطع نمایید و مشـاهدات خویش را با گروه خود تحت بحث قرار داده و بعد با هم صنفان خود آن را شریک سازید.



شکل (9-8)

نتیجه: چنانکه می‌دانید که تغییر جریان در یک کوایل سبب تولید قوهٔ محرکهٔ برقی در کوایل می‌گردد. تولید قوهٔ محرکهٔ 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 کوایل با حلقه‌های نسبتاً بیشتری به انجام‌های یک بتری وصل گردیده است.

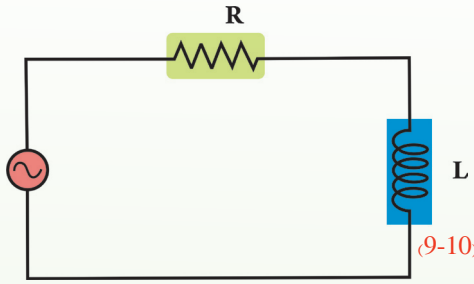
زمانی‌که سویچ را وصل می‌نماییم جریان به طور ناگهانی به همان اندازه نمی‌رسد که از قانون اوم ($I=\frac{V}{R}$) بدست می‌آید. ازین جا نتیجه می‌شود که در حین وصل سویچ، جریان با تزاید آغاز می‌نماید و قوهٔ محرکهٔ برقی خود در مقابل قوهٔ محرکهٔ برقی بتری القا می‌گردد. در نتیجه جریان در سرکت از حالتی کوچکتر می‌شود که کوایل در سرکت نباشد، یعنی جریان از آن اندازه کوچکتر است که از رابطهٔ $I=\frac{V}{R}$ حاصل می‌شود. با گذشت زمان و با نزدیک شدن جریان به قیمت I چگونه‌گی تغییر جریان بطی می‌گردد. چون جریان برابر به قیمت I گردید بعد از این جریان تغییر نکرده و قوهٔ محرکهٔ برقی صفر می‌شود.



شکل (9-9) در سرکتی که شامل کوایل است اثر کوایل بالای:
a) مقاومت R کوایل.
b) چگونگی تغییر جریان در حین وصل کردن سویچ.

9-4: سرکت‌های RL

سرکتی را در نظر می‌گیریم که شامل یک مقاومت و یک کوایل باشد؛ چنانکه در شکل (9-10) نشان داده شده است. به اساس دیاگرام فاز که در شکل (9-10) رسم گردیده است، ولتیج انجام‌های مقاومت با جریان هم فاز می‌باشد و ولتیج انجام‌های کوایل با جریان به اندازهٔ زاویهٔ 90° تفاوت فاز دارد. ولتیج مجموعی عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد. مقدار ولتیج مجموعی عبارت است از:



شکل (9-10)

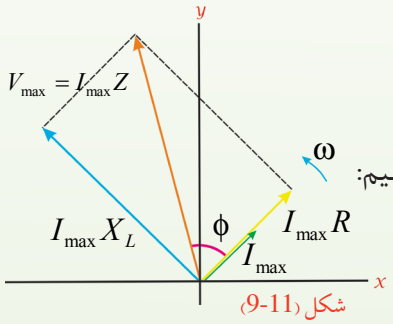
$$V_{max} = \sqrt{(I_{max}R)^2 + (I_{max}X_L)^2}$$
$$= I_{max}\sqrt{R^2 + X_L{}^2} = I_{max}Z$$

افاده‌یی که در این حالت امپیدنس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

واحد امپیدنس اوم است.

برای سرکت RL فکتور طاقت را می‌توانیم چنین بنویسیم:



شکل (9-11)

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

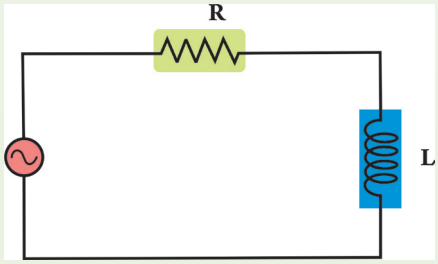
مثال

کوایلی با اندکتیویتی $0.38H$ (هنری) $= L$ و یک مقاومت 225Ω با جنراتور ac که دارای ولتیج *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* ولیتج را در انجام‌های مقاومت دریافت نمایید.

c) قیمت *rms* ولتیج را در انجام‌های کوایل در یافت نمایید.



شکل (9-12)

شکل نشان می‌دهد که یک جنراتور ac با فریکونسی $60.0Hz$ به صورت مسلسل با مقاومت 22.5Ω و کوایل به اندکتیویتی $0.38H$ وصل گردیده است.

چون در صورت اتصال مسلسل از هر عنصر سرکت عین جریان عبور می‌نماید از این جا *rms* جریان برق در سرکت عبارت است از: $I_{rms} = \frac{v_{rms}}{z}$

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:

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega = 2\pi f\ L)^2}$$
$$= \sqrt{(225\Omega)^2 + \left[2\pi\,(60.0s^{-1})(0.38H)\right]^2}$$
$$= 267\Omega$$

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 لتیج *rms* را در انجام‌های کوایل حاصل می‌نماییم:

$$v_{rmsL} = I_{rms}X_2 = I_{rms}\omega L$$
$$v_{rms} = (0.112A)2\pi\,(60.0s^{-1})(0.38H) = 16.0v$$

9-5: 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 با قیماندۀ آن در ساحۀ مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شود که توسط رابطۀ ذیل حاصل می‌گردد.

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

این انرژی در ساحۀ مقناطیسی که به سبب عبور جریان از کوایل تولید می‌شود، ذخیره می‌گردد.

مثال: کوایلی را که دارای ضریب اندکتیویتی $0.4H$ و مقاومت 100Ω می‌باشد در نظر بگیرید. کوایل با بتری $6v$ وصل گردیده است. مقدار انرژی ذخیره شده را در کوایل معلوم نمایید.

حل:

بعد از این‌که جریان در سرکت به قیمت نهایی خود برسد داریم که:

$$I = \frac{v}{R} = \frac{6}{100} = 0.06 Amp$$

با استفاده از رابطۀ (4) فوق، انرژی ذخیره شده در کوایل عبارت است از:

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

$$= \frac{1}{2}(0.4)(0.06)^2 = 7.2 \times 10^{-4} Joul$$

9-6: **سرکت** RC

یک سرکت ac را در نظر می‌گیریم که مطابق شکل (13-9) شامل یک خازن با ظرفیت C و یک مقاومت R باشد.

چنانکه در دیاگرام فازی (13-9) رسم گردیده است، ولتیج انجام‌های خازن با جریان به اندازۀ زاویۀ 90° تفاوت فاز دارد، طوری‌که ولتیج مجموعی نسبت به جریان تاخیر فاز دارد.

ولتیج مجموعی سرکت عبارت از حاصل جمع وکتوری این فازها می‌باشد.

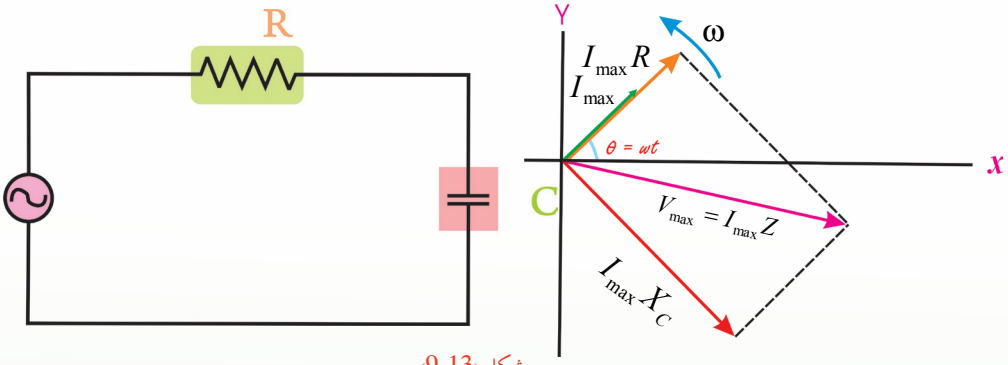
مقدار ولتیج مجموعی عبارت است از:

$$V_{max} = \sqrt{(I_{max}R)^2 + (I_{max}Xc)^2}$$

$$= I_{max}\sqrt{R^2 + Xc^2} = I_{max}Z$$

افاده‌یی که در این حالت امپیدنس را تعریف می‌نماید عبارت است از:

$$Z = \sqrt{R^2 + xc^2} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega c})^2}$$



شکل (9-13)

فکتور طاقت متوسط را برای سرکت RC می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \cdot \cos\phi$$

و درصورت جریان و خازن:

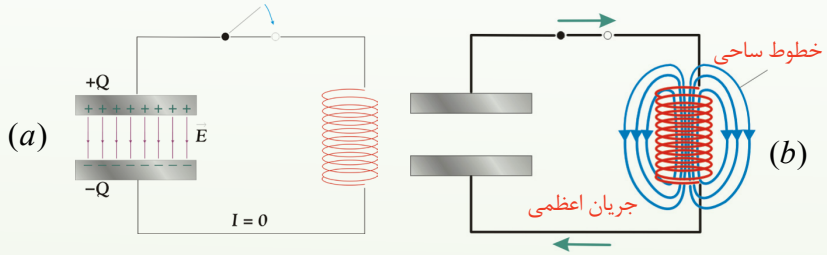
$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega c})^2}}$$

در سرکت جریان و ولتاژ: $\cos\phi = 0$ بوده و با وضع قیمت آن در رابطه: $P_{av} = I_{rms} \cdot V_{rms} \times 0 = 0$ یعنی $P_{av} = 0$ به دست می‌آید.

9-7: **سرکت‌های** LC

ساده ترین سرکتی که بدون جنراتور، یک جریان برقی نوسانی را نشان می‌دهد عبارت از سرکت LC است، یعنی این سرکتی 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؛ چنانکه در شکل (9-14a) نشان داده شده است؛ چون خازن چارجدار است و دارای ولتیج $v = \frac{Q}{c}$ 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 ولتیج 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

می‌باشـــد، یعنی که خازن به اندازهٔ $U_c = \frac{Q^2}{2C}$ ذخیرهٔ انرژی دارد. این حالت مشابه به حالتی اســـت که فنر به اندازهٔ فاصلهٔ x منقبض گردیده و به اندازهٔ $U = \frac{1}{2} k x^2$ انرژی پوتانســـیل را ذخیره می‌نماید. بعد از مدتی چارج خازن صفر می‌شـــود؛ بنابراین دارای انرژی نمی‌باشـــد. مگـــر این انرژی ضایع نمی‌گردد، بلکه حال این انرژی در کوایل می‌باشـــد، 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 کتلـــه – فنر مطابقت به وضعیتی می‌نماید که فنر در حالت تعادل واقع باشـــد. در این وقت انرژی مجموعی سیســـتم عبارت از انرژی حرکی کتله $(K_E = \frac{1}{2} mv^2 = U)$ می‌باشد و در فنر انرژی ذخیره شده وجود ندارد.



شکل (14-9)

چـــون جریان برق ادامـــه دارد، این جریان خازن را با قطبیت مخالف تا زمانی چارج می‌کند که اندازهٔ چارج آن به Q و ذخیرهٔ انرژی آن به U_C حالتی برسد که در حالت داشتن ظرفیت بزرگ بوده. در سیســـتم کتله – فنر این حالت به همان حالت فنر مطابقت می‌نماید که به اندازهٔ مشابه x انبساط کرده باشد که تمام انرژی ابتدایی را به شکل انرژی پوتانسیل دوباره ذخیره می‌کند؛ بنابراین می‌بینیم که بین خازن، فنر، کوایل و کتله شـــباهت نزدیک وجود دارد. برعلاوهٔ چارج خازن با انبســـاط 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 مقایســـهٔ انرژی پوتانســـیلی فنر $(\frac{1}{2} kx^2)$ و انرژی ذخیره شده در خازن $(\frac{Q^2}{2c})$ می‌بینیم که ســـفتی فنر مشابه $\frac{1}{c}$ اســـت. از این جا نتیجه می‌شود که یک خازن با داشتن ظرفیت بزرگ (c) می‌توانـــد مقدار زیادی چـــارج را ذخیره نماید؛ چنانکه یک فنر با داشـــتن (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 زاویه‌یی اهتزاز از خواص سیستم تعیین می‌گردد. یعنی:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

در شکل (14-9) فریکونسی طبیعی سرکت LC را می‌توانیم با در نظر داشت این دریافت نماییم که ولتیج *rms* انجام‌های خازن c باید مساوی به ولتیج *rms* انجام‌های کوایل باشد. این شرط را می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$V_{emsC} = V_{rmsL}$$

$$I_{rms} X_c = I_{rms} X_L$$

$$I_{rms}(\frac{1}{\omega c}) = I_{rms}(\omega L)$$

برای ω دریافت می‌نماییم که:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}} = 2\pi f \quad \text{[فریکونسی طبیعی سرکت } LC\text{]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24-10)$$

واحد آن در SI، s^{-1} است.

اگر تبدلات ذیل را به وجود آوریم $m \to L$ او $k \to \frac{1}{c}$، 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 سرکتLC.

سیستم کتله– فنر	سرکت LC
موقعیت X	چارج Q
سرعت $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	جریان برق $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
کتله M	اندکتنس L
ثابت قوه وی K	معکوس ظرفیت $\frac{1}{c}$
فریکونسی طبیعی $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	فریکونسی طبیعی $\omega = \sqrt{\frac{1}{Lc}}$

تمرین

می‌خواهیم که فریکونسی طبیعی یک سرکت LC را با استیشن رادیویی FM وصل نماییم که سکنال $88.5MHz$ را پخش می‌نماید. اگر در این سرکت با $1.5\mu Hz$ یک کوایل به‌کار برده شده باشد، به کدام ظرفیت خازن ضرورت می‌باشد.

حل: از رابطهٔ $\omega = \frac{1}{\sqrt{Lc}}$ برای ظرفیت دریافت می‌نماییم که:

$$c = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 88.5\times 10^6 s^{-1})^2 (1.50\times 10^{-6} H)}$$
$$= 2.16\times 10^{-12} F$$

9-8: القای متقابل

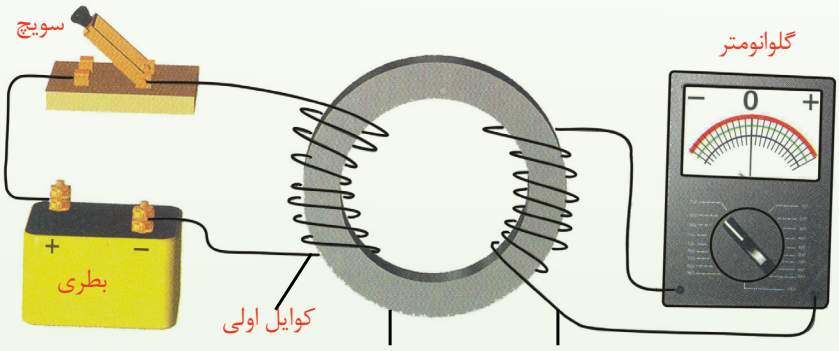
اصول اساسی اندکشن الکترومقناطیسی مرتبهٔ اول توسط میخایل فارادی (Michael Faraday) تشریح شد. از آلات تجربی که موصوف استفاده کرده است، در شکل (9-15) نشان داده شده است. این آلات یک کوایل بوده که با سویچ وصل گردیده و یک بتری است که عوض مقناطیس غرض تولید ساحهٔ مقناطیسی به‌کار برده شده است. این کوایل به نام کوایل اولی یاد می‌شود و سرکت آن به نام سرکت اولی یاد می‌گردد. ساحهٔ مقناطیسی توسط خاصیت مقناطیسی حلقهٔ آهنی که در اطراف آن کوایل اولی پیچانیده شده است قوی می‌گردد. کوایل دومی‌در طرف دیگر حلقهٔ آهنی پیچانیده شده و با یک گلوانومتر وصل گردیده است. زمانی‌که ساحهٔ مقناطیسی کوایل اولی تغییر می‌نماید، یک قوهٔ محرکهٔ برقی (emf) در کوایل دوم تولید می‌گردد. وقتی‌که سویچ در کوایل اول وصل شود، عقربهٔ گلوانومتر در سرکت دوم به یک جهت انحراف می‌نماید و بعد به صفر بر می‌گردد. زمانی‌که در سرکت اول جریان برق ثابت باشد عقربهٔ 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 ساحهٔ مقناطیسی تولید شده توسط جریان در کوایل یا سولینویید 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 کوایل یاد می‌شود. اندکتنس متقابل کوایل‌ها مربوط به خواص هندسی و موقعیت‌های شان نسبت به یکدیگر می‌باشد. یک جریان متغیر در کوایل دوم نیز یک *emf* را در سرکت اول تولید می‌نماید. در حقیقت زمانی‌که در کوایل دوم جریان تغییر می‌نماید، *emf* تولید شده در کوایل اول با داشتن عین قیمت M از معادلهٔ مشابه پیروی می‌کند.

emf تولید شده در کوایل دوم، با تغییر تعداد حلقه‌های کوایل دوم تغییر کرده می‌تواند. این ترتیب اساس یک آلهٔ برقی خیلی مفید را تشکیل می‌دهد که به نام ترانسفارمر یاد می‌شود و بعد آن‌را مطالعه می‌نماییم.



شکل (9-15) تجربهٔ اندکشن الکترومقناطیسی فارادی

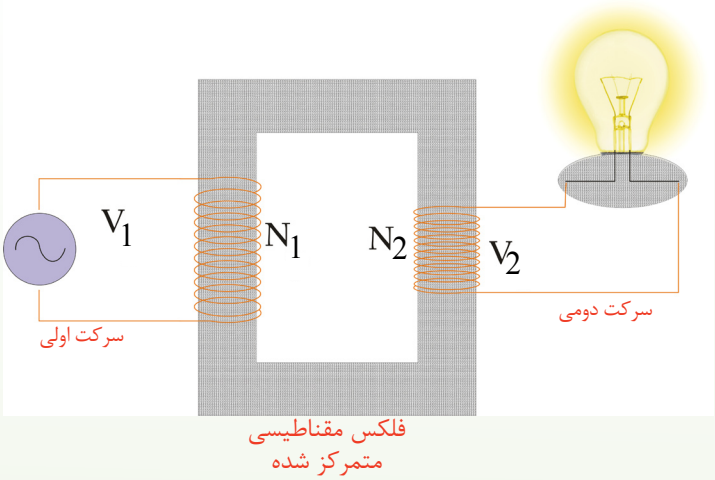
تغییر جریان برق در یک سرکت برای تولید جریان برق در سرکت به‌کاربرده می‌شود.

9-9: ترانسفارمر

اکثراً ضرورت واقع می‌شود که یک emf کوچکتر ac به emf بزرگتر تبدیل گردد، یا یک emf تطبیق شدهٔ بزرگتر به emf کوچکتر تبدیل شود. آله یی که این تبدیلات را ممکن می‌سازد عبارت از ترانسفارمر است.

شکل خیلی سادهٔ آن یک ترانسفارمر ac است که مشابه به و سایل تجربهٔ فارادی، در اطراف یک هستهٔ آهنی نرم از پیچانیدن سیم دو کوایل ساخته می‌شود. در شکل (9-16) طرف چپ که دارای N_1 حلقه است به یک منبع تفاوت پوتانسیل ac وصل می‌گردد. این کوایل

به نام حلقه‌های اولی یا کوایل اولی یاد می‌شـود. کوایل طرف راسـت که با مقاومت R وصل می‌شـود و دارای حلقه‌های N_2 می‌باشـد به نام حلقه‌های دومی‌یـاد می‌گردد؛ مانند تجربهٔ فارادی، هستهٔ آهنی تقریباً تمامی‌خطوط ساحهٔ مقناطیسی را طوری یک‌جا می‌نمایید که از هر دو کوایل عبور نماید.



شکل (16-9)

چون شـدت ساحهٔ مقناطیسی در هستهٔ آهنی و مقطع عرضی هسته برای هر دو حلقه اولی و دومی‌مشـابه اند، پس مقدار تفاوت پوتانسـیل‌های ac در انجام‌هـای هر دو حلقه تنها به سـببی تفاوت می‌نماید که تعداد حلقه‌های کوایل‌ها متفاوت می‌باشد emf تطبیق شده که در حلقه‌های اولی سبب به وجود آمدن ساحهٔ مقناطیسی متغییر می‌شود، با ساحهٔ 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 Δv_2 بالای Δv_1 سبب می‌شود که تمام حدود طرف راست هر دو معادله به استثنای N_1 و N_2 اختصار گردد. معادلهٔ ذیل حاصل شده عبارت از معادلهٔ ترانسفارمر است.

$$\Delta v_2 = \frac{N_2}{N_1} \Delta v_1 \quad \text{(معادله ترانسفارمر)}$$

$$\text{تولید شده در کوایل دوم } emf = \frac{\text{تعداد حلقه‌های کوایل دوم}}{\text{تعداد حلقه‌های کوایل اول}} \times \text{emf تطبیق شده در کوایل اول}$$

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 دومی‌نسبت به کوایل اولی بیشتر می‌باشد، و این نوع ترانسفارمر به نام ترانسفارمر افزاینده (step- up transformer) یاد می‌نمایند. اگر N_2 نسبت به N_1 کمتر باشد، emf انجام‌های کوایل دومی‌نسبت 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 افزاینده 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. تزاید 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 افزاینده در لین $120v$ استفاده می‌شود تا تفاوت پوتانسیل $2400v$ تهیه نماید اگر کوایل اولی دارای 75 حلقه باشد کوایل دومی‌باید دارای چند حلقه باشد؟

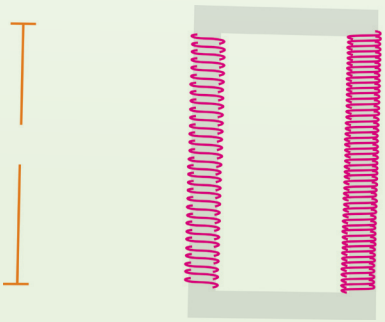
حل:

کمیت‌های معلوم: $N_1 = 75turns \ , \ \Delta v_2 = 2400v \ , \ \Delta v_1 = 120v$

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 (17-9)

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 آن‌را حل نمایید:

$$N_2 = (\frac{2400v}{120v})75turns = 1500turns$$

$$N_2 = 1500turns$$

ازدیاد حلقه‌ها در کوایل دومی‌نشـــان می‌دهد که emf در کوایل دوم بیشـــتر است و ضریب افزایندهٔ ترانسفارمر 20:1 می‌باشد.

9-10: **جنراتورها** (*Generators*)

شـــما می‌دانید که در یک ســـرکت، جریان برق می‌تواند یا توسط تغییر ساحهٔ مقناطیسی و یا توســـط حرکت سرکت در داخل یا خارج ساحهٔ مقناطیسی تولید گردد. طریق دیگر تولید جریان برق عبارت از تغییر موقعیت حلقه نســـبت به ساحهٔ مقناطیسی می‌باشد. طریقهٔ دوم بـــرای تولید جریان برق طریق عملی تولید انرژی برقی را نشـــان می‌دهد. در حقیقت انرژی میخانیکـــی که برای چرخانیدن حلقه به‌کاربرده می‌شـــود، به انـــرژی برقی تبدیل می‌گردد. آله‌یی که این تغییر را انجام می‌دهد. به نام جنراتور برقی یاد می‌شود. در بیشتر دستگاه‌های تجارتی طاقت، انرژی میخانیکی به شـــکل 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 می‌شـــود. در دســـتگاه‌های تولید برق حرارتی از زغال ســـنگ و گاز طبیعی به حیث مواد ســـوخت به خاطر تبدیل آب به بخار اســـتفاده می‌شـــود و این بخار برای دوران توربین مستقیماً بالای پره‌های توربین وارد می‌گردد.

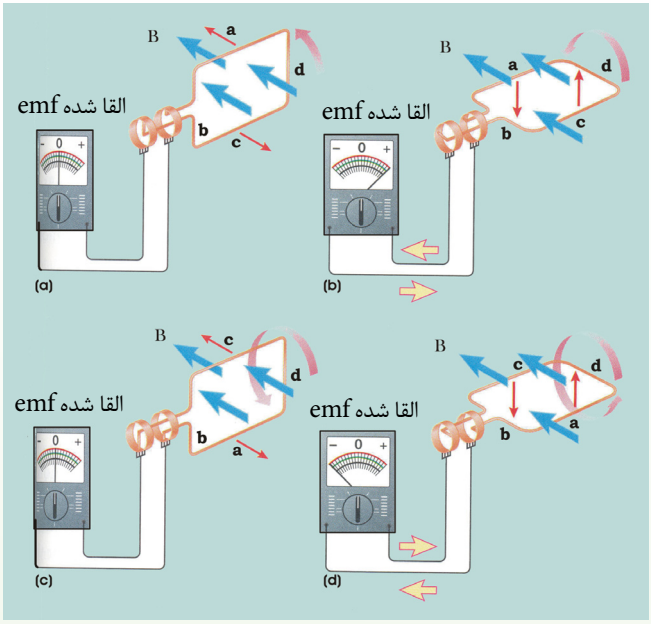
اســـاس یک جنراتور را حرکت دورانی یک توربین به خاطر چرخانیدن حلقهٔ ســـیم در یک ساحهٔ مقناطیسی تشکیل می‌دهد. یک جنراتور ساده در شکل (18-9) نشان داده شده است. زمانی‌که حلقه می‌چرخد مســـاحت مؤثر حلقه نســـبت به وقت تغییر می‌نماید، و در سرکت خارجی که در انجام‌های حلقه وصل گردیده است، یک emf و جریان برق را تولید می‌نماید. یـــک جنراتـــور به صورت متمادی یک جریان متغیر را تولید می‌کند. حلقه‌یی از ســـیم را در نظر می‌گیریم که با سرعت زاویوی ثابت در یک ساحهٔ مقناطیسی منظم می‌چرخد. می‌تواند



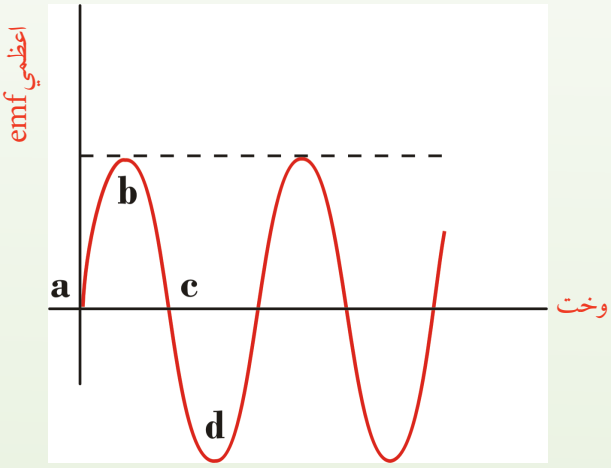
شکل (9-18) در یک جنراتور ساده، از اثر چرخیدن حلقه‌های هادی در یک ساحهٔ مقناطیسی، در حلقه‌ها جریان متناوب برق تولید می‌شود.

حلقه متشکل از چهار سیم‌هادی باشد.
در این مثال حلقه در ساحهٔ مقناطیسی در جهت مخالف عقربهٔ ساعت می‌چرخد که جهت آن به طرف چپ است.
زمانی‌که مساحت حلقه بالای خطوط ساحهٔ مقناطیسی عمود باشد؛ چنانکه در شکل (9-19) نشان داده شده است، هر قسمت سیم در حلقه با خطوط ساحهٔ مقناطیسی طور موازی حرکت می‌نماید. در این لحظه ساحهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های هر قسمت سیم قوه وارد نمی‌کند.
بنابر این در هر قسمت، emf القا شده صفر است. زمانی‌که چرخش حلقه از این موقعیت عبور می‌کند، قسمت‌های a و c خطوط ساحهٔ مقناطیسی را قطع می‌کند؛ بنابراین قوهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های این قسمت‌ها عمل می‌نماید و به این سبب emf القا شده بیشتر می‌گردد. جهت قوهٔ مقناطیسی بالای چارج‌های قسمت‌های b و d از سیم به طرف خارج است؛ بنابراین حرکت این قسمت‌ها emf و جریان را حمایت نمی‌کند. بالای چارج‌ها بزرگ‌ترین قوهٔ مقناطیسی و کوچکترین emf در لحظه‌یی واقع می‌گردد که قسمت‌های a و c بالای خطوط ساحهٔ مقناطیسی طور عمود حرکت می‌نماید، چنان‌چه در شکل (9-19) نشان داده شده است. این حالت زمانی واقع می‌شود که مستوی حلقه با خطوط ساحه موازی باشد.
چون قسمت a در ساحه به طرف پایین حرکت می‌نماید درحالی‌که قسمت c به طرف بالا می‌رود، پس emfهای آن‌ها دارای جهات مخالف می‌باشند، مگر هر دو، جریانی در جهت مخالف عقربهٔ ساعت تولید می‌کنند. تا وقتی‌که حلقه به دوران ادامه می‌دهد، قسمت‌های a و c کمترین خطوط را قطع می‌نماید و emf کوچک می‌شود. زمانی‌که مستوی حلقه بالای ساحهٔ مقناطیسی عمود می‌شود، حرکت قسمت‌های a و c بار دیگر با خطوط ساحهٔ مقناطیسی موازی می‌گردند و emf القا شده یک بار دیگر صفر می‌شود، طوری‌که 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 نتیجهٔ قطبیت، emf القا شده و جهت

جریان در جهت مخالف تغییر می‌نماید. چنان‌چه در شکل (19-9) نشان داده شده است.



شکل (19-9) در ساحهٔ مقناطیسی برای حلقهٔ دورانی، emf القا شده زمانی صفر اســت که حلقه بالای ساحه عمود باشد، مانند حالات a و c و قیمت اعظمی را دارد زمانی‌که حلقه با ســاحه موازی باشد. چنان‌چه در حالت‌های b و d نشان داده شده است.



شکل (20-9) در حلقهٔ دورانی تغییر القا شده نسبت به وقت توســط یک موج سینوسایدل مانند نشان داده می‌شود.
حروف a،b،c و d بالای منحنی با موقعیت‌های حلقه در شکل مطابقت می‌نماید.

زمانی‌که حلقه می‌چرخد، گراف تغییر emf به تابع وقت در شـــکل (20-9) نشـــان داده شده است. گفتنی است که بین این گراف و منحنی ساین (sin) شباهت و جود دارد. چهار محل نشـــانی شده بالای منحنی شکل (19-9) با چهار موقعیت حلقه نسبت به ساحهٔ مقناطیسی مطابقت می‌نماید. در موقعیت‌های a و c emf صفر است. این موقعیت‌ها به همان لحظه‌یی مطابقت می‌کند که مســـتوی حلقه با جهت ساحهٔ مقناطیسی موازی باشد، در موقعیت‌های b و d، emf دارای قیمت‌های اعظمی‌و اصغری خود می‌باشد.

این موقعیت‌ها با لحظاتی مطابقت می‌کند که مســـتوی حلقه بالای ساحهٔ مقناطیسی عمود باشـــد. emf القا شـــده در حلقه در نتیجهٔ تغییر ثابت زاویه بین عمـــود بالای حلقه و خطوط ســـاحهٔ مقناطیسی حاصل می‌شود. معادله برای emf تولید شده را توسط جنراتور می‌توانیم از قانون اندکشـــن فارادی به دســـت آرویم. در این معادله(emf) زاویهٔ موقعیت نسبی توسط افادهٔ معادل آن (ωL) تعویض گردیده است.

در این‌جا ω فریکونسی زاویوی موقعیت نسبی $2\pi f$ می‌باشد.

$$emf = NAB\omega \sin \omega t$$

معادلهٔ فوق مانند گراف شـــکل (20-9) تغییر سینوســـایدل emf را نســـبت به وقت نشـــان می‌دهد. با آسانی می‌توانیم قیمت اعظمیemf را برای یک تابع سینوسایدل محاسبه نماییم. emf زمانی قیمت اعظمی را دارد که مســـتوی حلقه با ساحهٔ مقناطیسی موازی باشد، یعنی زمانی‌که $\sin \omega t = 1$ باشد. از این‌جا $\omega t = \theta = 90^\circ$، می‌باشد. در این حالت افادهٔ فوق شکل ذیل را اختیار می‌نماید:

$$emf = NAB\omega$$ 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 (ω).

جهت جریان متناوب با فریکونسی ثابت تغییر می‌نماید

گفتنی است که در شکل (20-9) 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 کوایل 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 تجارتی، فریکونسی دارای $60Hz$ است. این چنین معنی می‌دهد که جهت یک سایکل مکمل emf در هر ثانیه 60 مرتبه تغییر می‌نماید. در انگلستان، اروپا و تعداد بیشتر کشورهای آسیایی و افریقایی $50Hz$ به کار برده می‌شود، $\omega = 2\pi f$ است و فریکونسی f توسط Hz اندازه می‌شود).

خلاصهٔ 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 شده 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 ϕ نشان داده می‌شود. $\phi = AB\cos\theta$

در این‌جا θ زاویه بین جهت ساحهٔ مقناطیسی $\vec{B}$ و خط عمود بالای سطح حلقه می‌باشد.

• انرژیی که در ساحهٔ مقناطیسی کوایل ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل به دست می‌آید.

$$Uc = \frac{1}{2}LI^2$$

• انرژیی که در ساحهٔ برقی خازن ذخیره می‌شود، توسط رابطهٔ ذیل حاصل می‌گردد:

$$Uc = \frac{Q^2}{2C}$$

• آله‌یی که یک emf کوچکتر ac را به emf بزرگتر یا یک emf تطبیق شدهٔ بزرگتر را به emf کوچکتر تبدیل می‌نماید عبارت از ترانسفارمر است.

• آله‌یی که انرژی میخانیکی را به انرژی برقی تبدیل می‌نماید به نام جنراتور یاد می‌شود.

سؤالات اخیر فصل

1.تفاوت بین فلکس مقناطیسی و ساحهٔ مقناطیسی چیست؟

2.یک حلقه‌یی از سیم در بین ساحهٔ مقناطیسی قرار دارد؛ برای کدام موقعیت حلقه، فلکس اعظمی‌است؟ و برای کدام موقعیت، فلکس صفر است؟

3. یک کوایل مستطیل شکل که دارای 50 حلقه و $50cm \times 10.0cm$ ابعاد می‌باشد از محلی که $B = o$ اســت به محلی که $B = 0.500T$ است طوری سقوط می‌نماید که جهت ساحهٔ مقناطیســی بالای مستوی حلقه عمود می باشــد؛ اگر این تغییر مکان برای مدت $0.250s$ صورت بیگیرد، قوهٔ محرکهٔ برقی القا شدهٔ وسطی را در کوایل محاسبه نمایید.

4. یک الکترومقناطیس قوی بالای مساحت مقطع عرضی $0.200m^2$ یک ساحهٔ مقناطیسی منظــم $1.60T$را تولید می‌نماید. یک کوایلی‌کــه دارای 200 حلقه و به صورت کل 20.0Ω مقاومت دارد در اطراف الکترومقناطیس گذاشــته می‌شود. بعد در الکترومقناطیسی جریان برق را کاهش می‌دهیم تا این‌که در مدت 20.0s به صفر برســد. جریان برق القا شده را در کوایل دریافت نمایید.

5. یــک کوایل که دارای مســاحت 0.10m^2 می‌باشــد، با $60.0\frac{rev}{\text{sec}}$ در اطــراف محوری می‌چرخد که بالای ساحهٔ مقناطیسی $0.200T$عمود باشد.

a) اگــر کوایــل دارای 1000 حلقه باشــد، emf تولید شــدهٔ اعظمــی را در کوایل دریافت نمایید؟

b) زمانی‌که ولتیج تولید شده اعظمی باشد، مستوی کوایل نسبت به ساحهٔ 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 وترجمه، وزارت معارف، کابل، 1381. هـ.ش.

8. اصول فزیک (جلد اول)،هانس سی. اوهانیان، مرکز نشر دانشگاهی، تهران،1383 هـ.ش.

9. فزیک (1) وازمایشگاه، 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.