درسنامه

موج و انواع آن

وقتی به صدایی که در یک محیط آرام شنیده شود و یا افتادن قطرات آب روی سطح آب راکد و همینطور ارتعاشاتی که در طول یک تار یا فنر ایجاد می‌شود دقت کنیم، در واقع پدیده‌ای طبیعی به نام موج را مشاهده کردیم.

وقتی در یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود می‌آید، موجب پدید آمدن ارتعاش‌های پی‌در پی دیگری می‌شود، که در تمام ابعاد محیط منتشر می‌شود.

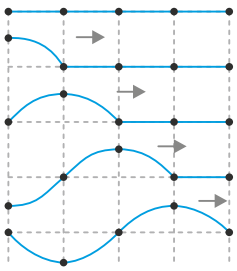
امواج از نظر ماهیت تولید، به دو دسته‌ی مکانیکی و الکترومغناطیسی تقسیم می‌شوند.

امواج مکانیکی

این امواج در محیط‌های کشسان و مادی به وجود می‌آیند، یعنی برای انتشار خود نیاز به محیط مادی دارند. مانند امواجی که در سطح آب و یا در طول یک تار یا فنر ایجاد می‌شود.

نکته: در انتشار امواج مکانیکی دو نوع حرکت مورد بررسی قرار می‌گیرد: یکی حرکت ارتعاش ذرات محیط و دیگر حرکت یا جابه‌جایی موج (انتشار پیشروی موج) است.

حرکت ارتعاشی یا نوسانی ذرات در جای خود و بدون انتقال صورت می‌گیرد، به عبارتی وقتی موج مکانیکی از محیطی عبور می‌کند، ذرات در جای خود فقط به ارتعاش درمی‌آیند، ولی همراه موج منتقل نمی‌شوند.



شکل مقابل موجی را در طولی یک ریسمان نشان می‌دهد. دقت کنید، نقاط در جای خود به نوسان درمی‌آیند و همراه موج منتقل نمی‌شوند، ولی موج منتقل می‌شود.

هر ذره با دامنه‌ی A و بسامد f که منبع یا چشمه‌ی موج آن را ایجاد می‌کند در جای خود به ارتعاش درمی‌آیند.

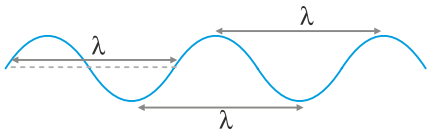
از آنجا که دامنه و بسامد چشمه‌ی موج ثابت است پس همه‌ی ذرات محیط با یک دامنه و یک بسامد به ارتعاش درنمی‌آیند.

در بررسی ذرات محیط باید از معادلات و قوانین حرکت نوسانی استفاده کنید.

ولی حرکت پیشروی موج (انتشار موج) در محیط، یک حرکت یکنواخت و بدون شتاب است و موج در زمان‌های مساوی جابه‌جایی‌های یکسانی را طی می‌کند.

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

طول موج λ



وقتی موج وارد محیط می‌شود ذرات در جای خود به نوسان درمی‌آیند. اگر یک ذره محیط در مدت T (دوره تناوب) به نوسان درآید، موج در این مدت به اندازه‌ی یک λ پیشروی می‌کند.

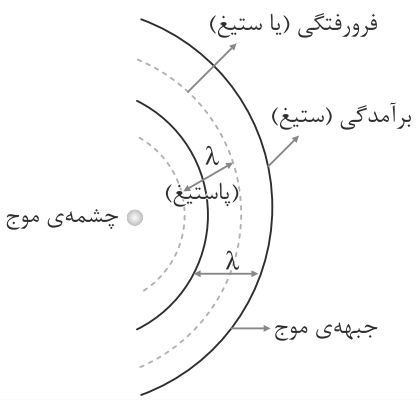
تندی انتشار موج در محیط ثابت است و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

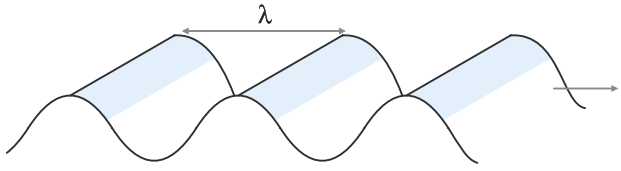
$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

به فاصله‌ی دو قله‌ی متوالی یا دو درّه‌ی متوالی یک طول موج نیز گفته می‌شود.

جالب‌تر این است که این تندی موج نه تابع λ و نه تابع T یا f است بلکه فقط به ویژگی‌های فیزیکی محیط بستگی دارد.

به دورنمای امواجی که در سطح مایع ایجاد می‌شود نگاه کنید:





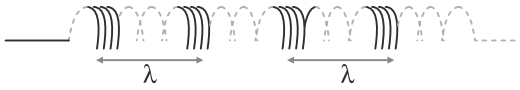
نقاط برآمده را ستیغ و نقاط فرورفته را پاستیغ می‌گویند که به مجموعه نقاط روی یک ستیغ و یا یک پاستیغ جبهه‌ی موج گفته می‌شود.

نکته: افزایش عمق آب باعث افزایش λ و تندی موج می‌شود.

تقسیم‌بندی امواج از نظر نحوه انتشار:

۱) موج عرضی: هرگاه ارتعاش اجزای محیط بر جابه‌جایی انتشار موج عمود باشد، موج را عرضی می‌گویند. مانند انتشار موج در ریسمان یا تار، امواج در سطح مایع و ... .

۲) موج طولی: هرگاه ارتعاش اجزای محیط بر جابه‌جایی انتشار موج منطبق باشد موج را طولی می‌گویند. مانند امواج صوت و یا امواجی که در فنر منتشر می‌شود.



۶ فرسنگ

درسنامه

محاسبه‌ی تندی امواج عرضی در تار یا ریسمان کشیده شده

همانطور که گفته شد تندی انتشار موج در یک ریسمان به مشخصات فیزیکی محیط بستگی دارد. در یک ریسمان یا تار کشیده شده، نیروی کشش (F) و چگالی جرم تار در تندی انتشار موج موثر هستند.

$$V=\sqrt{\frac{F}{\mu}}\quad\begin{matrix}\text{نیروی کشش}\\ \text{چگالی جرم}\end{matrix}\qquad \mu=\frac{m}{L}\quad\begin{matrix}\text{جرم تار}\\ \text{طول تار}\end{matrix}$$

مثال ۱) تاری به طول یک متر و به جرم ۲g از هر طرف با نیروی ۱۲/۸ نیوتن کشیده شده و بین دو نقطه‌ی ثابت می‌بندیم و با ایجاد بسامد ۵۰۰ Hz در آن موج ایجاد می‌کنیم طول موج ایجاد شده در تاره چند سانتی‌متر می‌شود؟

۱) ۸ ۲) ۲۴ ۳) ۱۶ ۴) ۳۲

مثال ۲) اگر نیروی کشش تاری را ۲۱ درصد اضافه کنیم و طول آن را نصف کنیم تندی انتشار موج در تار چند درصد اضافه می‌شود؟

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) تغییری نمی‌کند ۴) ۲۵

مثال ۳) ریسمانی به طول ۲/۵ متر و به جرم ۱۰۰ گرم را با نیروی F می‌کنیم. اگر انتشار موج عرضی در مدت یک ثانیه طول ریسمان را طی کند. نیروی F چند نیوتن است؟

۱) ۵ ۲) ۲/۵ ۳) ۴ ۴) ۰/۲۵

نکته: اگر انتشار موج عرضی در یک تار یا ریسمان همگن به قطر D و چگالی ρ برابر V باشد می‌توان نوشت:

$$V=\sqrt{\frac{FL}{m}}\rightarrow V=\sqrt{\frac{F}{\rho A}}\rightarrow V=\frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$$

* A سطح مقطع تار یا ریسمان است.

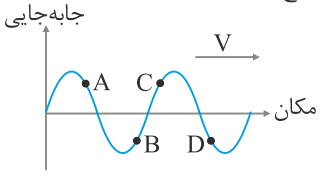
مثال ۴) سیمی به چگالی $7/80\ g/cm^3$ و سطح مقطع ۰/mm۵۰ بین دو نقطه با نیروی N۱۵۶ کشیده شده است تندی انتشار موج عرضی در این سیم چند m/s است؟

۱) ۲۰۰ ۲) ۱۸۰ ۳) ۱۶۰ ۴) ۲۵۰

مثال ۵) قطر تار A نصف قطر تار B و نیروی کشش تار A، ۴ برابر نیروی کشش تار B است. اگر هر دو تار از یک جنس باشند. تندی انتشار موج در تار A چند برابر انتشار موج در تار B است؟

۱) $\sqrt{2}$ ۲) ۴ ۳) ۲ ۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

مثال ۶) در شکل مقابل نقش یک موج عرضی نشان داده شده است. باتوجه به جهت انتشار موج چند مطلب زیر صحیح است؟



الف) دو ذره‌ی A و B از محیط انتشار در حال دور شدن از نقطه‌ی تعادل خود هستند.

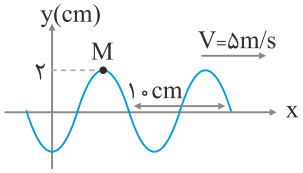
ب) انرژی جنبشی دو ذره C و D در حال افزایش است.

پ) دو ذره‌ی A و C در یک وضعیت ارتعاشی خود هستند.

ت) بسامد و دامنه‌ی نوسان همه‌ی ذرات در محیط یکسان است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

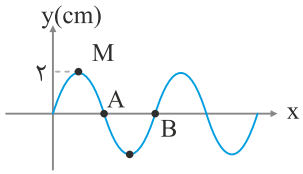
مثال ۷) نقش یک موج عرضی در لحظه‌ی $t=0$ در شکل نشان داده شده است. معادله‌ی ارتعاشی نقطه‌ی M در SI کدام است؟



۱) $y=2\sin 100t$ ۲) $y=0/02\cos 100t$

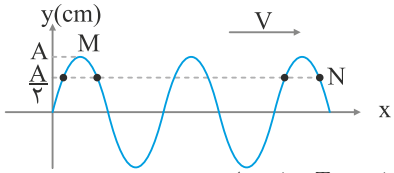
۳) $y=2\cos 100\pi t$ ۴) $y=0/02\cos 100\pi t$

مثال ۸) نقش موجی عرضی در یک محیط انتشار نشان داده شده است. ذره‌ی B در لحظه‌ی $t=0$ از مرکز نوسان به سمت بالا جابه‌جا شود و حداقل فاصله‌ی آن با نقطه‌ی A برابر ۴cm می‌باشد اگر موج این فاصله را در مدت ۰/۲۵ ثانیه طی کند، بردار انتشار موج و بردار سرعت ذره‌ی A در لحظه‌ی $t=0$ برحسب $\frac{cm}{s}$ کدام است؟



۱) $4\neq\vec{j},16\vec{i}$
۲) $-4\pi\vec{j},16\vec{i}$
۳) $-8\pi\vec{j},-16\vec{i}$
۴)

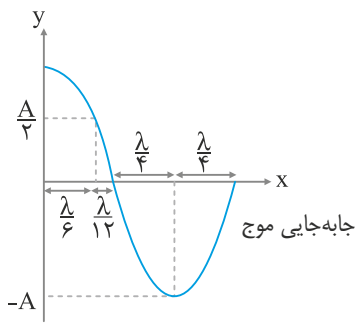
مثال ۹) نقش موج مقابل برای یک موج عرضی در لحظه‌ی $t=0$ نشان داده شده است اگر فاصله‌ی MN برابر ۲۰cm باشد و بسامد ارتعاش ذرات ۲۵ هرتز باشد تندی انتشار موج چند متر بر ثانیه است؟

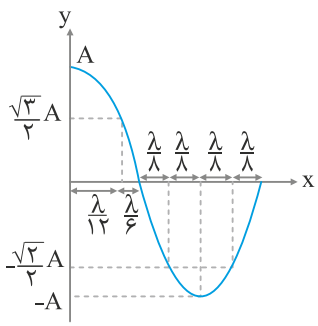


۱) ۲/۲۵
۲) ۲/۵
۳) ۲۵
۴) ۴/۵

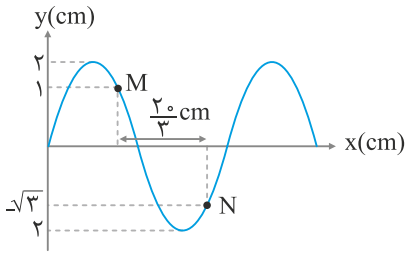
دقت داشته باشید چون نسبت $\frac{\lambda}{T}$ که برابر تندی موج است و در یک محیط همواره ثابت است، پس تغییرات λ با تغییر T متناسب است.

به عبارتی جابه‌جایی موج در $\frac{T}{2}$ برابر $\frac{\lambda}{2}$ در $\frac{T}{6}$ برابر $\frac{\lambda}{6}$ و در $\frac{T}{8}$ برابر $\frac{\lambda}{8}$ و در $\frac{T}{12}$ برابر $\frac{\lambda}{12}$ است.



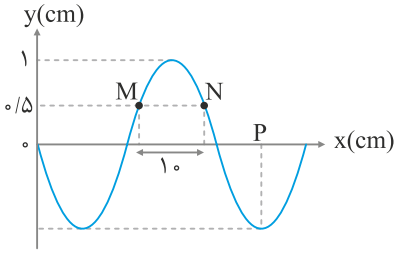


مثال ۱۰) در شکل مقابل نقش موجی عرضی در یک لحظه ($t=0$) نشان داده شده است. اگر تندی انتشار موج $8\frac{m}{s}$ باشد بسامد ارتعاش ذرات چند هرتز است؟



۱) ۸۰
۲) ۶۰
۳) ۱۲۰
۴) ۵۰

مثال ۱۱) در شکل مقابل نقش یک موج در یک لحظه نشان داده شده است. اگر فاصله‌ی افقی MN برابر ۱۰cm باش و تندی موج $۹۰\frac{cm}{s}$ باشد فاصله‌ی OP در چه مدتی برحسب ثانیه طی می‌شود؟



۱) $\frac{۵}{۹}$
۲) $\frac{۴}{۹}$
۳) $\frac{۵}{۱۲}$
۴) $\frac{۲}{۳}$

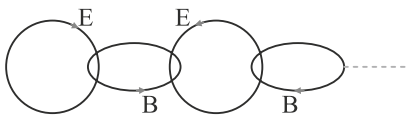
انتقال انرژی در موج عرضی

موج باعث انتقال انرژی از یک مکان به مکان دیگر می‌شود. که این انرژی به صورت انرژی پتانسیل و جنبشی ذرات محیط در تمام اجزای محیط با عبور موج ظاهر می‌گردد.

مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج عرضی برای تمام امواج مکانیکی با مربع دامنه و مربع بسامد موج متناسب است.

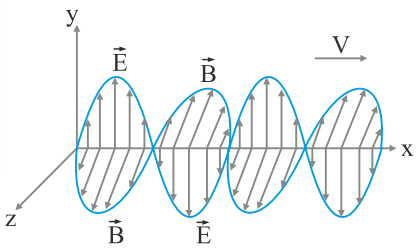
امواج الکترومغناطیسی

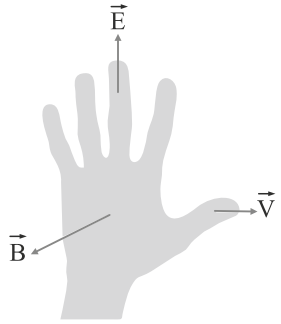
امواج دیگری که ماهیت آن‌ها با امواج مکانیکی متفاوت است امواج الکترومغناطیسی است با تغییر میدان الکتریکی در هر فضایی، میدان مغناطیسی متغیری ایجاد می‌شود و این میدان مغناطیسی متغیر خود میدان الکتریکی متغیری ایجاد می‌کند. درست مانند حلقه‌های یک زنجیر هر میدان متغیر میدان دیگری را ایجاد می‌کند.



این رابطه متقابل میدان‌ها سبب انتقال نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک نقطه‌ی فضا به به نقاط دیگر و یا همان انتشار موج الکترومغناطیسی می‌شود.

ماکسْوِل نتیجه گرفت که امواج الکترومغناطیسی باید لزوماً ناشی از تغییرات همزمان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی (اصطلاحاً میدان الکترومغناطیسی) باشد.





قاعده‌ی دست راست

می‌توان برای تعیین جهت‌گذاری میدان‌های $\vec{E}$ و $\vec{B}$ و بردار سرعت موج الکترومغناطیسی $\vec{V}$ از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌کنند. چهار انگشت دست راست در حالت باز شده در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ قرار داده به‌طوری که میدان مغناطیسی $\vec{B}$ از کف دست خارج شود، انگشت شست در جهت $\vec{V}$ است.

ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی

۱) منشا این امواج از نوسانات دو میدان $\vec{E}$ و $\vec{B}$ که عمودبرهم می‌باشند تشکیل یافته

۲) دو میدان $\vec{E}$ و $\vec{B}$ بر بردار سرعت انتشار عمودند (موج عرضی است)

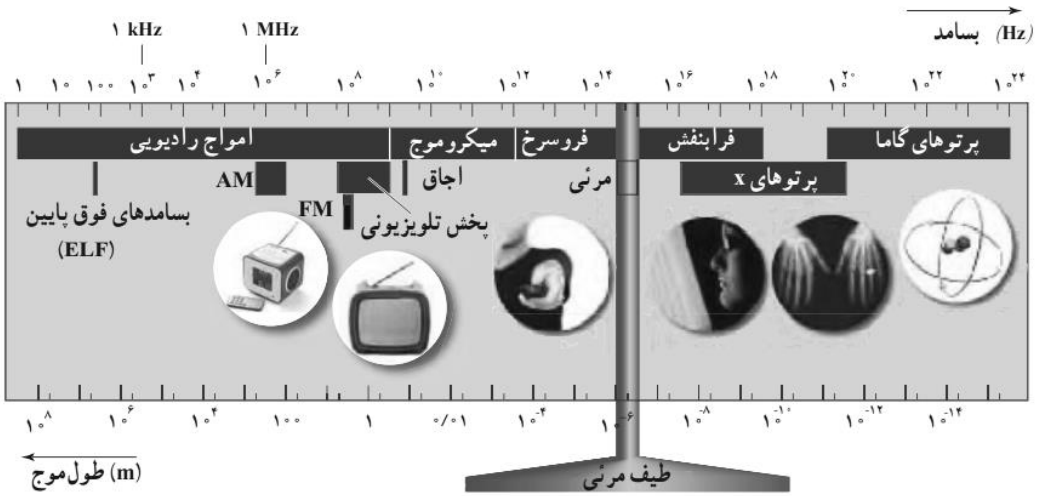
۳) برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند و حتی در خلاء هم منتشر می‌شوند.

۴) همه‌ی امواج الکترومغناطیسی در خلا با تندی ثابت منتشر می‌شوند.

$$C = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \simeq 3 \times 10^8 \, m/s$$

طیف امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی در طبیعت طیف گسترده‌ای دارند. برای دسته‌بندی این امواج از کمیت طول موج و بسامد استفاده می‌شود. از آنجا که $C = \lambda F \simeq 3 \times 10^8 \, m/s$ است و مقدار C همواره ثابت است رابطه‌ی λ و f معکوس می‌باشد. طیف این امواج به گونه‌ی زیر دسته‌بندی می‌شود.



از راست به چپ طول موج افزایش می‌یابد ولی بسامد کاهش می‌یابد و مقدار $C = ۳\times۱۰^{۸}\,m/s$ ثابت است.

طیف امواج مرئی:
- بنفش — ۰/۴μm
- نیلی
- آبی — ۰/۵μm
- سبز
- زرد — ۰/۶μm
- نارنجی
- قرمز — ۰/۷μm
- ۰/۸μm

مثال ۱۲) گستره‌ی طول موج‌های امواج مرئی از ۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر است بیشترین بسامد و کمترین بسامد نورهای مرئی چند هرتز است؟ $C = ۳\times۱۰^{۸}\,m/s$

۱) $۷/۵\times۱۰^{۱۴}, ۴\times۱۰^{۱۵}$ ۲) $۷/۵\times۱۰^{۱۴}, ۴\times۱۰^{۱۴}$ ۳) $۲/۵\times۱۰^{۱۵}, ۴\times۱۰^{۱۵}$ ۴) $۵\times۱۰^{۱۴}, ۴\times۱۰^{۱۵}$

مثال ۱۳) یک موج الکترومغناطیسی در جهت محور $+y$ پیش‌روی می‌کند اگر میدان مغناطیسی در راستای محور x باشد، جهت میدان الکتریکی به کدام سمت است؟

۱) $-z$ ۲) $+z$ ۳) $-y$ ۴) $+z$ یا $-z$

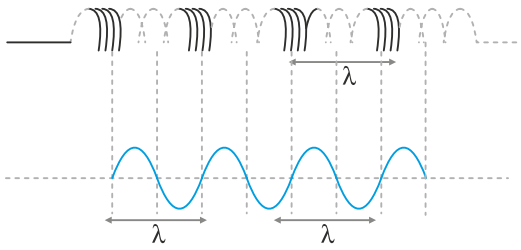
مثال ۱۴) در کدام گزینه موج‌های الکترومغناطیسی برحسب افزایش طول موج درست قرار گرفته‌اند؟

۱) گاما، نور زرد، فروسرخ،میکروموج
۲) گاما، رادیویی، نور زرد، فروسرخ
۳) فروسرخ، نور زرد، میکروموج، گاما
۴) میکروموج، فروسرخ، ایکس، فرابنفش

مشخصه‌های موج طولی

مهمترین نمایش از یک موج طولی، موجی است که می‌توان در یک فنر طویل نشان داد. وقتی در یک فنر کشیده تراکم یا کشیدگی ایجاد کنیم، موج پدید آمده در طول فنر پیشروی می‌کند، ارتعاش حلقه‌ها در راستای انتشار موج است.

فاصله‌ی بین دو تراکم متوالی یا دو بازشدگی متوالی طول موج (λ) است.



نکته: در یک محیط انتشار، تندی انتشار به مشخصات فیزیکی محیط بستگی دارد. ولی در یک محیط ممکن است تندی امواج عرضی با تندی امواج طولی متفاوت باشد. به عنوان مثال امواج زلزله بر دو نوع S (عرضی) و P (طولی) هستند. تندی امواج P در حدود $۸\frac{km}{s}$ و تندی امواج S حدود $۴/۵\frac{km}{s}$ است.

امواج صوت:

امواج صوت جز امواج مکانیکی طولی هستند. ارتعاش یک جسم مثل دیاپازون – سیم گیتار – تار صوتی حنجره انسان یا پوسته‌های مرتعش مثل طبل یا بلندگوهای اطراف این چشمه‌های صوت شروع به ارتعاش می‌کنند و محیط‌های پرتراکم و کم‌تراکم را به وجود می‌آورند که به صورت یک موج طولی به تمام جهات منتشر می‌شود.

جنس و دما از ویژگی‌های فیزیکی گازها برای تندی انتشار صوت می‌باشد. هرچه دمای گاز بیشتر می‌شود تندی صوت بیشتر و هرچه جرم مولی گاز بیشتر باشد تندی صوت کمتر می‌شود.

مثال ۱۵) تاری به چگالی جرم $۰/۲\frac{g}{cm}$ را با نیروی ۳۲ می‌کشیم و با ایجاد بسامد ۵۰ هرتز ارتعاشی در تار ایجاد می‌شود و صدای تار شنیده می‌شود. اگر تندی انتشار صوت در هوا $۳۲۰\frac{m}{s}$ باشد. نسبت طول موج در تار چند برابر طول موج در هوا می‌باشد؟

۱) $\frac{۱}{۸}$ ۲) ۸ ۳) $\frac{۱}{۴}$ ۴) ۴

۶ فرسنگ
درسنامه

شدت صوت

انتشار صوت همراه با انتقال انرژی است که توسط لایه‌های هوا یا گاز از چشمه به اطراف چشمه منتقل می‌شود. آهنگ متوسط انرژی که توسط موج به واحد سطح عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد و یا از آن عبور می‌کند را شدت صوت می‌گویند.

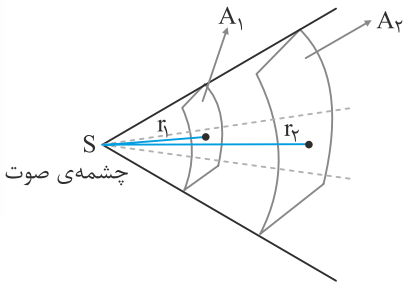
$$I=\frac{P_{av}}{A}$$

A یکای سطح برحسب m^2 و یکای شدت صوت $\frac{W}{m^2}$ است.

مثال ۱۶) موج صوتی باتوان $۱/۲\times۱۰^{-۴}$ از صفحه‌ای به مساحت $۴m^2$ به طور عمود عبور می‌کند. شدت صوت چند $\frac{W}{m^2}$ است؟

۱) ۳×۱۰^{-۴} ۲) ۳×۱۰^{-۳} ۳) ۳×۱۰^{-۵} ۴) ۳۰

با دور شدن از چشمه‌ی صوت شدت صوت کاهش می‌یابد.



$$I_1=\frac{P}{۴\pi r_1^2}\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$
$$I_2=\frac{P}{۴\pi r_2^2}$$

به‌طور کلی شدت یک صوت با مجذور دامنه و مجذور بسامد که هر دو از ویژگی‌های منبع صوت هستند متناسب است ولی با مجذور فاصله‌ی شنونده از منبع صوت رابطه‌ی معکوس دارد.

$$\frac{I_2}{I_1}=\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2\times\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\times\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

شدت صوت را می‌توان با یک وسیله یا آشکارساز اندازه‌گیری کرد. ولی گستره‌ی شنوایی گوش انسان در حدود $۱۰^{۱۲}$ وات برمترمربع است. بهتر است برای اندازه‌گیری شدت یک صوت در این گستره بسیار زیاد، از کمیت دیگری به نام تراز شدت صوت استفاده کرد.

تراز شدت صوت β

بنا به تعریف، لگاریتم (در پایه‌ی ۱۰) شدت هر صوت به شدت صوت مبنا ($I=۱۰^{-۱۲}\frac{W}{m^2}$) را تراز شدت صوت می‌گویند. یکای تراز شدت صوت دسی‌بل است.

$$\beta=۱۰\log\frac{I}{I_0}$$

تراز شدت صوت مرجع (آستانه‌ی شنوایی) به ازای $I=۱۰^{-۱۲}\frac{W}{m^2}$ برابر صفر است.

مثال ۱۷) شدت صوت یک چشمه‌ی صوت در فاصله‌ی معینی $۱۰^{-۴}\frac{W}{m^2}$ است. تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ $I_0=۱۰^{-۱۲}\frac{W}{m^2}$

۱) ۶۰ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۱۰۰

مثال ۱۸) تراز شدت صوتی ۱۲ دسی‌بل است. شدت صوت آن چند $\frac{\text{ω}W}{m^2}$ است؟ $I_0=۱۰^{-۱۲}\,W/m^2$ ، $\log۲=۰/۳$

۱) $۱/۶\times۱۰^{-۱۱}$ ۲) $۱/۶\times۱۰^{-۵}$ ۳) $۱/۲\times۱۰^{-۵}$ ۴) $۱/۲\times۱۰^{-۶}$

مثال ۱۹) تراز شدت صوتی ۶۳ دسی‌بل است شدت این صوت چند برابر شدت مرجع است؟

۱) ۲×۱۰^{-۱۳} ۲) ۴×۱۰^{-۱۵} ۳) $۴\times۱۰^{+۱۲}$ ۴) ۲×۱۰^{۶}

مثال ۲۰) تراز شدت صوتی در یک فاصله‌ی معین ۲۰ دسی‌بل است با نزدیک شدن به چشمه تراز شدت صوت به ۶۰ دسی‌بل می‌رسد. شدت صوت این صوت چند برابر شده است؟

۱) ۱۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۱۰۰۰ ۴) ۱۰۰۰۰

ادراک شنوایی

هر تُن موسیقایی دارای دو ویژگی است: **۱ـ ارتفاع ۲ـ بلندی**

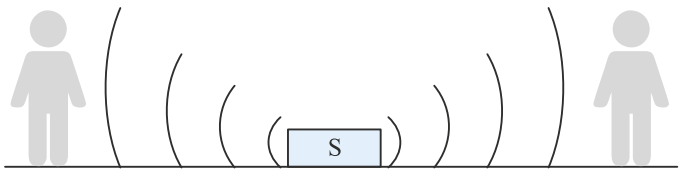
ارتفاع، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند. وقتی گوش آن را درک می‌کند که چند دستگاه با بسامدهای مختلف به ارتعاش درمی‌آیند. مثل چند دیاپازون با بسامدهای مختلف در کنار هم به ارتعاش درمی‌آیند و تفاوت ارتفاع صوت را می‌توان درک کرد.

اما بلندی، شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند. اگر به یک دیاپازون که بسامد مشخص و ثابتی دارد یک بار ضربه‌ی محکم و بار دیگر ضربه‌ای آهسته وارد کنیم، تفاوت این دو صدا را با یک بسامد درک می‌کنیم.

تفاوت بلندی با شدت صوت این است که شدت صوت را می‌توان با یک وسیله یا آشکارساز اندازه‌گیری کرد ولی بلندی با یک وسیله قابل اندازه‌گیری نیست فقط به ادراک شنوایی ما بستگی دارد. گوش انسان بسامدهایی بین ۲۰ تا ۲۰/۰۰۰ هرتز را می‌شنود. ولی گستره‌ی حساسیت بسامدهایی که می‌شود به بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز است.

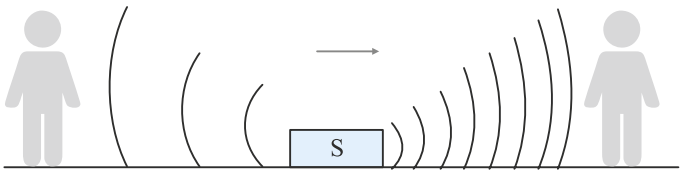
اثر دوپلر

شکل زیر چشمه‌ی صوت ساکنی را نشان می‌دهد که صوتی را با بسامد مشخص به اطراف منتشر می‌کند شنونده‌های ساکن بسامد صوت را در اطراف این چشمه دریافت می‌کنند.



حال اگر چشمه‌ی صوت روی یک خط راست به یک شنونده نزدیک و از شنونده‌ی دیگر دور شود بسامدی که شنونده‌ها دریافت می‌کنند متفاوت خواهد شد.

شنونده‌ای که چشمه‌ی صوت به آن نزدیک می‌شود، بسامدی که دریافت می‌کند بیشتر از بسامد واقعی چشمه‌ی صوت است و شنونده‌ای که چشمه‌ی صوت از آن دور می‌شود، بسامدی که دریافت می‌کند کمتر از بسامد واقعی چشمه است. علت آن این است که بر اثر نزدیک شدن چشمه به شنونده فاصله‌ی جبهه‌های موج (λ) کاهش می‌یابد. از آنجا که تندی صوت در محیط ثابت است، پس بسامد دریافتی افزایش می‌یابد و به همین شکل برای شنونده‌ای که چشمه از آن دور می‌شد فاصله‌ی جبهه‌های موج افزایش یافته و بسامد دریافتی شنونده‌ی کاهش می‌یابد.



در حالتی که چشمه‌ی صوت ساکن و شنونده‌ها به چشمه‌ی صوت نزدیک یا دور شوند، بسامد دریافتی بازهم اختلاف پیدا می‌کند. برای شنونده‌ای که به چشمه‌ی صوت نزدیک می‌شود بسامد دریافتی افزایش می‌یابد و برای شنونده‌ای که از چشمه دور می‌شود بسامد دریافتی کاهش می‌یابد.

نتیجه: به طور کلی اگر نتیجه‌ی حرکت چشمه و شنونده به هم نزدیک شوند بسامد دریافتی افزایش می‌یابد و اگر نتیجه‌ی حرکت چشمه و شنونده دور شدن باشد بسامد دریافتی کاهش می‌یابد.

مثال ۲۱) اگر فاصله‌ی شنونده‌ای از یک چشمه صوت ۲۰ درصد کاهش یابد شدت صوت آن چند درصد افزایش می‌یابد؟ (از جذب صدا توسط محیط صرف نظر می‌شود.)

۱) ۶۰ ۲) ۵۶/۲۵ ۳) ۶۲/۲۵ ۴) ۷۶/۲۵

مثال ۲۲) اگر فاصله‌ی شنونده‌ای از یک چشمه صوت به $\frac{۱}{۱۰}$ مقدار اولیه برسد، تراز شدت صوت چند دسی‌بل افزایش می‌یابد؟

۱) ۱۰ ۲) ۲۵ ۳) ۳۰ ۴) ۲۰

مثال ۲۳) تراز شدت صوتی ۴۷ دسی‌بل است. شدت صوت این صوت چند $\frac{W}{m^۲}$ است؟ $\log ۵ = ۰/۷$ ، $I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ w/m^۲$

۱) ۵×۱۰^{-۸} ۲) $۱۰^{-۸}$ ۳) ۷×۱۰^{-۸} ۴) $۱/۵\times۱۰^{-۸}$

مثال ۲۴) کدام گزینه‌ی زیر برای اثر دوپلر صحیح است؟

۱) اگر ناظری با تندی ثابت از یک چشمه صوت دور شود بسامد چشمه کاهش می‌یابد.

۲) اگر ناظری با تندی ثابت به یک چشمه‌ی صوت نزدیک شود بسامد چشمه افزایش می‌یابد.

۳) اگر ناظری با سرعت $V_۱$ و چشمه با سرعت $V_۲$ به طرف هم نزدیک شوند بسامد دریافتی ناظر بیشتر از بسامد واقعی چشمه شنیده می‌شود.

۴) اگر ناظری با سرعت $V_۱$ و چشمه با سرعت $V_۲$ از هم دور شوند بسامد دریافتی ناظر بیشتر از بسامد واقعی چشمه شنیده می‌شود.

الکتریسیته ساکن

بار الکتریکی q

در بسیاری از اجسام یا حتی ذرات خاصیتی به نام بار الکتریکی وجود دارد که می‌توان وجود این خاصیت را در ذراتی بسیار کوچک مثل الکترون و یا پروتون یافت. وقتی دو جسم باهم مالش داده می شوند تعدادی الکترون که دارای بار منفی $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ کولن است، بین دو جسم مبادله می‌شود و دو ماده دارای خاصیت بار الکتریکی می‌شود.

یکای این کمیت کولن است و یک کولن مقدار بار نسبتاً بزرگی است از واحد های کوچک تری مانند میکرو کولن، نانو کولن..... استفاده می شود

اگر n الکترون بین دو جسم مبادله شود، بار الکتریکی جسم برابر است با: $q=\pm ne$

$e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$

وقتی جسم الکترون بدست می‌آورد بار آن منفی و وقتی از دست می‌دهد بار آن مثبت می‌شود.

مثال ۱) یک ماده یا یک جسم چه تعداد الکترون از دست بدهد تا بار الکتریکی آن یک کولن شود؟ $e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$

۱) $۱/۶\times۱۰^{۱۹}$ ۲) $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ ۳) $۶/۲۵\times۱۰^{۱۸}$ ۴) $۶/۲۵\times۱۰^{۱۹}$

بار الکتریکی یک کمیت کوانتومی است؟

کمیت‌هایی که مقدار آن‌ها مضرب درستی از یک کمیت پایه باشند را کمیت کوانتومی می گویند. مثل بار الکتریکی که مقدار آن مضرب درستی از بار یک الکترون است. (کوانتیده)

دو ویژگی مهم بارهای الکتریکی: ۱- کوانتیده هستند ۲-مقدار بار الکتریکی کمیتی پایسته است؛ یعنی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود. (اصل پایستگی بار)

مثال ۲) عدد اتمی هلیم ($z=۲$) است. بار هسته و بار اتم چند میکروکولن است؟ $e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$

۱) $۳/۲\times۱۰^{-۱۳}$,$۳/۲\times۱۰^{+۱۳}$ ۲) $۳/۲\times۱۰^{-۱۳}$, خنثی ۳) $۰/۸\times۱۰^{-۱۶}$, خنثی ۴) ۸×۱۰^{-۱۴} ,$۸\times۱۰^{+۱۴}$

جدول تریبوالکتریک

وقتی اجسام را به هم مالش می‌دهیم تعدادی الکترون از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود که طبق اصل پایستگی بار الکتریکی تعداد الکترون‌هایی که یک جسم از دست می‌دهد با تعداد الکترون‌هایی که جسم دیگر بدست می‌آورد پایسته است. در جدول تریبوالکتریک مشخص می‌شود که دو جسم در تماس با هم کدام‌یک الکترون به دست می‌آورد و کدام‌یک الکترون از دست می‌دهد.

اجسام نزدیک به انتهای مثبت تمایل به از دست دادن الکترون دارند و اجسام نزدیک به انتهای منفی تمایل به گرفتن الکترون دارند.

انتهای منفی	تفلون – لاستیک – پلاستیک – ... – سُرب – موی گربه – پشم – سلفون – نایلون – شیشه – موی انسان	انتهای مثبت

نکته: وقتی دو کره رسانای کوچک با بار الکتریکی $q_۱$ و $q_۲$ به هم تماس داده می‌شوند و سپس جدا شوند، بار هر یک برابر است با: $q'_۱=q'_۲=\frac{q_۱+q_۲}{۲}$

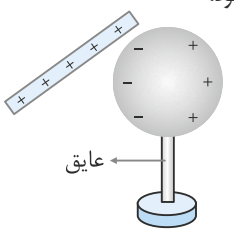
و مقدار بار جابه‌جا شده بین دو کره‌ی رسانا و مشابه برابر است با: $\Delta q=\frac{|q_۱-q_۲|}{۲}$

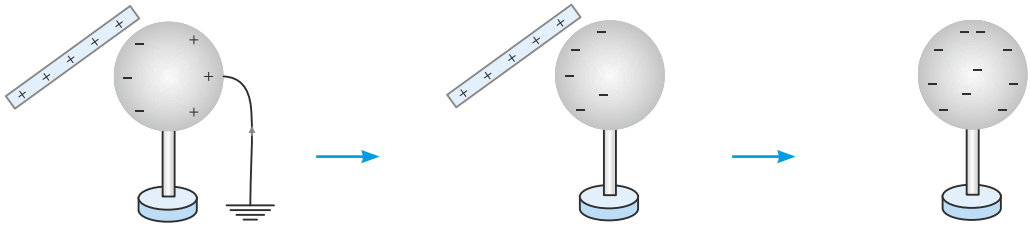
باردار کردن اجسام به روش القا:

در روش تماس یا مالش دیدیم که بین دو جسم بدون بار، الکترون مبادله می‌شود و بار یکی از اجسام $+q$ و بار جسم دیگر $-q$ می‌شود.

در روش القا جسم باردار به جسم رسانای بدون بار (مثل یک کره‌ی فلزی) نزدیک شده و توازن بارها در کره به‌هم می‌خورد به عبارتی بارهای مخالف نزدیک جسم باردار و بارهای مخالف در طرف دیگر و دورتر از جسم باردار قرار می‌گیرند.

با اتصال کره به زمین بار مخالف به کره داده می‌شود.

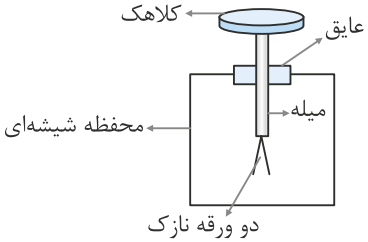




الکتروسکوپ چیست؟

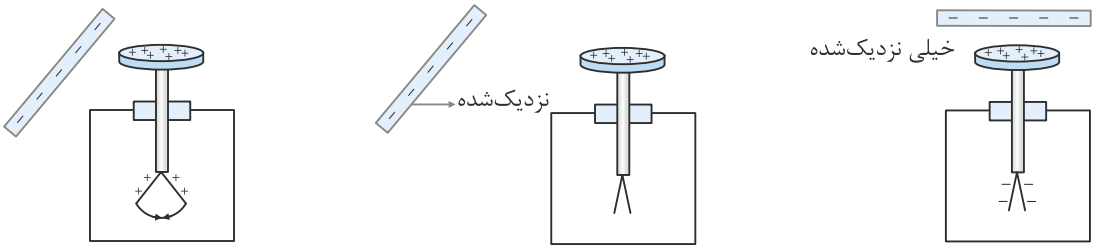
این وسیله که ساختمانی ساده دارد برای تشخیص وجود بار و نوع بار الکتریکی به کار می‌رود و حتی در بعضی از موارد مقدار بار الکتریکی جسم را اندازه می‌گیرد.

از یک کلاهک و یک میله‌ی فلزی رسانا و دو ورقه‌ی نازک که به هم لولا شده‌اند ساخته شده است.



وقتی الکتروسکوپ دارای بار الکتریکی است دو ورقه از هم دور هستند. با معلوم بودن بار الکتروسکوپ، اگر یک جسم باردار به آن نزدیک شود ورقه‌ها از هم دور می‌شوند (وقتی بار جسم با بار الکتروسکوپ هم‌نام باشند) و یا به هم نزدیک می‌شوند (وقتی بار جسم با بار الکتروسکوپ ناهمنام باشد).

اگر بار جسم و بار الکتروسکوپ مخالف هم باشند، ابتدا ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند ولی وقتی بیش از اندازه جسم به کلاهک نزدیک می‌شود، بار ورقه از هم دور می‌شوند.

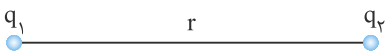


نکته: در مواردی که الکتروسکوپ بدون بار است. با نزدیک شدن یک جسم باردار ورقه‌های الکتروسکوپ از هم باز می‌شوند (به علت القای بار)

نیروی بین بارهای الکتریکی (قانون کولن)

کولن نشان داد که نیروی که دو ذره‌ی باردار که در فاصله‌ی r به هم وارد می‌کنند. با حاصل ضرب دو بار رابطه‌ی مستقیم و با مجذور فاصله‌ی دو بار نسبت معکوس دارد.

$$F = \frac{K|q_1||q_2|}{r^2} \qquad K \simeq 9\times10^9 \frac{Nm^2}{c^2}$$



دقت کنید نیرویی که دوبار به هم وارد می‌کنند طبق قانون سوم نیوتن حتماً برابر هم و در خلاف جهت هم می‌باشند.

مثال ۳) میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپی نزدیک می‌کنیم. ورقه‌های الکتروسکوپ نخست بسته و سپس از هم باز می‌شوند بار اولیه الکتروسکوپ از چه نوع بوده است؟

۱) مثبت ۲) منفی ۳) خنثی یا مثبت ۴) خنثی یا منفی

مثال ۴) دو کره‌ی رسانای کوچک و مشابه، دارای بار الکتریکی $q_1 = -2\mu C$ و $q_2 = -10\mu c$ را به هم تماس می‌دهیم و پس از آن در فاصله‌ی cm^3 یکدیگر قرار می‌دهیم. نیرویی که دو کره به هم وارد می‌کنند چند نیوتن می‌شود؟

۱) ۳۶ ۲) ۳۶۰ ۳) ۳۰ ۴) ۳۰۰

مثال ۵) یک میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش داده سپس آن را به کلاهک الکتروسکوپی با بار منفی نزدیک می‌کنیم. چه تغییری را مشاهده می‌کنیم؟

۱) ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک می‌شوند. ۲) ورقه‌های الکتروسکوپ ابتدا به هم نزدیک سپس دور می‌شوند.

۳) ورقه‌های الکتروسکوپ ابتدا دور سپس به هم نزدیک می‌شوند. ۴) هر سه مورد ممکن است اتفاق بیفتد.

مثال ۶) نیروی دافعه‌ی بین دو بار الکتریکی مشابه در فاصله‌ی r از هم برابر ۰/N۰۲ است. اگر به یکی از بارها ۲∝C اضافه شود، نیرویی دافعه بین دو بار ۰/N۰۳ می‌گردد. مقدار بار اولیه‌ی هر یک از بارها چند میکروکولن بوده است؟

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

مثال ۷) دو بار q_1 و $q_2 = 2q_1$ در فاصله‌ی r از هم قرار دارند و به هم نیروی دافعه وارد می‌کنند چند درصد از بار q_2 را به q_1 منتقل کنیم تا در همان فاصله نیروی بین بارهای الکتریکی بیشینه شود؟

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۴۰ ۴) ۵۰

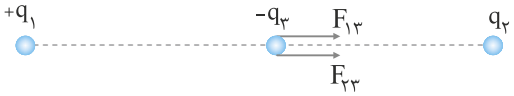
مثال ۸) دو کره‌ی مشابه فلزی کوچک و رسانا دارای بار الکتریکی $q_1 = +5\mu C$ و $q_2 = +15\mu C$ در فاصله‌ی r نیروی F بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو کره را در یک لحظه به هم تماس داده و مجدداً در همان فاصله‌ی قبلی قرار دهیم نیروی دافعه‌ی بین دو کره چگونه تغییر می‌کند؟

۱) ۲۵ درصد افزایش می‌یابد ۲) ۲۵ درصد کاهش می‌یابد ۳) تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد ۴) تقریباً ۳۳ درصد افزایش می‌یابد

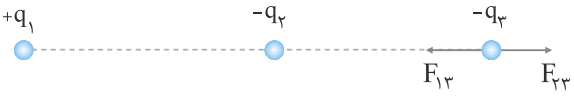
اصل برهم نهی نیروهای الکترواستاتیکی

گاهی چند بار الکتریکی در یک راستا قرار دارند و می‌خواهیم برآیند نیروهای وارد بر یکی از بارها را محاسبه کنیم (اصل برهم نهی الکترواستاتیکی)

ابتدا نیرویی که هر یک از بارها به بار مورد نظر وارد می‌کند را ترسیم کرده، سپس به روش برآیند بردارها نیروی خالص وارد بر بار را محاسبه می‌کنیم. به طور مثال نیروهای وارد بر بار q_3 مطابق شکل رسم شده و برآیند این نیروها را مشخص کرده‌ایم.



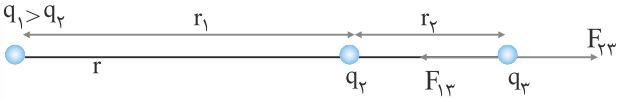
$$F_t = F_{13} + F_{23}$$



$$F_t = |F_{23} - F_{13}|$$

در حالتی که بخواهیم بار سومی در فاصله‌ایی از دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که به فاصله‌ی r از هم قرار دارند، به‌حال تعادل باشد. به روش زیر عمل می‌کنیم:

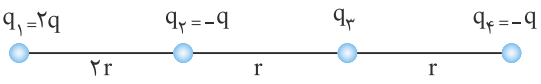
اگر دو بار q_1 و q_2 غیر همنام باشند باید بار q_3 خارج از دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر روی خط واصل دو بار قرار گیرد. که علامت و مقدار q_3 تأثیری در تعادل با q_3 ندارد فقط مکان آن باید مشخص گردد.



اگر دو بار q_1 و q_2 همنام باشند باید بار q_3 بین دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر باشد.

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2}$$

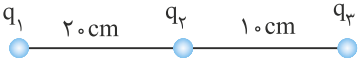
مثال ۹) در شکل مقابل چهار بار الکتریکی نقطه‌ای در چهار نقطه ساکن هستند، برآیند نیروهای وارد بر q_3 چند برابر برآیند نیروهای وارد بر q_1 است؟ $(q_3 = \frac{9}{2}q)$



۱) $-\frac{8}{3}$ ۲) $\frac{3}{8}$

۳) $-\frac{3}{8}$ ۴) $\frac{8}{3}$

مثال ۱۰) در شکل مقابل برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای نقطه‌ای برابر صفر است $\frac{q_3}{q_2}$ کدام است؟



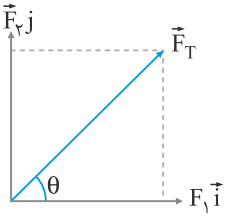
۱) -۴ ۲) $+۴$

۳) $-\frac{9}{4}$ ۴) $\frac{9}{4}$

اصل برهم‌نهی نیروهای الکتریکی غیرهم‌راستا

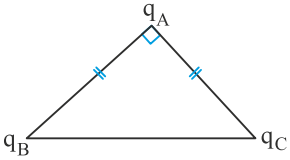
در مواردی که بارها در یک خط قرار ندارند (مثلا در رئوس یک مثلث یا مربع یا مستطیل و ...) نیروهای وارد بر یک بار در یک راستا قرار ندارند.

در حالتی که نیروهای الکتریکی وارد بر یک بار عمود برهم باشند، برآیند را به روش زیر بدست می‌آوریم:



$$F_T = F_1\vec{i} + F_2\vec{j}$$
$$F_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \Rightarrow \tan\theta = \frac{F_2}{F_1}$$

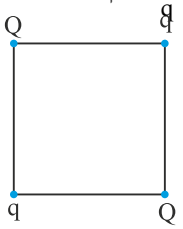
مثال ۱۱) در شکل مقابل سه بار الکتریکی $q_A = q$ و $q_B = \sqrt{3}q$ و $q_C = -q$ در رئوس مثلث متساوی‌الساقینی قرار دارند. زاویه‌ای که برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر q_A با امتداد پاره‌خط AB می‌سازد چند درجه است؟



۱) ۳۰ ۲) ۴۵

۳) ۵۳ ۴) ۶۰

مثال ۱۲) بارهای الکتریکی q و Q مطابق شکل در چهار رأس مربعی قرار دارند اگر برآیند نیروهای وارد بر بار Q صفر باشد. نسبت $\frac{Q}{q}$ کدام است؟



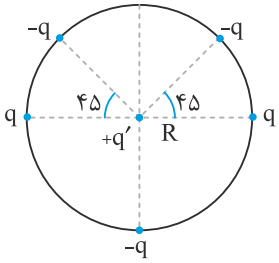
۱) $۲\sqrt{۲}$

۲) $\sqrt{۲}$

۳) $-\sqrt{۲}$

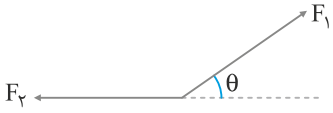
۴) $-۲\sqrt{۲}$

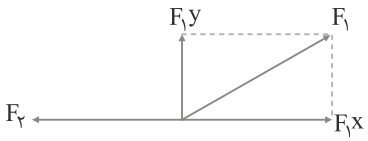
مثال ۱۳) پنج بار نقطه‌ای هم‌اندازه روی محیط دایره‌ای به شعاع R قرار دارند و بار q' در مرکز دایره است. نیرویی که بار q بر q' وارد می‌کند F است. برآیند نیروهای وارد بر q' چند F است؟



۱) $\sqrt{۲}$
۲) $\sqrt{۲}-۱$
۳) $\sqrt{۲}+۱$
۴) صفر

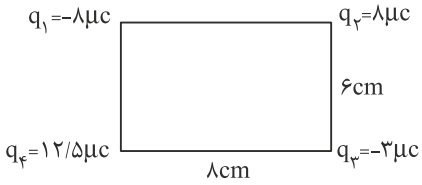
نکته: در مواردی که نیروهای وارد بریک بار الکتریکی برهم عمود نیستند و دریک راستا قرار ندارند از روش تجزیه استفاده کنید.





$$\begin{cases} F_1x = F_1\cos\theta \\ F_1y = F_1\sin\theta \\ \vec{F_1} = F_1x\vec{i} + F_1y\vec{j} \end{cases} \Rightarrow F_T = \sqrt{(F_1x - F_2)^2 + F_1y^2}$$

مثال ۱۴) چهار بار الکتریکی در چهار رأس مستطیلی ساکن شده‌اند. بزرگی برآیند نیروهای وارد بر q_2 چند نیوتن است؟

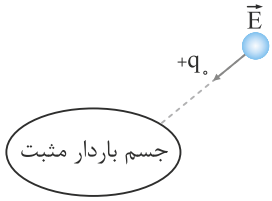


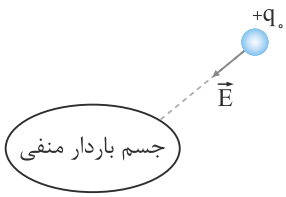
۱) $۶\sqrt{۱۰}$
۲) $۶\sqrt{۵}$
۳) ۱۸
۴) ۱۲

میدان الکتریکی

در فضای اطراف اجسام باردار خاصیتی وجود دارد که می‌تواند به واسطه وجود این خاصیت (میدان الکتریکی) به اجسام باردار اطراف خود نیرو وارد کند. این کمیت برداری است. $(\vec{E})$

از آنجا که این خاصیت نامرئی است، برای تشخیص وجود این خاصیت در یک فضا از بارکوچکی به نام بار آزمون استفاده می‌کنند، برای تشخیص جهت این خاصیت، بار آزمون را به طور قراردادی مثبت فرض می‌کنند. $(+q_0)$ که بنا به تعریف: جهت میدان الکتریکی هم جهت نیرویی است که به بار آزمون مثبت وارد می‌شود.



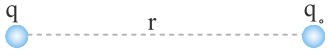


تعریف کمی میدان الکتریکی

بزرگی میدان الکتریکی بزرگی نیرویی است که به واحد بار الکتریکی وارد می‌شود.

یکای میدان الکتریکی $\frac{N}{C}$ بزرگی میدان الکتریکی $E = \frac{F}{q_0}$ است.

در اطراف یک ذره‌ی باردار q این خاصیت تا فاصله‌ی بسیار زیاد وجود دارد.برای محاسبه‌ی میدان درهر فاصله معین (r) کافی است بار q_0 را در این فاصله، از ذره باردار q قرار داد، بزرگی نیروی وارد بر بار q_0، بزرگی میدان است.



$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{\frac{kqq_0}{r^2}}{q_0} \Rightarrow E = \frac{kq}{r^2}$$

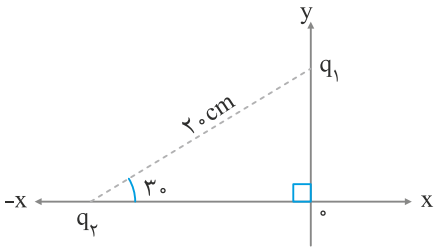
مثال ۱۵) در فضایی میدان الکتریکی، وزن بار ۲/nc۵ به جرم ۰/mg۱ را خنثی می‌کند. بزرگی این میدان برحسب $\frac{N}{C}$ کدام است؟ $g = ۱۰\ N/kg$

۱) ۲۵۰ ۲) ۴۰ ۳) ۴۰۰ ۴) ۲۵۰۰

مثال ۱۶) دو بار الکتریکی $-Q_1$ و Q_2 در فاصله‌ی یک متری هم قرار دارند. اگر در نقطه‌ای بین دو بار به فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متری از بار $-Q_1$ میدان الکتریکی دو ذره باردار باهم برابر باشد. نسبت $\frac{Q_2}{|Q_1|}$ کدام است؟

۱) ۱/۲۵ ۲) ۱/۵۰ ۳) ۲/۲۵ ۴) ۲/۵۰

مثال ۱۷) دو بار همنام $q_1 = 4\mu c$ و q_2 مطابق شکل در فاصله ۲۰ سانتی متری هم قرار دارند و نیروی ۳/۶ نیوتن را به هم وارد می‌کنند. بردار میدان در مبدأ مختصات (نقطه o) کدام است؟ (یکای میدان $\frac{N}{C}$)



۱) $\vec{E} = 12\times10^5(\vec{i}-3\vec{j})$

۲) $12\times10^5(3\vec{i}-\vec{j})$

۳) $12\times10^6(\vec{i}-3\vec{j})$

۴) $12\times10^6(3\vec{i}-\vec{j})$

مثال ۱۸) دو بار الکتریکی q_1 و q_2 در فاصله‌ی r ازهم قرار دارند. اگر برآیند میدان در نقطه o صفر باشد نسبت $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟

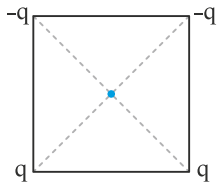
۱) $\frac{1}{9}$ ۲) $-\frac{1}{9}$

۳) $\frac{1}{16}$ ۴) $-\frac{1}{16}$

مثال ۱۹) بارهای الکتریکی نقطه‌ای $4\infty c$ و $8\infty c$ روی محور x به‌ترتیب در مکان‌های $x_1 = 6cm$ و $x_2 = 12cm$ قرار دارند. بار نقطه‌ای چند میکروکولنی را باید در مکان $x = 18cm$ قرار داد تا میدان الکتریکی در مبدأ محور مختصات صفر شود؟

۱) -54 ۲) -18 ۳) 18 ۴) 54

مثال ۲۰) چهار بار نقطه‌ای مطابق شکل در رأس های مربعی به ضلع $a\sqrt{2}$ قرار دارند. بزرگی میدان الکتریکی در مرکز مربع کدام است؟



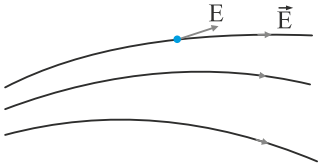
۱) $\frac{kq}{a^2}$ ۲) $\frac{kq}{2a^2}$

۳) $\frac{\sqrt{2}kq}{a^2}$ ۴) $\frac{2\sqrt{2}kq}{a^2}$

نمایش میدان الکتریکی (خطوط میدان الکتریکی)

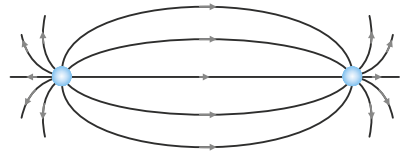
برای تجسم میدان از خطوط فرضی استفاده می‌شود که دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

۱- بردار میدان در هر نقطه برداری است مماس بر این خطوط و جهت آن، هم‌جهت نیرویی است که به بار مثبت وارد می‌شود. (از مثبت به منفی)

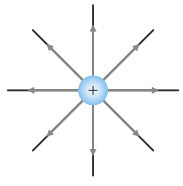


۲- تراکم خطوط (در مکان‌هایی که خطوط به هم نزدیک هستند) نشانه‌ی قوی بودن میدان است.

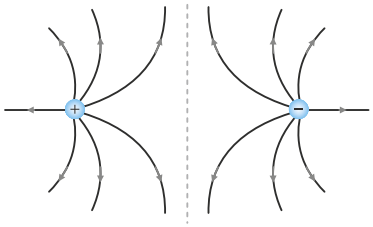
۳- خطوط میدان یکدیگر را قطع نمی‌کنند. یعنی از هر نقطه فقط یک خط میدان می‌گذرد.



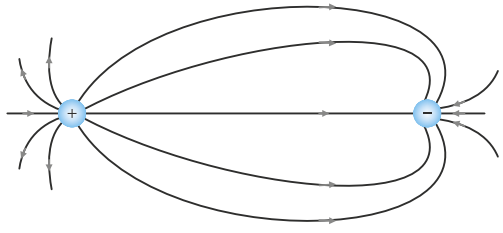
دو قطبی الکتریکی



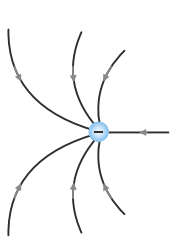
تک قطبی مثبت

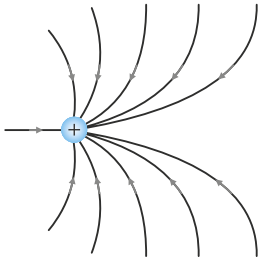


دو بار مشابه

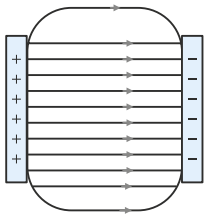


دو بار غیر همنام نامساوی





دو بار همنام نامساوی



میدان یکنواخت

در میدان یکنواخت که خطوط میدان به صورت موازی است. بزرگی و جهت میدان در همه‌ی نقاط یکسان است.

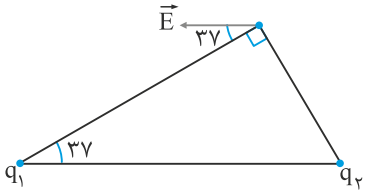
مثال ۲۱) در فضایی میدان الکتریکی یکنواختی در راستای قائم برقرار است. یک ذره‌ی باردار به جرم ۰/g۱ و بار $-۴\mu C$ به حال تعادل قرار دارد. بردار میدان کدام است؟ $g \simeq ۱۰\frac{N}{kg}$

۱) $۲۵۰\vec{j}$ ۲) $-۲۵۰\vec{j}$ ۳) $۲۵۰۰\vec{j}$ ۴) $-۲۵۰۰\vec{j}$

مثال ۲۲) در فضایی میدان الکتریکی برقرار است یک ذره‌ی باردار به جرم g۲ و بار $۵\infty C$، شتابی معادل $\vec{a}=۱۰\vec{i}$ برحسب متر بر مجذور ثانیه می‌گیرد. بردار میدان الکتریکی کدام گزینه است؟ $g \simeq ۱۰\frac{N}{kg}$

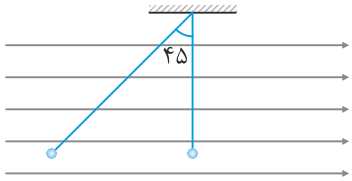
۱) $۴\times۱۰^{۳}\vec{i}+\vec{j}$ ۲) $۴\times۱۰^{۵}\vec{i}+\vec{j}$ ۳) $۴\times۱۰^{۳}\vec{i}$ ۴) $۴\times۱۰^{۵}\vec{i}$

مثال ۲۳) در شکل مقابل برآیند دو میدان حاصل از دو بار $q_۱$ و $q_۲$ در رأس قائمه‌ی مثلث موازی قاعده‌ی مثلث رسم شده است. نسبت $\frac{q_۲}{q_۱}$ کدام است؟



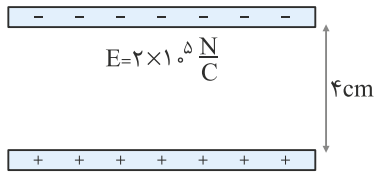
۱) $-\frac{۴}{۳}$
۲) $-\frac{۲۷}{۶۴}$
۳) -۱
۴) $-\frac{۱۳}{۱۵}$

مثال ۲۴) بار الکتریکی q به جرم ۱۰ گرم توسط نخی سبک از سقفی آویزان است میدان الکتریکی یکنواخت $۱۰^{۵}\frac{N}{C}$ آن را ۴۵ درجه از خط قائم منحرف می‌کند. بار الکتریکی برحسب میکروکولن کدام است؟



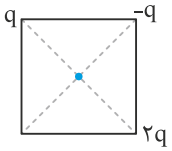
۱) -۱ ۲) -۲
۳) -۳ ۴) -۴

مثال ۲۵) بار الکتریکی $۳\infty C$ به جرم ۵۰ گرم از مجاورت صفحه‌ی پایینی رها می‌شود و با شتاب ثابتی به صفحه بالایی می‌رسد. (بافرض اینکه مقاومت هوا وجود نداشته باشد و $g=۱۰\frac{N}{kg}$ و همچنین بار جسم به دو صفحه منتقل نشود.) پس از چند ثانیه به صفحه‌ی بالایی می‌رسد؟



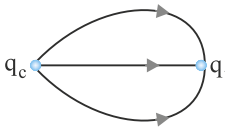
۱) ۰/۲ ۲) ۰/۱
۳) ۰/۲۵ ۴) ۰/۳

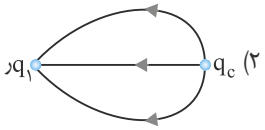
مثال ۲۶) مطابق شکل ۳ بار نقطه‌ای در ۳ رأس مربعی به ضلع a ثابت شده‌اند. با حذف کدام بار برآیند میدان در مرکز مربع از نظر اندازه تغییری نمی‌کند؟

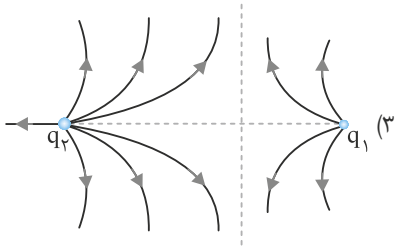


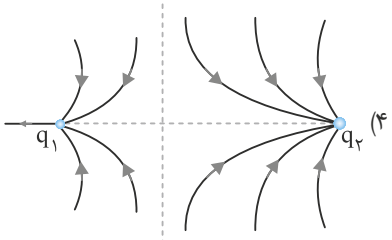
۱) q ۲) $-q$
۳) $q۲$ ۴) با حذف هریک اندازه‌ی میدان تغییری نمی‌کند.

مثال ۲۷) دو بار نقطه‌ایی $q_۱$ و $q_۲$ از هم ثابت شده‌اند. برآیند میدان بین دو بار نزدیک بار $q_۲$ صفر است. کدام نمایش رسم خطوط میدان را برای این دو بار درست نشان می‌دهد؟

۱) 

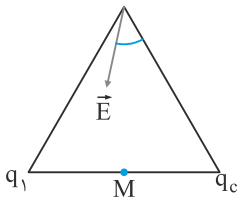
۲) 

۳) 

۴) 

۶ فرسنگ
درسنامه

مثال ۲۸) بردار میدان حاصل از دو بار q_1 و q_2 در رأس مثلث متساوی‌الاضلاع است. بردار میدان در نقطه‌ی M وسط دو بار و روی خط واصل دو بار q_1 و q_2 چگونه است؟



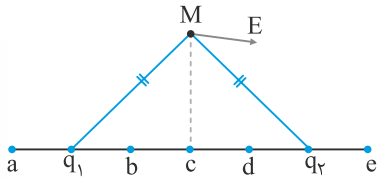
۱) کوچک‌تر از $\vec{E}$ به سمت راست

۲) بزرگ‌تر از $\vec{E}$ به سمت راست

۳) کوچک‌تر از $\vec{E}$ به سمت چپ

۴) صفر است

مثال ۲۹) بردار میدان حاصل از دو بار q_1 و q_2 در رأس مثلث قائم‌الزاویه مشخص شده است. برآیند میدان حاصل از دو بار روی خط واصل دو بار در چه نقطه‌ای صفر است؟



۱) a و e ۲) a

۳) b و d ۴) b

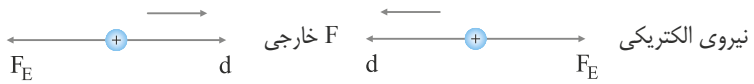
۶ فرسنگ

درسنامه

انرژی پتانسیل الکتریکی

در سال دهم با دو انرژی پتانسیل گرانشی و کشسانی آشنا شدید. در اینجا انرژی پتانسیل الکتریکی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

وقتی دو بار همنام را به یکدیگر نزدیک می‌کنیم و یا دو بار غیرهمنام را از هم دور می‌کنیم. برای انجام این عمل باید کار مثبت انجام داد. ولی کار میدان الکتریکی روی هر بار منفی است.



$W_F > 0$ کار نیروی خارجی

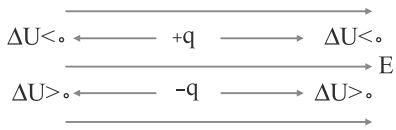
$W_E < 0$ کار نیروی الکتریکی

در این وضعیت در سامانه‌ی دو بار انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره کند. به عبارتی دیگر: $\Delta U = -W_E$

و اگر کار نیروی خارجی با سرعت یا تندی ثابت انجام شود $W_E = -W_F$ است.

می‌توان با جابه‌جایی بار الکتریکی درون میدان الکتریکی در بار انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره نمود.

اگر بار منفی در جهت میدان و بار مثبت در خلاف جهت میدان جابه‌جا شوند انرژی پتانسیل الکتریکی آن‌ها افزایش می‌یابد و اگر بار در راستای عمود بر میدان جابه‌جا شود چون کار میدان بر روی بار صفر است، پس انرژی پتانسیل الکتریکی آن تغییر نمی‌کند.



محاسبه‌ی تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار الکتریکی درون میدان یکنواخت

$\Delta U = -W_E$ $\quad W_E = Fd\cos\theta \rightarrow W = E|q|d\cos\theta$ $\quad \Delta U = -E|q|d\cos\theta$

همانطور که در رابطه‌ی کار θ زاویه‌ی بین نیرو و جابه‌جایی است. در این رابطه هم θ زاویه‌ی جابه‌جایی و نیروی میدان الکتریکی است.

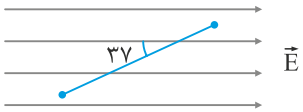
تذکر: البته برای آنکه در محاسبات علامت ΔU و W_E اشتباهی صورت نگیرد. یادتان باشد اگر بار مثبت در جهت میدان جابه‌جا شود علامت W_E مثبت و ΔU منفی است و در خلاف جهت میدان جابه‌جایی صورت گیرد برعکس می‌شود و برای بار منفی هم، اگر بار منفی در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود کار میدان الکتریکی بر روی بار منفی و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی مثبت خواهد بود. به عبارت دیگر قبل از محاسبه‌ی ΔU و W_E علامت این دو کمیت را مشخص کنید.

مثال ۳۰) درون یک میدان الکتریکی یکنواخت و افقی (در راستای محور x) بار $q = -5mC$ را با سرعت اولیه‌ی $10\frac{m}{s}$ در راستای میدان الکتریکی و در خلاف جهت محور x پرتاب می‌کنیم. اگر بار پس از $20cm$ جابه‌جایی در راستای افقی متوقف شود. اندازه‌ی میدان یکنواخت چند $\frac{N}{C}$ و در چه جهتی است؟

(جرم بار ۲ گرم و از وزن بار صرف نظر کنید.)

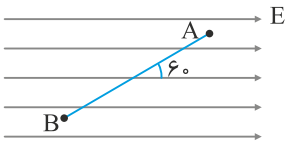
۱) ۱۰۰ در جهت $+x$ ۲) ۱۰۰ در جهت $-x$ ۳) ۲۰۰ در جهت $+x$ ۴) ۲۰۰ در جهت $-x$

مثال ۳۱) بار نقطه‌ای $۴\propto C$ در یک میدان یکنواخت به بزرگی $۱/۵\times۱۰^{۶}\frac{N}{C}$ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جایی شود. انرژی پتانسیل الکتریکی این بار نقطه‌ای چگونه تغییر می‌کند؟ ($\sin ۳۷=۰/۶$ ، $AB=۲۵cm$)



۱) ۱/۲ ژول افزایش می‌یابد
۲) ۱/۲ ژول کاهش می‌یابد
۳) ۱/۵ ژول افزایش می‌یابد
۴) ۱/۵ ژول کاهش می‌یابد

مثال ۳۲) بار الکتریکی $-۱۰\mu C$ در میدان یکنواخت الکتریکی $۴\times۱۰^{۵}\frac{N}{C}$ مطابق شکل از نقطه‌ی A با تندی ۱۰۰ متر بر ثانیه در راستای AB به فاصله‌ی $m۸$ جابه‌جا شود. تندی آن در نقطه‌ی B چند $\frac{m}{s}$ می‌شود. از اصطکاک و نیروی وزن صرف‌نظر می‌شود.) (جرم بار ۰/۴ گرم)



۱) ۴۰۰
۲) ۳۰۰
۳) ۱۶۰
۴) ۴۰

مثال ۳۳) در فضایی میدان یکنواختی به طور افقی در راستای محور x ایجاد شده است برای آنکه با رها کردن یک ذره‌ی باردار $۱\propto C$ به جرم یک گرم درون این میدان، به ازای هر سانتی‌متر جابه‌جایی به تندی آن یک متر بر ثانیه اضافه شود. بزرگی میدان چند $\frac{N}{C}$ باید باشد؟

۱) ۵×۱۰^{۳}
۲) ۵×۱۰^{۴}
۳) ۴×۱۰^{۵}
۴) ۴×۱۰^{۴}

اختلاف پتانسیل الکتریکی

همانطور که دیدیم وقتی بار الکتریکی درون میدان الکتریکی جابه‌جا شود. انرژی پتانسیل الکتریکی آن بین دو نقطه تغییر می‌کند. نسبت تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی به واحد بار الکتریکی را اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آن دو نقطه می‌گویند.

یکای این کمیت $\frac{j}{C}$ یا ولت است.

$$\Delta V=\frac{\Delta U}{q}$$

دقت داشته باشید که در مسائل اختلاف پتانسیل علامت بار در رابطه‌ی فوق حتماً قید شود.

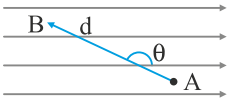
اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در یک میدان الکتریکی یکنواخت

با استفاده از رابطه‌ی تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار در یک میدان یکنواخت:

$$\Delta U=-Eq_{۱}d\cos\theta$$

و رابطه‌ی اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه می‌توان نوشت:

$$\Delta V=\frac{\Delta U}{q}=\frac{-E(q)d\cos\theta}{q}\Rightarrow \Delta V=-Ed\cos\theta$$



θ زاویه بین بردار میدان و بردار جابه‌جایی است.

$$V_B-V_A=-Ed\cos\theta$$

بهتر است قبل از آنکه خودتان را درگیر علامت‌های مثبت و منفی کنید، قبل از محاسبه اختلاف پتانسیل بین دو نقطه تشخیص دهید باید علامت اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را مثبت قرار دهید یا منفی:

در جهت میدان الکتریکی پتانسیل الکتریکی نقاط کاهش می‌یابد در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی نقاط افزایش می‌یابد.

$V_A>V_B>V_C$ ، $V_C=V_D$

$V_c<V_B<V_A$

نکته: میدان یکنواخت که بین دو صفحه موازی باردار به فاصله d از هم قرار دارند برابر است با:

$$E=\frac{\Delta V}{d}$$

ΔV اختلاف پتانسیل بین دو صفحه‌ی باردار است.

مثال ۳۳) بار الکتریکی $-۲\mu C$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱=-۴۰V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_۲=-۱۰V$ جابه‌جا می‌شود. انرژی پتانسیل بار چند ژول و چگونه تغییر می‌کند؟

۱) $۱۰^{-۴}j$ کاهش می‌یابد
۲) $۱۰^{-۴}j$ افزایش می‌یابد
۳) $۶\times۱۰^{-۵}j$ کاهش می‌یابد
۴) $۶\times۱۰^{-۵}j$ کاهش می‌یابد

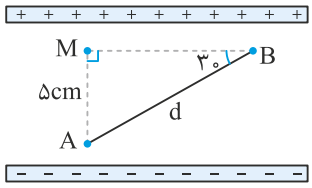
مثال ۳۴) در یک میدان الکتریکی بار $-۲\mu C$ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی آن در نقاط A و B به ترتیب $۰/۴mj$ و $۰/۶mj$ باشد و پتانسیل نقطه‌ی A، ۲۰ ولت باشد، پتانسیل نقطه‌ی B چند ولت است؟

۱) ۸۰
۲) -۸۰
۳) -۱۲۰
۴) ۱۲۰

مثال ۳۵) درون یک میدان الکتریکی یکنواخت بار الکتریکی $-۲\mu C$ از نقطه‌ی A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر کار نیروی الکتریکی در این انتقال برابر ۵×۱۰^{-۵} j باشد، تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چند ژول است و $V_B - V_A$ برابر چند ولت می‌باشد؟

۱) -۵×۱۰^{-۵} و -۲۵ ۲) -۵×۱۰^{-۵} و $+۲۵$ ۳) ۵×۱۰^{-۵} و -۲۵ ۴) ۵×۱۰^{-۵} و $+۲۵$

مثال ۳۶) بین دو صفحه‌ی موازی باردار به فاصله‌ی ۱۰cm میدان یکنواخت الکتریکی $۱۰^{۵}\frac{N}{C}$ برقرار شده است. چند مطلب زیر صحیح می‌باشد؟



الف) پتانسیل نقطه B از پتانسیل نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۵ کیلوولت بیشتر است.

ب) پتانسیل نقطه‌ی A از پتانسیل نقطه‌ی B به اندازه‌ی $۵\sqrt{۳}$ کیلوولت کمتر است.

پ) به بار الکتریکی q در نقطه‌ی B نیروی بیشتری نسبت به نقطه‌ی A وارد می‌شود.

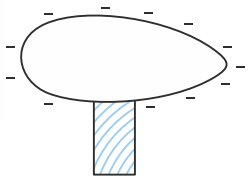
ت) با رها کردن یک ذره‌ی باردار $-۲\mu C$ و سبک از نقطه‌ی A، این ذره مسیر A تا M طی می‌کند و انرژی پتانسیل الکتریکی آن به اندازه‌ی ۱۰ میلی‌ژول کاهش می‌یابد.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۶ فرسنگ

درسنامه

توزیع بار در اجسام رسانا



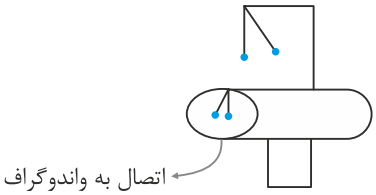
طبق آزمایش‌های انجام شده وقتی بار اضافی به یک جسم رسانا داده می‌شود. تمام بار اضافه روی سطح رسانا پخش می‌شود. بار و میدان درون رسانا صفر است. توزیع بار به‌گونه‌ای است که در نقاط برجسته تراکم بار بیشتر است.

مثال ۳۷) با یک کره رسانا متصل به یک نخ عایق، یک الکتروسکوپ و یک ظرف فلزی، آزمایشی طراحی می‌کنیم. ظرف بدون بار روی سطح عایقی قرار دارد. به وسیله‌ی یک جسم باردار به کره‌ی رسانا و الکتروسکوپ بار همنام می‌دهیم. سپس کره را به درون ظرف فرو برده و به ته ظرف تماس می‌دهیم و پس از آن کره را خارج کرده و به الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم، چه چیزی مشاهده می‌کنیم؟

۱) ورقه‌های الکتروسکوپ ثابت می‌ماند. ۲) ورقه‌ها از هم دور می‌شوند.

۳) ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند. ۴) ورقه‌ها ابتدا به هم نزدیک شده سپس دور می‌شوند.

مثال ۳۸) در یک آزمایش استوانه فلزی روی پایه عایق قرار دارد و بدنه‌ی آن به یک مولد واندوگراف متصل است در این حالت:



۱) همه آونگ‌ها از هم دور می‌شوند.

۲) هیچ تغییری در آونگ‌ها ایجاد نمی‌شود.

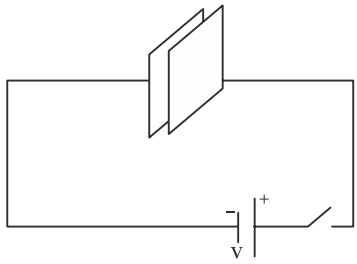
۳) آونگ‌های داخل استوانه از هم دور و آونگ‌های روی سطح استوانه بدون تغییر خواهند ماند.

۴) آونگ‌های داخل استوانه بدون تغییر ولی آونگ‌های روی سطح استوانه از هم دور می‌شوند.

خازن

این قطعه به عنوان ذخیره‌کننده‌ی بار و انرژی الکتریکی در بیشتر قطعات الکتریکی یا الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل‌های مختلفی دارد. یک نوع ساده‌ی آن خازن تخت یا مسطح است که از دو صفحه‌ی مشابه و رسانا تشکیل شده و بین صفحات آن عایق وجود دارد.



وقتی خازن خالی (دشارژ) است که باری روی صفحات خازن نمی‌باشد و میدان الکتریکی بین دو صفحه وجود ندارد.

برای شارژ یا پُر کردن خازن کافی است دو صفحه خازن را به اختلاف پتانسیل ثابتی وصل کنیم. در مدتی که بارهای الکتریکی روی صفحات خازن قرار می‌گیرند خازن در حال شارژ شده است.

درواقع مکانیزم پُر شدن خازن بدین صورت است که وقتی اختلاف پتانسیل به دو سر خازن اعمال می‌شود. شارش بار از یک صفحه به صفحه‌ی دیگر شروع می‌شود و تا وقتی که اختلاف پتانسیل دو سر خازن با اختلاف پتانسیل دو سر مولد برابر شود خازن در حال ذخیره بار و انرژی الکتریکی می‌گردد.

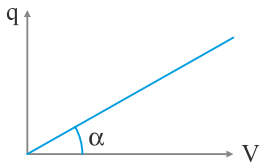
ظرفیت خازن

در هر خازن نسبت با ذخیره شده به اختلاف پتانسیل دو سر آن مقدار ثابتی است که به آن ظرفیت می‌گویند.

یکای ظرفیت خازن کولن بر ولت ($\frac{C}{V}$) یا فاراد است.

$C = \frac{q}{V}$ ← بار ذخیره شده برحسب کولن
← اختلاف پتانسیل برحسب ولت

$q = CV$



$\tan\alpha = C$

دقت کنید با تغییر اختلاف پتانسیل دو سر خازن بار روی صفحات تغییر می‌کند و ظرفیت همواره ثابت است.

مثال ۳۹) دو سر یک خازن تخت را یک بار به ۱۲ ولت و بار دیگر به ۱۸ ولت متصل می‌کنیم در این عمل به اندازه‌ی $۴\mu C$ بار روی صفحات خازن شارش می‌شود. ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) $\frac{۴}{۳}$ ۳) ۱/۵ ۴) ۴

عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

دیدیم با تغییر اختلاف پتانسیل دو سر خازن، ظرفیت همچنان ثابت می‌ماند. برای تغییر در ظرفیت خازن‌های مسطح باید ساختار خازن را تغییر داد.

عوامل مؤثر در ظرفیت خازن عبارتند از:

۱- مساحت صفحات خازن A : هرچه مساحت صفحات خازن بیشتر شود، ظرفیت خازن بیشتر می‌گردد. $C \propto A$

۲- فاصله‌ی بین دو صفحه d: هرچه فاصله‌ی بین دو صفحه را کاهش دهیم در واقع میدان یکنواخت ($E = \frac{V}{d}$) شدت یافته و باعث جذب بار بیشتر روی صفحات خازن و افزایش ظرفیت خازن می‌شود. $C \propto \frac{۱}{d}$

۳- ضریب دی الکتریک K: قرار گرفتن یک دی‌الکتریک بین صفحات خازن پُر شده باعث می‌شود که خازن بتواند ولتاژهای بیشتری را تحمل کند و باعث افزایش بار و افزایش ظرفیت خازن می‌شود. البته دی‌الکتریک‌ها دارای ضرایب گوناگونی هستند.

$\varepsilon_۰ = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \frac{F}{m}$ (ضریب گذردهی خلا است که جز ثابت‌های جهانی است.)

$C = \frac{K\varepsilon_۰ A}{d}$ $C \propto K\varepsilon_۰$

مثال ۴۰) مساحت هر صفحه‌ی یک خازن مسطح $۲۵cm^۲$ است و فاصله‌ی بین دو صفحه ۱/۷۷ میلی‌متری است. اگر ضریب دی‌الکتریک بین دو صفحه $K = ۴$ باشد. ظرفیت خازن چند پیکوفاراد است؟

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۱۵ ۴) ۶۰

مثال ۴۱) اگر فاصله‌ی بین دو صفحه‌ی خازنی مسطح ۲۵ درصد و مساحت هر صفحه ۵۰ درصد کاهش یابد. اختلاف پتانسیل و ضریب دی‌الکتریک خازن هر یک چند درصد تغییر کنند تا ظرفیت خازن ثابت بماند؟

۱) صفر و ۵۰ ۲) صفر و ۱۵۰ ۳) ۲۵ و ۲۵ ۴) ۱ و ۵۰

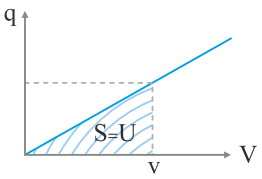
فروریزش الکتریکی

اثر دی‌الکتریک بین صفحات خازن این امکان را به خازن می‌دهد تا اختلاف پتانسیل‌های بیشتری را تحمل کند. اگر اختلاف پتانسیل از حد تحمل خازن بیشتر شود، مسیرهای رسانایی برای عبور بار الکتریکی در دی‌الکتریک به وجود می‌آید و باعث ایجاد جرقه‌هایی شده و خازن تخلیه می‌شود که به این پدیده فروریزش الکتریکی گفته می‌شود.

انرژی خازن

همانطور که گفته شد وقتی دو سر خازنی با ظرفیت ثابت C را به اختلاف پتانسیل ثابتی وصل کنیم در تمام لحظاتی که اختلاف پتانسیل دو سر خازن با اختلاف پتانسیل دو سر مولد در حال نزدیک شدن است، خازن دارای انرژی و بار الکتریکی می‌شود. البته انرژی در فضای بین دو صفحه (در میدان الکتریکی) ذخیره می‌گردد. اگر خازن پُر شده را به یک لامپ متصل کنید یک لحظه لامپ را روشن می‌کند و انرژی خازن تخلیه می‌شود.

انرژی ذخیره شده در خازن به صورت زیر محاسبه می‌شود:



$S = U = \frac{۱}{۲} qv \xrightarrow{q=CV} U = \frac{۱}{۲} CV^۲$

$\xrightarrow{V=\frac{q}{C}} U = \frac{۱}{۲}\frac{q^۲}{C}$

مثال ۴۲) انرژی ذخیره شده در خازنی که به اختلاف پتانسیل یک کیلوولت متصل است برابر $۱۰^{-۶}$ Kwh است. ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

۱) ۴/۶ ۲) ۷/۲ ۳) ۳۶ ۴) ۷۲

مثال ۴۳) اگر با ثابت بودن ظرفیت خازن اختلاف پتانسیل دو سر آن ۸۰ درصد کاهش یابد انرژی این خازن چند درصد کاهش می‌یابد؟

۱) ۴۰ ۲) ۶۴ ۳) ۸۰ ۴) ۹۶

مثال ۴۴) اگر بار خازنی $۴\mu C$ کاهش یابد انرژی آن ۳۶ درصد کاهش می‌یابد بار اولیه خازن چند میکروکولن بوده است؟

۱) ۲۰ ۲) ۳۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۵۰

مثال ۴۵) دو صفحه‌ی خازن تختی که در ابتدا بین آن هوا قرار دارد، به دو سر یک باتری متصل می‌کنیم. اگر در این حالت فاصله‌ی بین دو صفحه نصف و بین دو صفحه‌ی دی‌الکتریک به ضریب $K=2$ قرار می‌دهیم. به ترتیب از راست به چپ انرژی ذخیره شده در خازن و بزرگی میدان بین دو صفحه چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{1}{2}$ و ۴ ۲) ۲ و ۴ ۳) ۴ و ۲ ۴) ۴ و ۴

مثال ۴۶) دو سر خازنی را که دی‌الکتریک آن هوا است، به دو سر یک باتری وصل می‌کنیم تا انرژی ذخیره شده در آن U شود. اگر درحالتی که به باتری متصل است، فاصله‌ی بین دو صفحه را n برابر کنیم، انرژی آن U' می‌شود. ولی اگر همان خازن اولیه را از باتری جدا کرده و سپس فاصله‌ی بین دو صفحه را n برابر کنیم انرژی ذخیره شده U'' می‌شود نسبت $\frac{U''}{U'}$ چقدر است؟

۱) $\frac{1}{n}$ ۲) n ۳) $\frac{1}{n^2}$ ۴) n^2

۶ فرسنگ

درسنامه

ویژه رشته ریاضی

چگالی سطحی بار الکتریکی:

نسبت بار ذخیره شده به واحد سطح را چگالی سطحی بار می‌گویند. $\sigma=\frac{q}{A}$

توزیع بار در اجسام رسانای کروی شکل به گونه‌ای است که بار اضافه روی سطح خارجی در تمام نقاط دارای چگالی سطحی یکسان است. ولی در اجسامی که دارای گوشه‌های برجسته و یا نوک‌تیز می‌باشد چگالی سطحی بار در نقاط نوک‌تیز بیشتر است.

مثال) چگالی سطحی بار الکتریکی کره‌ای فلزی به قطر ۱ m برابر $5\frac{\mu C}{m^2}$ است. بار الکتریکی سطح کره چند میکروکولن است؟

۱) 5π ۲) $7/5\pi$ ۳) $12/5\pi$ ۴) 15π

مثال) یک کرهٔ رسانا به شعاع ۱۰ cm روی پایهٔ عایق قرار دارد. چگالی سطحی بار کره $160\frac{\mu C}{m^2}$ است. اگر کره را با یک سیم به زمین متصل کنیم چند الکترون از زمین به کره منتقل می‌شود؟ $\left(e=1/6\times10^{-19},\ \pi=3\right)$

۱) $1/2\times10^{12}$ ۲) $1/2\times10^{14}$ ۳) $1/2\times10^{17}$ ۴) $1/2\times10^{19}$