



وہاں سہ سہ  
مطابق سہ سہ  
گاج



## ۲ فیزیک تجربی

پایہ یازدہم

مؤلفان

مروارید شاہ حسینی

ہادی حمزہ پور

# فرمولہ بیسٹ

# فرمول پست

۳  
نمونه  
امتحانی

۱۱۰۰  
پرسش  
تشریحی

۱۳۵  
صفحه  
درسنامه



+۸

ساعت  
فیلم  
آموزشی  
ویژه  
شب  
امتحان



9 786220 308638

تهران، میدان انقلاب  
نیش بازار چه کتاب

[www.gajmarket.com](http://www.gajmarket.com)

### ن و القلم و ما یسطرون

کتاب پیش رو از مجموعه کتاب‌های فرمول بیست می‌باشد. هدف اصلی این مجموعه کتاب، ارائه آموزش‌های کامل همراه با مثال‌ها و تمرینات متنوع بر پایه کتاب درسی در جهت تسلط و آمادگی برای امتحانات می‌باشد.

### و اما این کتاب...

۱. تمام مطالب کتاب تو درس‌نامه‌ها پوشش داده شده، پس درس‌نامه‌ها رو خوب بخون و تمام مثال‌هاش رو حل کن. در ضمن نکته‌ها و فرمول‌ها رو خوب به خاطر بسپار.
۲. فیلم‌های جمع‌بندی برای استفاده شما عزیزان به صورت QR-code قرار داده شده است. این جمع‌بندی برای کسانی مناسب‌تر است که مطالب کتاب را خوانده‌اند و می‌خواهند برای آمادگی بهتر، یک بار دیگر درس را مرور کنند.
۳. تمام تمرینات کتاب درسی مشابه‌سازی شده و یا نمونه‌اون رو به صورتی که توی امتحان مطرح میشه، آوردیم. همچنین پرسش‌ها و تمرین‌های آخر هر فصل رو به طور کامل با پاسخ تشریحی، آخر همون فصل گذاشتیم.
۴. تمرین‌های انتهای هر درس‌نامه رو حل کن و هر کدام که راه‌حل خوبی براش سراغ نداشته، به پاسخ‌هاش نگاه کن. حتی اگر راه‌حل رو هم پیدا کردی، باز پاسخ‌نامه رو ببین.
۵. سطح سؤالات با علامت 🌟 بالاتر از بقیه سؤالات و ویژه دانش‌آموزان سخت‌کوش است.
۶. در پایان کتاب آزمون‌های تألیفی و نهایی وجود داره تا از خودت آزمون بگیری و با نحوه مطرح شدن سؤالات توی امتحان آشنا بشی. تو می‌تونی بهترین نمره کلاس رو بگیری.

به امید موفقیتت

## فهرست

پاسخ درسامه وسؤالات

۲۳۲ ۸۰ تا ۶

۲۵۶ ۸۱ تا ۱۳۶

۲۷۷ ۱۳۷ تا ۲۲۹

فصل اول: الکتريسيته ساكن

فصل دوم: جريان الکتريکی و مدارهای جريان مستقيم

فصل سوم: مغناطيس و القای الکترومغناطيس

## امتحان نهایی



آزمون ۱: نوبت دوم ۳۰۴

آزمون ۲: نوبت دوم ۳۰۶

آزمون ۳: خردادماه ۱۴۰۳ ۳۰۸

پاسخ نامه تشریحی آزمون ۱ تا ۳ ۳۱۲

## بارم بندی درس فیزیک ۲ تجربی

شماره فصل	نوبت اول	نوبت دوم
اول	۱۴	۵
تا صفحه ۵۳	۶	۴/۵
از صفحه ۵۳ تا آخر فصل	-	
سوم	-	۱۰/۵
جمع	۲۰	۲۰

## شب امتحان



نوبت دوم



نوبت اول

1

بخش



# درستامه

و سوالات تشریحی

## فصل اول

# الکتریسیته ساکن

# ۱

فیزیک یازدهم

از فصل اول فیزیک (۲)، ۱۴ نمره در نوبت اول و ۵ نمره در نوبت دوم سؤال طرح می‌شود. توجه داشته باشید که از این بارم‌بندی، ۲/۵ نمره در نوبت اول و ۵/۵ نمره در نوبت دوم مربوط به فعالیت‌ها و آزمایش‌های این فصل است.

بار الکتریکی

صفحه ۲ تا ۴ کتاب درسی

پسته اول



در این فصل به مطالعه بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن الکتریسیته ساکن (الکتروستاتیک) می‌گویند.

### الف بار الکتریکی

واژه الکتریسیته از واژه یونانی الکترون گرفته شده است که به معنای کهریا است.

**نکته!** مبانی فیزیک مرتبط با پدیده‌هایی که منشاء الکتریکی دارند نخستین بار مورد توجه فیلسوفان یونان قدیم قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهریا با پارچه پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌های کاه به سوی کهریا کشیده می‌شوند.

آدرخش، نیروی بین اتم‌ها در مولکول، انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب، قابلیت چسبیدن نوار سلوفان بر ظروف و بالا رفتن مارمولک از دیوار، همه منشأ الکتریکی دارند.

طبق تجربه و آزمایش مشخص شده است که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد که توسط بنیامین فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری شد. اتم‌ها در حالت خنثی، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های یکسان دارند و اصطلاحاً بار خالص جسم، صفر است. اگر تعداد الکترون‌ها بیش‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، بار خالص جسم، منفی است و اگر تعداد الکترون‌ها کم‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، بار خالص جسم، مثبت است. بار الکتریکی را با نماد  $q$  نمایش می‌دهند و یکای آن در SI بر حسب کولن است و با نماد  $C$  نمایش داده می‌شود.

**نکته!** یک کولن مقدار بار بزرگی است، برای مثال در یک آدرخش باری از مرتبه  $10^9 C$  به زمین منتقل می‌شود، در صورتی‌که در مالش شانه پلاستیکی با موی سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولن ( $nC$ ) است.

### قانون بنیادی الکتروستاتیک

بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

**نکته!** جسم باردار می‌تواند علاوه بر جسم با بار مخالف، جسم خنثی را نیز جذب کند. ولی تنها دو جسم باردار با بار همنام می‌توانند یکدیگر را دفع کنند.

**سؤال** دو جسم  $A$  و  $B$  یکدیگر را جذب می‌کنند و دو جسم  $A$  و  $C$  یکدیگر را دفع می‌کنند. در مورد بار این سه جسم چه می‌توان گفت؟

**پاسخ** جسم‌های  $A$  و  $C$  یکدیگر را دفع می‌کنند، بنابراین هر دو باردار هستند و بار آنها همنام است.

جسم‌های  $A$  و  $B$  یکدیگر را جذب می‌کنند، بنابراین با توجه به باردار بودن جسم  $A$ ، نتیجه می‌گیریم که جسم  $B$  یا دارای بار ناهمنام با جسم  $A$  است یا ممکن است خنثی باشد.

## ب روش‌های باردار کردن اجسام

اجسام را به سه روش باردار می‌کنند:

۱ مالش

۲ تماس

۳ القا

### مالش

اگر دو جسم با جنس‌های مختلف را به یکدیگر مالش دهیم، الکترون از سطح یک جسم به سطح دیگر منتقل می‌شود و هر دو جسم، باردار می‌شوند، ولی بار دو جسم، ناهمنام است. با این روش هم اجسام رسانا و هم اجسام نارسانا را می‌توانیم باردار کنیم.

به عنوان مثال اگر پارچه پشمی و میله پلاستیکی را به یکدیگر مالش دهیم، پارچه پشمی، الکترون از دست داده و بار آن مثبت می‌شود و میله پلاستیکی، الکترون دریافت کرده و بار آن منفی می‌شود و یا اگر میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، شیشه الکترون از دست داده و بار آن مثبت می‌شود و ابریشم الکترون دریافت کرده و بار آن منفی می‌شود.

**نکته!** در روش مالش یکی از جسم‌ها دارای بار مثبت و جسم دیگر دارای بار منفی می‌شود و اندازه بار آن‌ها نیز یکسان است.

**نکته!** نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی دارد.

**نکته!** روش مالش بهترین و راحت‌ترین روش برای باردار کردن اجسام نارسانا است.

### سری الکتروسیسته مالشی (تریبوالکتریک)

برای تعیین نوع بار اجسام بر اثر مالش، از جدولی موسوم به سری الکتروسیسته مالشی (تریبوالکتریک؛ Tribo در زبان یونانی به معنای مالش است)، استفاده می‌شود. در این جدول، اجسام را از نظر خاصیت الکترون خواهی مرتب کرده‌اند. هر چه جسم به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، بر اثر مالش قدرت الکترون‌گیری بیش‌تری دارد. به عنوان مثال اگر لاستیک با پشم مالش داده شود، لاستیک از پشم الکترون می‌گیرد و بار خالص لاستیک، منفی و بار خالص پشم، مثبت می‌شود.

*راستی نگران نباشین! لازم نیست این جدول رو حفظ کنین.*

انتهای منفی سری

A

B

C

D

انتهای مثبت سری

**سؤال** چهار جسم در سری تریبوالکتریک مطابق شکل مقابل قرار دارند. جسم B را به طور جداگانه با جسم‌های A و C مالش می‌دهیم. در هر حالت بار جسم‌ها را تعیین کنید.

**پاسخ** هر جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، در مالش، الکترون دریافت می‌کند. در اثر مالش جسم‌های A و B، جسم A دارای بار منفی و جسم B دارای بار مثبت می‌شود و در اثر مالش جسم‌های B و C، جسم B دارای بار منفی و جسم C دارای بار مثبت می‌شود.

### تماس

اگر جسم رسانای خنثی را به جسم رسانای باردار تماس دهیم، جسم خنثی به طور همنام با جسم باردار، دارای بار الکتروسیستی می‌شود.

**نکته!** برای انتقال بار با استفاده از روش تماس، باید دو جسم، رسانا باشند.

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2'$$

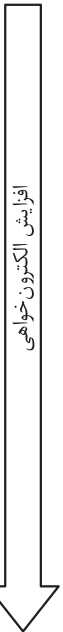
**نکته!** مجموع بار الکتروسیستی دو جسم، قبل و بعد از تماس، برابر است:

**نکته!** اگر دو کره فلزی و هم‌اندازه (یعنی دو کره مشابه) دارای بارهای  $q_1$  و  $q_2$  باشند، پس از تماس، بار کره‌ها برابر یکدیگر می‌شود و مقدار بار هر کدام

از کره‌ها پس از تماس از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

در این رابطه  $q_1$  و  $q_2$  با علامت قرار داده می‌شوند.



سری الکتروسیسته مالشی
انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سرب
ابریشم
آلمینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچه کتان
کهریا
برنج، نقره
پلاستیک، پلی اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

**سؤال** دو کره رسانای مشابه و هم‌اندازه دارای بارهای  $q_1 = -2\mu\text{C}$  و  $q_2 = +10\mu\text{C}$  هستند. اگر دو کره را با هم تماس داده و جدا کنیم، بار نهایی هر کره چند میکروکولن می‌شود؟

**پاسخ** اگر کره‌ها هم‌اندازه باشند، بار نهایی کره‌ها یکسان می‌شود، بنابراین:

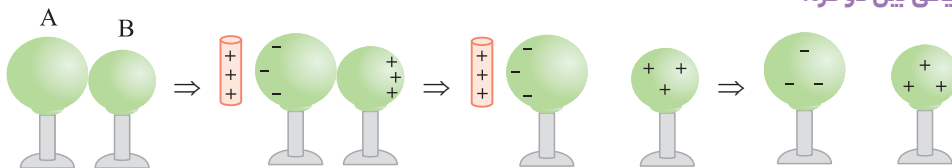
$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-2 + 10}{2} = +4\mu\text{C}$$

### القا

می‌دانیم بارهای هم‌نام یک‌دیگر را دفع و بارهای ناهم‌نام یک‌دیگر را جذب می‌کنند، این موضوع اساس پدیده القای بار الکتریکی است. در این روش بدون این‌که بین جسم باردار و جسم خنثی تماسی برقرار شود، جسم خنثی را باردار می‌کنند. در واقع القای بار الکتریکی جابه‌جا شدن بار الکتریکی درون یک جسم در اثر نیروی جاذبه یا دافعه الکتریکی است. از این روش بیشتر برای باردار کردن اجسام رسانا استفاده می‌شود.

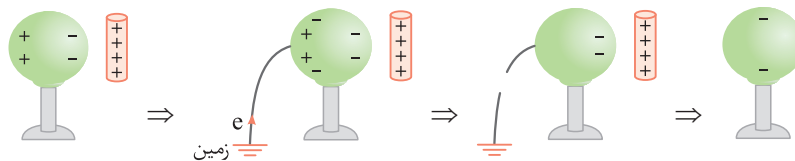
**توجه** پدیده القای الکتریکی در همه اجسام چه رسانا و چه نارسانا رخ می‌دهد ولی در اجسام رسانا به واسطه حضور الکترون‌های آزاد، شدیدتر است. با رسم شکل، روش القای بار را یادآوری می‌کنیم:

#### آ القای بار الکتریکی بین دو کره:



**توجه** بارهای ایجادشده در این روش در دو کره، هم‌اندازه هستند و به اندازه و شکل اجسام رسانا بستگی ندارند.

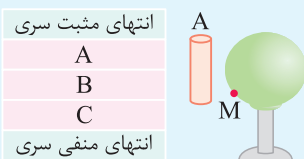
#### ب القای بار الکتریکی در یک کره:



**نکته** در روش (ب) بار ایجادشده در کره، همیشه مخالف بار میله باشد، زیرا به زمین متصل است و زمین مانند جسم بزرگی است که در صورت لزوم می‌تواند الکترون بگیرد و یا الکترون از دست بدهد.

می‌تونیم به پای اینکله کره رو با سیم به زمین وصل کنیم، انگشت فودمون رو به کره بزنیم، راستی یارتون باشه فرقی نمی‌کنه انگشت دستتون رو به کپای کره می‌زنین.

**سؤال** سه جسم در سری تریپوالکتریک مطابق شکل زیر قرار دارند. جسم‌های A و C را با یکدیگر مالش می‌دهیم، سپس جسم A را به کره رسانا و خنثی نزدیک می‌کنیم و انگشت دست را به نقطه M متصل می‌کنیم و در نهایت انگشت را جدا کرده و جسم A را دور می‌کنیم. بار نهایی کره رسانا را تعیین کنید.

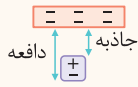


**پاسخ** با توجه به سری تریپوالکتریک در هنگام مالش، جسم A دارای بار مثبت می‌شود. با نزدیک کردن جسم A به کره رسانا و تماس انگشت دست به نقطه M، بارهای منفی از دست (زمین) به کره منتقل می‌شوند، بنابراین بار نهایی کره، منفی است. محل اتصال دست به کره تأثیری در بار نهایی کره ندارد.

**نکته** در القای بار الکتریکی همیشه جسم القاکننده و جسم القاشونده یک‌دیگر را جذب می‌کنند.



سؤال اگر خطکش باردار را به یک قطعه فویل آلومینیم بسیار سبک نزدیک کنیم، چه اتفاقی می افتد؟



**پاسخ** فرض کنید بار خطکش، منفی است. با نزدیک کردن خطکش به فویل آلومینیمی، القای بار (جدا شدن بارهای مثبت و منفی) در فویل رخ می دهد. جاذبه بین خطکش و قسمت مثبت فویل بیش تر از دافعه بین خطکش و قسمت منفی فویل است، بنابراین فویل جذب خطکش می شود.

پس از تماس خطکش با فویل، مقداری بار منفی به فویل منتقل می شود و پس از همنام شدن بار فویل و خطکش، دافعه ای بین آن ها ایجاد می شود و باعث دفع فویل می شود.

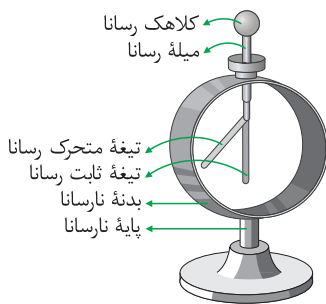
سؤال چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی ظرف می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می ماند؟

(پرسش ۱-۱ صفحه ۳ کتاب درسی)

**پاسخ** وقتی روکش پلاستیکی غذا را روی ظرف پلاستیک می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت می ماند. از این روش در بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود. روکش پلاستیکی (سلوفان) از مواد پلیمری ساخته شده است. این مواد در تماس با دست انسان، بار الکتریکی منفی پیدا می کنند و می توانند در سطح ظرف، بار مثبت القا کنند، بنابراین نیروی جاذبه بین بارهای مثبت و منفی باعث ایجاد جاذبه می شود. با توجه به نارسانا بودن روکش و ظرف، باری بین این دو مبادله نمی شود، چرا که اگر بار بین این دو مبادله می شد، بارهای آن ها همنام می شدند و یکدیگر را دفع می کردند. **توجه** هنگامی که سلوفان را باز می کنید، در اثر تماس دو لایه مختلف از سلوفان، آن ها باردار می شوند و به هم می چسبند.

**باردار کردن توسط برف:** بنا به دلایل مختلفی، دانه های برف در حین سقوط در هوا باردار می شوند. حال اگر یک صفحه توری فلزی را توسط پایه های نارسانا نگه داریم، در اثر تماس دانه های باردار برف با توری، بار به توری منتقل شده و توری باردار می شود.

ج الکتروسکوپ

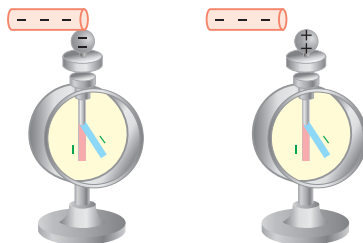


وسیله ای است که برای بررسی ماهیت الکتریکی مواد استفاده می شود و مطابق شکل زیر از یک کلاهک رسانا و ورقه های فلزی تشکیل شده است که درون محفظه ای قرار گرفته اند.

کاربردهای الکتروسکوپ

**۱ تشخیص باردار بودن جسم:** مطابق شکل های زیر با نزدیک کردن یا تماس جسم با کلاهک الکتروسکوپ خنثی به باردار بودن جسم پی می بریم. اگر جسم باردار را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید و یا با کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس دهید، ورقه های الکتروسکوپ از یکدیگر فاصله می گیرند.

اگر میله با بار منفی با کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس داده شود، بار کلاهک و ورقه های الکتروسکوپ نیز منفی می شود، در نتیجه بار ورقه ها همنام شده و از هم فاصله می گیرند.

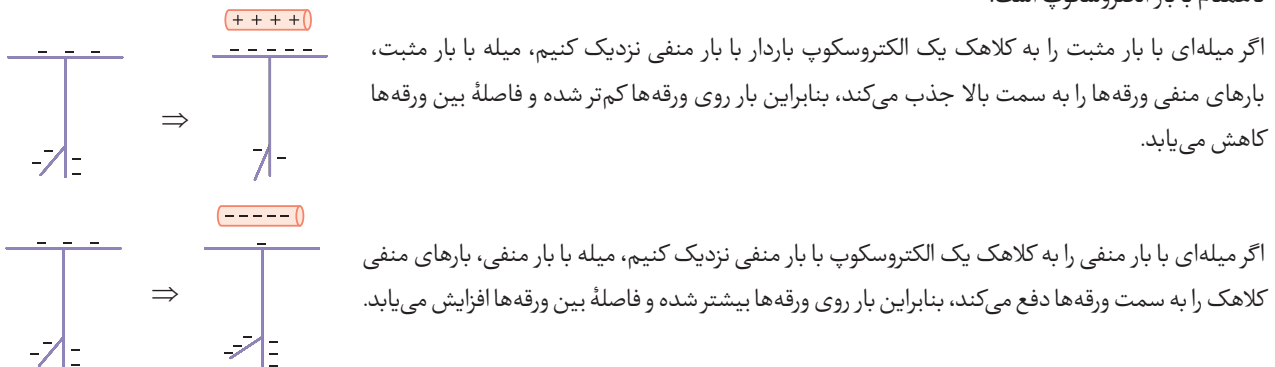


اگر میله با بار منفی کنار کلاهک الکتروسکوپ نگه داشته شود، بارهای منفی و مثبت کلاهک الکتروسکوپ تفکیک شده و الکترون ها به سمت ورقه ها دفع می شوند و بار ورقه ها همنام شده و از هم فاصله می گیرند.

**۲ مقایسه بار دو جسم باردار:** اگر اجسام باردار را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ نگه داریم، هر چه فاصله بین تیغه ها بیشتر تر باشد، آن گاه بار جسم بیشتر تر است. توجه کنید که در این حالت باید دو جسم را در یک فاصله از کلاهک الکتروسکوپ نگه داریم تا بتوان از روی فاصله بین تیغه ها از هم، اندازه بار اجسام را با هم مقایسه کرد.

**نکته** با استفاده از یک الکتروسکوپ نمی توان اندازه بار یک جسم را اندازه گیری کرد.

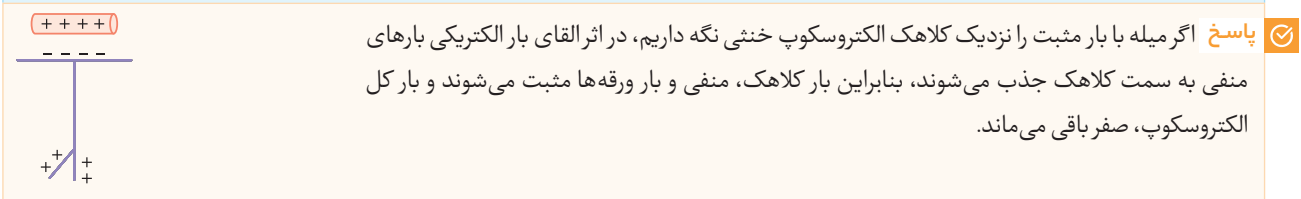
**۳ تشخیص نوع بار:** ابتدا الکتروسکوپ را با بار مشخص (مثبت یا منفی) باردار می‌کنیم. سپس جسم باردار را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ نگه می‌داریم، اگر فاصله بین ورقه‌های الکتروسکوپ بیش‌تر شود، آن‌گاه بار جسم، همانم با بار الکتروسکوپ است و اگر فاصله بین ورقه‌ها کم‌تر شود، آن‌گاه بار جسم، همانم با بار الکتروسکوپ است.



**نکته!** الکتروسکوپ را مانند یک جسم رسانا می‌توانیم با روش‌های تماس یا القا باردار کنیم. فقط دقت کنید که اگر الکتروسکوپ با روش القا باردار شده باشد، بار الکتروسکوپ مخالف بار القاکننده است و اگر الکتروسکوپ به روش تماس باردار شده باشد، بار الکتروسکوپ، همانم با بار القاکننده است.

**۴ تشخیص رسانا بودن یا نارسانا بودن یک جسم:** یک سر جسم را در دستمان (بدون دستکش) گرفته و سر دیگر آن را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر ورقه‌های الکتروسکوپ خیلی سریع به هم بچسبند، جسم موردنظر رسانا است و اگر زاویه بین ورقه‌های الکتروسکوپ تغییری نکند، پس جسم موردنظر نارسانا است.

**سؤال** میله‌ای با بار مثبت را نزدیک کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نگه می‌داریم، بار کلاهک، بار ورقه‌ها و بار کل الکتروسکوپ چگونه است؟



## د پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در مورد بارهای الکتریکی، دو اصل وجود دارد: **۱ اصل پایستگی بار الکتریکی** **۲ اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی**

### اصل پایستگی بار الکتریکی

این اصل بیان می‌کند که مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (دستگاهی که با محیط اطراف خود بار الکتریکی مبادله نمی‌کند)، ثابت است، یعنی بار الکتریکی می‌تواند از یک جسم به جسم دیگر منتقل شود، ولی نمی‌تواند به وجود آید و یا از بین برود. آن چه باعث می‌شود که در یک جسم، بار مثبت و در جسم دیگر بار منفی به وجود آید، انتقال الکترون از یک جسم به جسم دیگر است. به عنوان مثال اگر هنگام شانه کردن مو، تعداد  $10^7$  الکترون در شانه اضافه شود، به همین تعداد یعنی  $10^7$  الکترون از موی سر کم شده است.

### اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی جسم، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی  $e$  (بار یک الکترون یا یک پروتون) است.

اگر بار جسم را با نماد  $q$  نمایش دهیم که یکای آن در SI برابر کولن (C) است و مقدار بار بنیادی را با نماد  $e$  نمایش دهیم که مقدار آن برابر  $1.6 \times 10^{-19} C$  است، آن‌گاه اصل کوانتیده بودن بار را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$q = \pm ne, n = 0, 1, 2, \dots$$

**نکته!** اندازه بار الکتریکی هر پروتون دقیقاً برابر با اندازه بار الکتریکی هر الکترون است. مقدار بار الکتریکی یک پروتون برابر با  $1.6 \times 10^{-19} C$  و مقدار بار الکتریکی یک الکترون برابر با  $-1.6 \times 10^{-19} C$  است. مقدار  $1.6 \times 10^{-19} C$  را بار پایه می‌گوییم و آن را با نماد  $e$  نشان می‌دهیم. دقت کنید که نماد  $e$  فقط اندازه بار الکتریکی پروتون و الکترون را نشان می‌دهد و نوع بار آن‌ها را تعیین نمی‌کند.

**سؤال** در آذرخش حدود  $10^9$  بار الکتریکی به زمین منتقل می‌شود. چه تعداد الکترون به زمین منتقل شده است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

**پاسخ** از اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی استفاده می‌کنیم:  
 $q = ne \Rightarrow 10 = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10}{1/6 \times 10^{-19}} = 6/25 \times 10^{19}$

**سؤال** کدام یک از مقدارهای زیر می‌تواند بار الکتریکی یک جسم بر حسب کولن باشد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

$q_1 = 2/4 \text{ C}$       $q_2 = 16 \times 10^{-18} \text{ C}$       $q_3 = 4/8 \times 10^{-20} \text{ C}$

**پاسخ** با توجه به ویژگی کوانتیده بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های جابه‌جا شده را محاسبه می‌کنیم. اگر  $n$  عدد صحیح باشد، آن‌گاه چنین باری وجود دارد.

$n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_1 = \frac{2/4}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/5 \times 10^{19} (\checkmark)$

$n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_2 = \frac{16 \times 10^{-18}}{1/6 \times 10^{-19}} = 100 (\checkmark)$

$n = \frac{q}{e} \Rightarrow n_3 = \frac{4/8 \times 10^{-20}}{1/6 \times 10^{-19}} = 0/3 (\times)$

**سؤال** با توجه به اتم روی ( $Zn$ ،  $p$ )، بار الکتریکی خواسته شده در هر قسمت را محاسبه کنید. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) (مشابه تمرین ۱-۱ صفحه ۴ کتاب درسی)

بار الکترون‌ها     بار هسته     بار اتم

**پاسخ** اگر عدد اتمی  $Z = 30$  باشد مفهوم آن این است که در حالت خنثی، هسته  $30$  پروتون دارد و  $30$  الکترون نیز به دور هسته می‌چرخند.

$q_e = -ne = -30 \times 1/6 \times 10^{-19} = -4/8 \times 10^{-18} \text{ C}$

$q_p = +ne = +30 \times 1/6 \times 10^{-19} = +4/8 \times 10^{-18} \text{ C}$

بار خالص اتم در حالت خنثی، صفر است.

● عبارت مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید و جاهای خالی را تکمیل کنید.

- بار الکتریکی موجود در اجسام، کمیتی ..... (کوانتیده - پیوسته) است.
- طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی) مجموع بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است.
- طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی)، همواره بار الکتریکی مشاهده شده یک جسم، مضرب درستی از بار بنیادی  $e$  است.
- طبق اصل ..... (کوانتیده بودن بار الکتریکی - پایستگی بار الکتریکی)، بار الکتریکی می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.
- در یک اتم خنثی جمع جبری همه بارها (بار خالص) ..... (دقیقاً برابر صفر - مخالف صفر) است.
- در سری الکتروسیته مالشی هر چه به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر شویم ..... (الکترون دهی - الکترون خواهی) مواد بیش‌تر می‌شود.
- پس از مالش دو جسم به یکدیگر، بار دو جسم ..... (هم‌اندازه - متفاوت) و ..... (همنام - ناهمنام) خواهد شد.
- در روش القای بار الکتریکی، بار دو جسم در نهایت ..... (ناهمنام - همنام) است.
- در باردار کردن اجسام به روش تماس، بار نهایی دو جسم ..... (همنام - ناهمنام) است.
- وقتی دو خطکش پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، آن دو خطکش پس از مالش یکدیگر را ..... (دفع - جذب) می‌کنند.
- هنگامی که میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، تعداد الکترون‌های پارچه پشمی ..... (کاهش - افزایش) می‌یابند.
- وقتی یک الکتروسکوپ باردار از اجسام باردار دیگر دور باشد، بار کلاهک و بار تیغه‌های آن ..... (همنام - ناهمنام) هستند.
- هنگامی که یک میله با بار مثبت را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک کنیم، بار تیغه‌ها ..... (مثبت - منفی) می‌شود.
- اگر با نزدیک کردن میله باردار به کلاهک الکتروسکوپ باردار، فاصله تیغه‌ها افزایش یافت، بار میله و بار الکتروسکوپ ..... (همنام - ناهمنام) بوده است.
- اگر با نزدیک کردن میله باردار به کلاهک الکتروسکوپ باردار، فاصله تیغه‌ها کاهش یافت، بار میله و بار الکتروسکوپ ..... (همنام - ناهمنام) بوده است.

**درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را مشخص کنید.**

۱۶. بار الکتریکی یک جسم همواره مضرب درستی از بار بنیادی  $e$  است.
۱۷. با مالش دو جسم به یکدیگر، دو جسم دارای بارهای مشابه می‌شوند.
۱۸. برای تشخیص باردار بودن یک جسم و نوع بار آن از مولد وان دوگراف استفاده می‌شود.
۱۹. بار الکتریکی موجود در اجسام، کمیتی کوانتیده است.
۲۰. اگر جمع جبری بارهای یک دستگاه منزوی، صفر شود، آن دستگاه از نظر الکتریکی، باردار است.
۲۱. یک کولن، مقدار بار کوچکی است.
۲۲. با استفاده از الکتروسکوپ می‌توانیم رسانا بودن یا نارسانا بودن یک جسم را مشخص کنیم.
۲۳. در باردار کردن اجسام با روش تماس، بار دو جسم در نهایت هم‌اندازه و هم‌نام است.
۲۴. در باردار کردن اجسام به روش مالش، بار الکتریکی جسمی که الکترون خواهی کم‌تری دارد، مثبت می‌شود.
۲۵. طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود.
۲۶. در القای بار الکتریکی، همیشه جسم القاکننده و القاشونده یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

**به سؤالات زیر پاسخ دهید.**

۲۷. در مورد بار الکتریکی چند اصل وجود دارد؟ آن‌ها را نام ببرید.
۲۸. اصل پایستگی بار الکتریکی را تعریف کنید.
۲۹. اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی را تعریف کنید.
۳۰. با توجه به سری الکتروسیسته مالشی مقابل، اگر جسمی از نوع ماده **B** را با جسمی از نوع ماده **C** مالش دهیم، نوع بار الکتریکی آن‌ها چه خواهد شد؟ چرا؟

انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

۳۱. یک میله شیشه‌ای خنثی را با پارچه ابریشمی خنثی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله شیشه‌ای برابر  $6/4 \text{ nC}$  می‌شود:

(مشابه تمرین ۱ صفحه ۳۶ کتاب درسی)

**الف** بار الکتریکی ایجاد شده در پارچه ابریشمی چند نانوکولن است؟ چرا؟

**ب** الکترون‌ها از چه جسمی به چه جسمی منتقل شده‌اند؟ تعداد آنها را محاسبه کنید. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

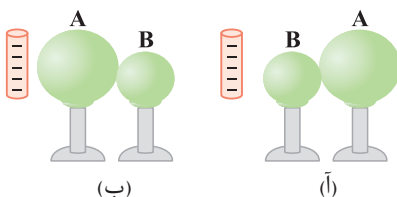
۳۲. با توجه به سری الکتروسیسته مالشی (تریپوالکتریک) مقابل، اگر یک میله از جنس تفلون و خنثی را با موی انسان مالش دهیم و در اثر این مالش،  $5 \times 10^{10}$  الکترون بین این دو مبادله شود، بار الکتریکی میله تفلونی چند نانوکولن خواهد شد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
⋮
پلاستیک
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

۳۳. جسم‌های **A** و **B** به ترتیب دارای بارهای مثبت و منفی هستند و جسم **C** خنثی است. نوع نیروی میان دو جسم از نظر جاذبه و دافعه را در هر قسمت مشخص کنید.

**الف** جسم‌های **A** و **B**      **ب** جسم‌های **B** و **C**      **پ** جسم‌های **A** و **C**

۳۴. در هر دو شکل زیر، ابتدا کره‌های فلزی **A** و **B** که روی پایه‌های عایق قرار دارند و از قبل خنثی بودند، از هم جدا کرده و سپس میله را از آن‌ها دور می‌کنیم. در هر شکل اندازه بار القاشده در کره **A** را با بار القاشده در کره **B** مقایسه کنید.



۳۵. با یک الکتروسکوپ باردار مثبت هرکدام از کارهای زیر را چگونه می توان انجام داد؟

آ تشخیص نوع بار یک جسم باردار

ب رسانا یا نارسانا بودن جسم

۳۶. بار الکتریکی جسمی برابر  $64 \text{ nC}$  - است. این جسم چه تعداد الکترون اضافی گرفته است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

(مشابه تمرین ۱-۱ صفحه ۴ کتاب درسی)

۳۷. عدد اتمی آهن ۲۶ و بار الکتریکی الکترون  $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  است:

آ بار الکتریکی هسته اتم آهن چند کولن است؟

ب اتم آهن چند کولن بار الکتریکی منفی دارد؟

پ بار الکتریکی اتم آهن چند کولن است؟

۳۸. بار الکتریکی هسته اتم کربن ( ${}^6_6\text{C}$ ) چند پیکوکولن است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۳۹. بار الکتریکی اتم هلیوم یک بار یونیده ( $\text{He}^+$ ) چند کولن است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۴۰. بار الکتریکی اتم لیتیم دوبار یونیده ( $\text{Li}^{2+}$ ) چند کولن است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۴۱. جسمی رسانا با بار  $3 \text{ nC} +$  چه تعداد الکترون مبادله کند تا بار آن  $5 \text{ nC} -$  شود؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۴۲. کدام یک از موارد زیر نمی تواند بار الکتریکی یک جسم بر حسب کولن باشد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

ت  $32 \times 10^{-5}$

پ  $4/8 \times 10^{-20}$

ب  $16 \times 10^{-18}$

آ  $2/4$

۴۳. سه جسم باردار A، B و C فقط با هم بار الکتریکی مبادله می کنند. اگر تغییرات بار الکتریکی جسم A برابر با  $5 \mu\text{C} -$  و تغییرات بار الکتریکی جسم B برابر با  $4 \mu\text{C} +$  باشد، تغییرات بار الکتریکی جسم C چند میکروکولن است؟

## قانون کولن

صفحه ۵ تا ۱۰ کتاب درسی

## بسته دوم



## الف نیروی الکتریکی

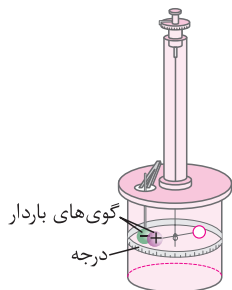
اجسام باردار به یکدیگر نیروی جاذبه یا دافعه وارد می کنند که به آن نیروی الکتریکی می گویند. اگر بار دو جسم، همنام باشد این نیروی الکتریکی از نوع دافعه و اگر بار دو جسم، ناهمنام باشد این نیروی الکتریکی از نوع جاذبه است.

دانشمند فرانسوی، شارل آگوستین کولن با استفاده از یک ترازوی پیچشی، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می شود را مشخص کرد. نتیجه آزمایش های او امروز با نام قانون کولن شناخته می شود.

## ترازوی پیچشی کولن

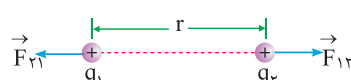
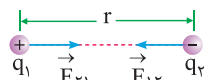
مطابق شکل مقابل، گلوله‌ای با بار مثبت به یک سر یک میله نارسانای سبک و افقی متصل شده است و این میله افقی از وسط توسط یک رشته سیم نازک و کشسان آویخته شده است. گلوله دیگری با بار منفی را از نخ آویزان کرده و از حفره‌ای که در بالا وجود دارد، به داخل محفظه می برند.

نیروی ربایش بین این گلوله با گلوله دارای بار مثبت سبب پیچش سیم متصل به میله افقی می شود و این پیچش آن قدر ادامه می یابد تا گلوله با بار مثبت به تعادل برسد. حال با توجه به درجه‌هایی که بر سطح استوانه شیشه‌ای (محفظه) درج شده است، زاویه چرخش میله را اندازه‌گیری می کنیم و از روی زاویه چرخش، نیرویی را که به گلوله دارای بار مثبت وارد شده است، محاسبه می کنیم. کولن توانست با چنین آزمایشی یک رابطه برای محاسبه اندازه نیروی الکتروستاتیکی به دست آورد.



## ب قانون کولن

اگر دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار گیرند، مطابق شکل های زیر به یکدیگر نیرو وارد می کنند:



(آ) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، رانشی است. (ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام، ربایشی است.

**نکته!** برای رسم بردار نیروی الکتریکی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، ابتدا خطی اصل بین دو بار را رسم می‌کنیم و با توجه به این که دو بار همنام هستند یا ناهمنام، بردار نیرو را در امتداد خط اصلی بین دو بار رسم می‌کنیم.

$\vec{F}_{12}$  نیرویی است که بار  $q_1$  به بار  $q_2$  وارد می‌کند و  $\vec{F}_{21}$  نیرویی است که بار  $q_2$  به بار  $q_1$  وارد می‌کند. نیروی الکتریکی که بارها به هم وارد می‌کنند، عمل و عکس‌العمل (کنش و واکنش) هستند، بنابراین:

**۱** این دو نیرو همیشه خلاف جهت هم هستند. ( $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ )

**۲** راستای این دو نیرو در راستای خطی است که دو ذره را به هم متصل می‌کند.

**۳** اندازه این دو نیرو همیشه با هم برابر است. ( $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$ )

**نکته!** نیروهای  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{21}$  هم‌اندازه و در خلاف جهت هم هستند ولی نمی‌توانند یکدیگر را خنثی کنند، زیرا این دو نیرو به دو ذره متفاوت وارد می‌شوند و قابل برابری نیستند.

**قانون کولن**

بزرگی نیروی الکتریکی ربایشی و رانشی بین دو ذره باردار  $q_1$  و  $q_2$  که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند، با حاصل ضرب اندازه بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله بین دو ذره از هم، نسبت وارون دارد:

$$\underbrace{F_{12} = F_{21} = F}_{\text{قانون سوم نیوتون}} \Rightarrow F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$|q_1|$  و  $|q_2|$ : اندازه بار دو جسم بر حسب کولن (C) و  $r$ : فاصله بین دو ذره بر حسب متر (m) و  $k$ : ثابت کولن (الکتروستاتیکی) بر حسب

$$\frac{N \cdot m^2}{C^2} \quad (k = 8.98 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9)$$

ثابت کولن ( $k$ ) را بر حسب ضریب ثابت دیگری به نام ضریب گذردهی الکتریکی خلا ( $\epsilon_0$ ) بیان می‌کنند که برابر است با:

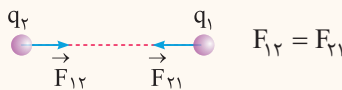
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

**سؤال** دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = 3\mu C$  و  $q_2 = -6\mu C$  در فاصله  $30\text{ cm}$  از یکدیگر ثابت شده‌اند:

**آ** اندازه نیرویی که بار  $q_1$  به بار  $q_2$  وارد می‌کند، بزرگ‌تر است یا اندازه نیرویی که بار  $q_2$  به بار  $q_1$  وارد می‌کند؟

**ب** اندازه نیرویی را که این دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ )

**پاسخ** **آ** طبق قانون سوم نیوتون، اندازه نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، با هم برابرند:



$$F_{12} = F_{21}$$

**ب** از قانون کولن استفاده می‌کنیم:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^{-6}}{(30)^2 \times 10^{-4}} = 1.8 \text{ N}$$

**سؤال** دو ذره باردار  $q_1$  و  $q_2$  در محل خود ثابت شده‌اند. اگر  $\vec{F}_{21}$  در جهت مثبت محور X باشد،  $\vec{F}_{12}$  در کدام جهت است؟

**پاسخ** طبق قانون سوم نیوتون، نیروها در یک راستا ولی جهت نیروها خلاف یکدیگر است، بنابراین اگر یکی از نیروها در جهت مثبت محور X باشد، نیروی دیگر در جهت منفی محور X خواهد بود.

سؤال در هریک از حالت‌های زیراندازه نیروی بین دو ذره باردار چند برابر می‌شود؟

- آ فاصله بین بارها دو برابر شود.  
 ب فاصله بین بارها نصف شود.  
 پ فقط اندازه یکی از بارها دو برابر شود.  
 ت اندازه هریک از بارها دو برابر شود.

$$F \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \xrightarrow{r_2=2r_1} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

پاسخ آ

$$F \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \xrightarrow{r_2=\frac{1}{2}r_1} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right)^2 = 4$$

ب

$$F \propto |q_1| |q_2| \xrightarrow{\substack{|q_1'|=2|q_1| \\ \text{ثابت: } |q_2|}} \frac{F'}{F} = \frac{2|q_1|}{|q_1|} = 2$$

پ

$$F \propto |q_1| |q_2| \xrightarrow{\substack{|q_1'|=2|q_1| \\ |q_2'|=2|q_2|}} \frac{F'}{F} = \frac{2|q_1| \times 2|q_2|}{|q_1| |q_2|} = 4$$

ت

سؤال دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازه  $q$  در فاصله معینی از یکدیگر قرار دارند. اگر نیمی از بار یکی را برداشته و به دیگری اضافه کنیم، اندازه نیروی

- آ بارها همانم باشند.  
 ب بارها ناهمنام باشند.

پاسخ آ اگر بارها همانم باشند و نیمی از بار ذره اول را برداریم و به ذره دوم بدهیم، آنگاه بار ذره اول به  $\frac{1}{2}q$  و بار ذره دوم به  $\frac{3}{2}q$  می‌رسد.

$$\frac{F'}{F} = \frac{k \frac{|\frac{1}{2}q| |\frac{3}{2}q|}{r^2}}{k \frac{|q|^2}{r^2}} = \frac{3}{4}$$

ب اگر بارها ناهمنام باشند و نیمی از بار ذره اول را برداریم، آنگاه بار آن به  $\frac{1}{2}q$  می‌رسد و اگر این نصف بار را به ذره دوم اضافه کنیم، با توجه به

ناهمنام بودن بارها، نصف بار ذره دوم هم خنثی می‌شود و اندازه بار ذره دوم نیز به  $\frac{1}{2}q$  می‌رسد.

$$\frac{F'}{F} = \frac{k \frac{|\frac{q}{2}| |\frac{q}{2}|}{r^2}}{k \frac{|q|^2}{r^2}} = \frac{1}{4}$$

سؤال دو کره فلزی مشابه و هم‌اندازه که روی پایه‌های عایق قرار دارند، دارای بارهای الکتریکی  $q_1 = 12\mu\text{C}$  و  $q_2 = -2\mu\text{C}$  می‌باشند. اگر این دو کره

را با هم تماس داده و سپس از هم جدا کنیم و در همان فاصله قبل قرار دهیم، اندازه نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

پاسخ با توجه به مشابه بودن کره‌ها، بار جدید کره‌ها به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{12 + (-2)}{2} = 5\mu\text{C}$$

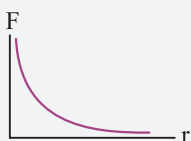
$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_1'| |q_2'|}{|q_1| |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{5 \times 5}{12 \times 2} \times 1 = \frac{25}{24}$$

حال با توجه به رابطه کولن، نسبت اندازه نیروها را می‌نویسیم:

نکته از ریاضیات می‌دانیم وقتی مجموع دو کمیت، ثابت باشد، حاصل ضرب آن دو کمیت، زمانی بیشینه می‌شود که آن دو کمیت با هم برابر باشند.

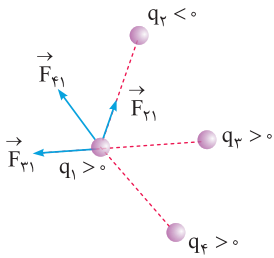
بنابراین در سؤال قبل، بعد از تماس دو کره فلزی با یکدیگر و برابر شدن بار دو کره، نیروی بین دو کره بیشینه می‌شود.

نکته با توجه به رابطه قانون کولن، اندازه نیروی بین دو بار با مربع فاصله بین دو بار نسبت عکس دارد، بنابراین نمودار



اندازه نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار برحسب فاصله بین آن‌ها به شکل زیر است:

## اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی



آزمایش نشان می‌دهد که اگر تعدادی ذره باردار در یک فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌ها در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند. این موضوع که از آزمایش نتیجه‌گیری شده است را **اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی** می‌گویند. به عنوان مثال، اگر چند ذره مطابق شکل مقابل قرار داشته باشند، نیروهای وارد بر بار  $q_1$  را مطابق شکل رسم کرده و سپس برآیندگیری می‌کنیم:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41}$$

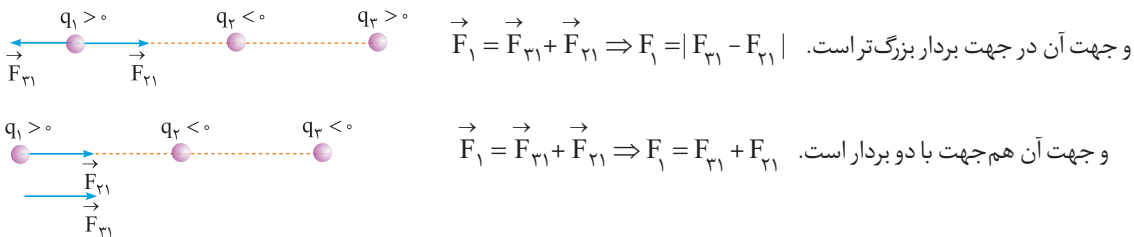
نیروی برآیند

## مراحل استفاده از اصل برهم‌نهی نیروهای الکتریکی

- ۱ مطابق شکل بالا نیروهای وارد بر ذره مورد نظر را طوری رسم کنید که ابتدای هر کدام از نیروها، روی ذره مورد نظر باشد.
  - ۲ اندازه هر یک از نیروها را با استفاده از قانون کولن محاسبه کنید.
  - ۳ بردار نیروی خالص (نیروی برآیند) را رسم کنید. با توجه به جهت نیروها، اندازه بردار برآیند را به دست آورید.
- سؤال‌های مربوط به اصل برهم‌نهی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

### ۱ نیروهای الکتریکی روی یک خط باشند

در این حالت راستای نیروی بین ذره‌ها، هم‌راستا با خطی است که ذره‌ها روی آن قرار دارند، بنابراین نیروهای وارد بر هر ذره با هم هم‌جهت یا در خلاف جهت هستند، یعنی در هنگام برآیندگیری به ترتیب نیروها با هم جمع یا از هم کم می‌شوند.



**سؤال** سه ذره باردار  $q_1 = 2/5 \mu C$ ،  $q_2 = -1 \mu C$  و  $q_3 = 4 \mu C$  مطابق شکل زیر در مکان خود ثابت شده‌اند. اندازه نیروی وارد بر بار  $q_3$  چند نیوتون و در کدام جهت است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ )



**پاسخ** ابتدا نیروهای وارد بر بار  $q_3$  از طرف دو بار دیگر رسم می‌کنیم:  
با استفاده از قانون کولن اندازه هر کدام از نیروها را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{13} = k \frac{|q_1| |q_3|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{6^2 \times 10^{-4}} = \frac{9 \times 10^{-2}}{36 \times 10^{-4}} = \frac{1}{4} \times 10^2 = 25 N$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{2^2 \times 10^{-4}} = \frac{9 \times 4 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-4}} = 90 N$$

با توجه به این‌که دو نیرو در خلاف جهت هم هستند، باید آن‌ها را از هم کم کنیم:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \Rightarrow F_T = F_{23} - F_{13} = 90 - 25 = 65 N$$

$F_{23} > F_{13}$  است، بنابراین  $\vec{F}_T$  هم جهت با  $\vec{F}_{23}$  و به سمت چپ خواهد بود.

**نمایش بردارها بر حسب بردارهای یکه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$** : یکی از روش‌های نمایش بردارها استفاده از بردارهای یکه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  است. اندازه بردارهای  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  برابر واحد است. بردار  $\vec{i}$  در جهت محور X و بردار  $\vec{j}$  در جهت محور Y است. به عنوان مثال اگر برداری با اندازه ۲۰ واحد به سمت مثبت محور X باشد، می‌توانیم آن را به صورت  $20 \vec{i}$  نمایش دهیم. اگر برداری با اندازه ۲۰ واحد به سمت منفی محور Y باشد، می‌توانیم آن را به صورت  $-20 \vec{j}$  نمایش دهیم.



سؤال سؤال قبل را بر حسب بردارهای بیکه بنویسید.

$$\vec{F}_{13} = +25 \hat{i} \text{ (N)} \text{ و } \vec{F}_{23} = -90 \hat{i} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 25 \hat{i} + (-90 \hat{i}) = -65 \hat{i} \text{ (N)}$$

پاسخ پاسخ  $\vec{F}_{13}$  به سمت راست و  $\vec{F}_{23}$  به سمت چپ است.

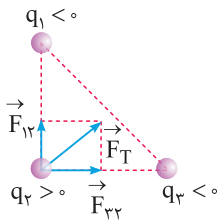
حال بردار نیروی برابند را محاسبه می‌کنیم:

یعنی اندازه نیرو 65 N در خلاف جهت محور X ها است.

## ۲ نیروهای الکتریکی بر هم عمود باشند

اگر نیروهای وارد بر یک ذره بر هم عمود باشند، با استفاده از رابطه فیثاغورس می‌توانید اندازه نیروی برابند را محاسبه کنید.

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} \Rightarrow F_T = \sqrt{F_{12}^2 + F_{32}^2}$$



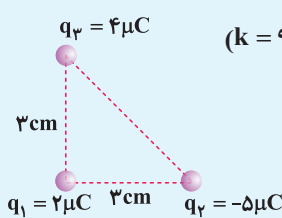
سؤال سؤال مطابق شکل مقابل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه ثابت شده‌اند:

$$(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$

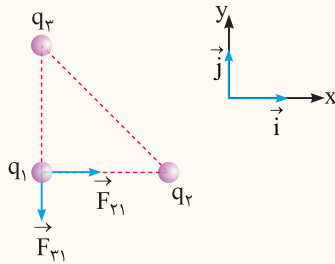
برایند نیروهای وارد بر بار  $q_1$  از طرف دو بار دیگر را بر حسب بردارهای بیکه بنویسید.

اندازه برایند نیروهای وارد بر بار  $q_1$  از طرف دو بار دیگر چند نیوتون است؟

بردار نیروی برابند وارد بر بار  $q_1$  را رسم کنید.



پاسخ پاسخ



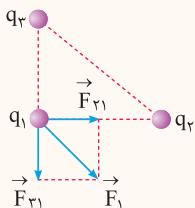
$$F_{21} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} = 100 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{21} = +100 \hat{i} \text{ (N)}$$

$$F_{31} = k \frac{|q_1| |q_3|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} = 80 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{31} = -80 \hat{j} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = +100 \hat{i} - 80 \hat{j} \text{ (N)}$$

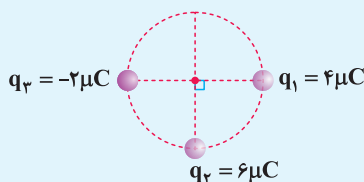
دو نیرو بر هم عمود هستند، بنابراین از رابطه فیثاغورس استفاده می‌کنیم:

$$F = \sqrt{F_{21}^2 + F_{31}^2} = \sqrt{(100)^2 + (80)^2} = \sqrt{10000 + 6400} = \sqrt{16400} = \sqrt{400 \times (25 + 16)} = 20\sqrt{41} \text{ N}$$

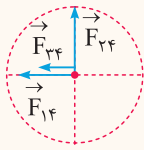


سؤال سؤال مطابق شکل زیر، سه بار الکتریکی نقطه‌ای روی دایره‌ای با شعاع 10 cm قرار دارند. بزرگی برایند نیروهای وارد بر بار  $q_4 = 1 \mu\text{C}$  در مرکز دایره از

طرف سه بار دیگر چند نیوتون است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$



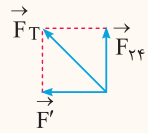
**پاسخ** ابتدا نیروهای وارد بر بار  $q_4$  را رسم می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون کولن اندازه هر کدام را به دست می‌آوریم:



$$\begin{cases} F_{14} = k \frac{|q_1||q_4|}{r_{14}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 3.6 \text{ N} \\ F_{24} = k \frac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 5.4 \text{ N} \\ F_{34} = k \frac{|q_3||q_4|}{r_{34}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 1.8 \text{ N} \end{cases}$$

$\vec{F}_{14}$  و  $\vec{F}_{34}$  هم جهت هستند، بنابراین اندازه برآیند آن‌ها به صورت زیر می‌شود:

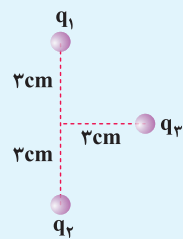
$$F' = F_{14} + F_{34} = 3.6 + 1.8 = 5.4 \text{ N}$$



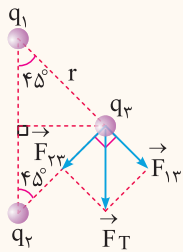
نیروهای  $\vec{F}'$  و  $\vec{F}_{24}$  بر هم عمود هستند، بنابراین:

$$F = \sqrt{F_{24}^2 + F'^2} = \sqrt{(5.4)^2 + (5.4)^2} = 5.4\sqrt{2} \text{ N}$$

**سؤال** مطابق شکل مقابل، سه ذره باردار  $q_3 = 10 \mu\text{C}$  و  $q_1 = -q_2 = 2 \mu\text{C}$  در مکان‌های نشان داده شده، ثابت شده‌اند. بزرگی برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  از طرف دو بار دیگر چند نیوتون است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ )



**پاسخ** ابتدا نیروهای وارد بر  $q_3$  را رسم کرده و اندازه آن‌ها را با استفاده از قانون کولن محاسبه می‌کنیم:



$$F_{13} = F_{23} = k \frac{|q_1||q_3|}{r^2} \quad r = \sqrt{3^2 + 3^2} = 3\sqrt{2} \text{ cm} \rightarrow F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6}}{18 \times 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow F_{13} = \frac{18}{18} \times 10^2 = 100 \text{ N}$$

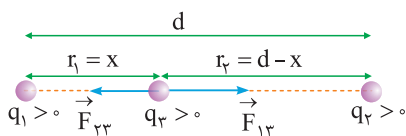
$$F_T = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{2} F_{13} = 100\sqrt{2} \text{ N}$$

با توجه به مثلث‌های قائم‌الزاویه در شکل، داریم:

### بار در حال تعادل

اگر دو ذره باردار  $q_1$  و  $q_2$  در محل خود ثابت شده باشند، می‌توان بار  $q_3$  را در محلی قرار داد که برآیند نیروهای وارد بر بار  $q_3$  از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_2$  صفر شود و یا اصطلاحاً بار  $q_3$  در حالت تعادل قرار گیرد. برای تعیین محل بار  $q_3$  به نکات زیر توجه کنید:

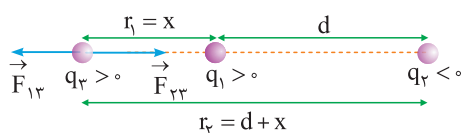
**۱**  $q_3$  حتماً روی خطی که بارهای  $q_1$  و  $q_2$  را به یکدیگر متصل می‌کند، قرار می‌گیرد، زیرا اگر سه بار روی یک خط نباشند، نیروهای وارد بر بار  $q_3$ ، زاویه‌ای می‌سازند که برآیند آن‌ها صفر نمی‌شود.



$$|q_1| < |q_2|$$

**۲** مقدار و علامت بار  $q_3$  اهمیتی ندارد.

**۳** اگر بارهای  $q_1$  و  $q_2$  همنام باشند، بار  $q_3$  بین دو بار قرار می‌گیرد و اگر بارهای  $q_1$  و  $q_2$  ناهمنام باشند، بار  $q_3$  در خارج از فاصله بین دو بار قرار می‌گیرد.



$$|q_1| < |q_2|$$

**۴** بار  $q_3$  همیشه نزدیک‌تر به باری است که اندازه کوچک‌تری دارد.

**۵** نیروهای وارد بر بار  $q_3$  از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_2$  باید هم‌اندازه باشند، بنابراین:

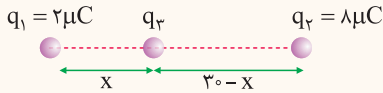
$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{k|q_1||q_3|}{r_1^2} = \frac{k|q_2||q_3|}{r_2^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r_1^2} = \frac{|q_2|}{r_2^2}$$

**سؤال** دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  در فاصله  $30\text{cm}$  از یکدیگر ثابت شده‌اند. در هریک از حالت‌های زیر بار  $q_3$  را دقیقاً در چه مکانی قرار دهیم تا بار  $q_3$  در حالت تعادل قرار گیرد؟

**پاسخ**   $q_2 = 8\mu\text{C}, q_1 = 2\mu\text{C}$

$q_2 = -8\mu\text{C}, q_1 = 2\mu\text{C}$

**پاسخ**  بارها همنام هستند، بنابراین بار  $q_3$  بین دو بار قرار می‌گیرد. چون اگر در خارج دو بار قرار گیرد، دو نیروی  $\vec{F}_{13}$  و  $\vec{F}_{23}$  هم جهت می‌شوند و برآیند آن‌ها نمی‌تواند صفر باشد.



برای در تعادل ماندن بار  $q_3$ ، باید نیروهای وارد بر آن از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_2$  در خلاف

جهت هم و هم‌اندازه باشند، بنابراین با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{2}{x^2} = \frac{8}{(30-x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(30-x)^2} \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{x} = \frac{2}{30-x} \Rightarrow 30-x = 2x \Rightarrow x = 10\text{cm}$$

**پاسخ**  بارها ناهمنام هستند، بنابراین محل بار  $q_3$  در خارج از فاصله دو بار و نزدیک بار

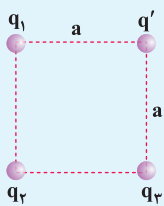
کوچک‌تر است. چون اگر در فاصله بین دو بار قرار گیرد،  $\vec{F}_{13}$  و  $\vec{F}_{23}$  هم جهت بوده و

برآیند آن‌ها نمی‌تواند صفر باشد.

با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30+x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(30+x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{2}{x^2} = \frac{8}{(30+x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(30+x)^2} \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{x} = \frac{2}{30+x} \Rightarrow 2x = 30+x \Rightarrow x = 30\text{cm}$$



**سؤال** مطابق شکل زیر، چهار بار الکتریکی نقطه‌ای در چهار رأس مربعی ثابت شده‌اند. اگر  $q_1 = q_3 = 8\text{nC}$  باشد. بار  $q_2$  چند نانوکولن باشد تا بار  $q'$  در حال تعادل باشد؟

**پاسخ**  علامت و مقدار بار  $q'$  در حال تعادل اهمیتی ندارد. برای رسم نیروهای وارد بر بار  $q'$  فرض می‌کنیم علامت بار  $q'$  مثبت است.

با توجه به این‌که اندازه بارهای  $q_1$  و  $q_3$  یکسان و هم‌چنین فاصله بارهای  $q_1$  و  $q_3$  تا بار  $q'$  یکسان است، پس نیروهای  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  هم‌اندازه هستند.

از طرفی دو نیروی  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  برهم عمودند، بنابراین:

$$F_1 = F_3 \Rightarrow F_{1,3} = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = \sqrt{2}F_1$$

بار  $q'$  در حال تعادل است، بنابراین باید نیروهای  $\vec{F}_{1,3}$  و  $\vec{F}_2$  هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند:

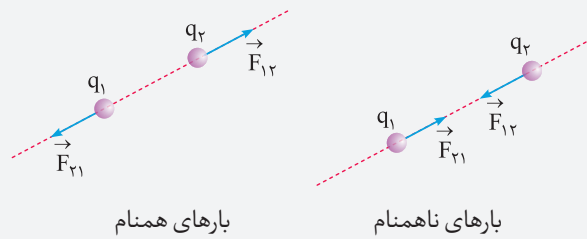
$$F_2 = F_{1,3} \Rightarrow k \frac{|q_2||q'|}{(a\sqrt{2})^2} = \sqrt{2} \times k \frac{|q_1||q'|}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{|q_2|}{2a^2} = \sqrt{2} \frac{|q_1|}{a^2} \Rightarrow |q_2| = 2\sqrt{2}|q_1| \Rightarrow |q_2| = 16\sqrt{2}\text{nC}$$

علامت بار  $q_2$  باید مخالف علامت بارهای  $q_1$  و  $q_3$  باشد، یعنی  $q_2 = -16\sqrt{2}\text{nC}$  است.

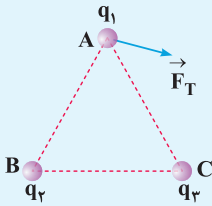
**توجه** طبق اصل کوانتیده بودن بار، مقدار بار یک جسم نمی‌تواند به صورت رادیکالی باشد ولی از نظر تئوری مقدار رادیکالی را می‌پذیریم.

**نکته** نیروی بین دو بار الکتریکی در راستای خط وصل بین دو بار است و جهت آن به علامت بارها بستگی دارد.

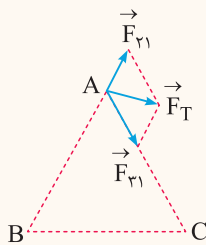


در تجزیه نیروی برایند، از این نکته استفاده می‌کنیم.

**سؤال** سه ذره باردار در سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی قرار گرفته‌اند. اگر برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_1$  مطابق شکل مقابل باشد، علامت و اندازه بارهای  $q_2$  و  $q_3$  را با هم مقایسه کنید.



**پاسخ** نیرویی که  $q_2$  به  $q_1$  وارد می‌کند، در راستای ضلع BA و نیرویی که  $q_3$  به  $q_1$  وارد می‌کند، در راستای ضلع CA است، بنابراین نیروی  $\vec{F}_T$  را تجزیه می‌کنیم تا نیروهای  $\vec{F}_{21}$  و  $\vec{F}_{31}$  مشخص شوند. از انتهای  $\vec{F}_T$  به موازات ضلع‌های AB و AC رسم کنید.



طبق جهت  $\vec{F}_{21}$  و  $\vec{F}_{31}$  نتیجه می‌گیریم که بارهای  $q_1$  با  $q_2$  همنام و بارهای  $q_1$  با  $q_3$  ناهمنام است، بنابراین بارهای  $q_2$  و  $q_3$  نیز ناهمنام هستند. طبق شکل، طول بردار  $\vec{F}_{31}$  بلندتر از طول بردار  $\vec{F}_{21}$  است، بنابراین اندازه نیروی  $\vec{F}_{31}$  بیشتر از اندازه نیروی  $\vec{F}_{21}$  است، بنابراین:

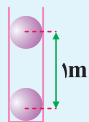
$$|F_{31}| > |F_{21}| \Rightarrow k \frac{|q_3||q_1|}{r^2} > k \frac{|q_2||q_1|}{r^2} \Rightarrow |q_3| > |q_2|$$

**توجه** اندازه بار  $q_1$  با اندازه بارهای  $q_2$  و  $q_3$  قابل مقایسه نیست.

## د ترکیب نیروی الکتریکی با نیروهای دیگر

نیروی الکتریکی می‌تواند با نیروی وزن، کشش نخ، نیروی فنر و ... ترکیب شود. در هر حالت کافی است، نیروهای وارد بر جسم را رسم کنید تا به راحتی رابطه بین نیروها با نیروی الکتریکی را مشخص کنید.

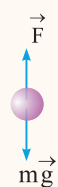
**سؤال** مطابق شکل زیر، دو گلوله رسانا و کوچک که بار یکسان دارند، در فاصله  $1\text{ m}$  از هم ثابت شده‌اند و در حالت تعادل داخل لوله



شیشه‌ای و بدون اصطکاک قرار دارند:

**آ** بار گلوله‌ها را از نظر همنام و ناهمنام بودن مشخص کنید.

**ب** اگر جرم هر گلوله  $360\text{ g}$  باشد، اندازه بار هر گلوله چند میکروکولن است؟ ( $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  و  $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$ )



**پاسخ** **آ** اگر گلوله در حال تعادل بالایی را در نظر بگیرید، نیروی وزن رو به پایین است، بنابراین نیروی الکتریکی رو به بالا می‌شود؛ یعنی نیروی بین گلوله‌ها دافعه است، بنابراین بار این گلوله‌ها همنام است، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی هستند.

**ب** با توجه به حالت تعادل گلوله بالایی، نتیجه می‌گیریم که اندازه  $\vec{F}$  و  $mg$  باید برابر باشد، بنابراین:

$$F = mg \Rightarrow k \frac{|q||q|}{r^2} = mg \Rightarrow 9 \times 10^9 \times \frac{|q|^2}{1^2} = 360 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow |q|^2 = \frac{36 \times 10^{-1}}{9 \times 10^9} = 4 \times 10^{-10} \Rightarrow |q| = 2 \times 10^{-5} \text{ C} = 20 \mu\text{C}$$

۲  
بخش



پاسخنامه

۱	کوانتیده	۲	پایستگی بار الکتریکی
۳	کوانتیده بودن بار الکتریکی	۴	پایستگی بار الکتریکی
۵	دقیقاً برابر صفر	۶	الکترون دهی
۷	هم اندازه - ناهمنام	۸	ناهمنام
۹	همنام	۱۰	دفع
۱۱	کاهش	۱۲	همنام
۱۳	مثبت	۱۴	همنام
۱۵	ناهمنام		
۱۶	درست		

۳۱ | آ | بار الکتریکی پارچه ابریشمی برابر  $6/4 \text{ nC}$  - است. علت این موضوع پایستگی بار الکتریکی است. چون هر دو جسم در ابتدا خنثی بودند و پس از مالش یکی از آن‌ها دارای بار  $6/4 \text{ nC}$  + شده است، بنابراین دیگری باید دارای بار  $6/4 \text{ nC}$  - شده باشد تا بار الکتریکی پایسته بماند. **ب** | الکترون‌ها از میله شیشه‌ای به پارچه پشمی منتقل شده‌اند و تعداد آنها را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$q = ne \Rightarrow 6/4 \times 10^{-9} = n \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow n = \frac{6/4 \times 10^{-9}}{1/6 \times 10^{-19}} = 4 \times 10^{10}$$

۳۲ | با توجه به سری الکتریسیته مالشی، تفلون الکترون خواهی بیشتری از موی انسان دارد، بنابراین میله تفلونی دارای بار منفی می‌شود که به صورت زیر می‌توان آن را پیدا کرد:

$$q = -ne = -5 \times 10^{10} \times 1/6 \times 10^{-19} = -8 \times 10^{-9} \text{ C} = -8 \text{ nC}$$

۳۳ | بارهای همنام یک دیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. همچنین اجسام باردار می‌توانند اجسام خنثی را به علت القای بار الکتریکی جذب کنند.

آ | جاذبه      ب | جاذبه      پ | جاذبه

۳۴ | در هر دو شکل، اندازه بار القاشده در کره‌های A و B به علت پایستگی بار الکتریکی، برابر هستند.

۳۵ | آ | اگر جسم باردار را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار مثبت نزدیک کنیم و ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دورتر شوند، بار آن جسم نیز مانند بار الکتروسکوپ، مثبت است. ولی اگر لحظه‌ای ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شوند، بار جسم، مخالف بار الکتروسکوپ و منفی است. **ب** | اگر جسم نارسانا را به کلاهک الکتروسکوپ باردار مثبت نزدیک کرده و با آن تماس دهیم، تغییر محسوسی در موقعیت ورقه‌های الکتروسکوپ به وجود نمی‌آید. ولی اگر جسم، رسانا باشد، ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شده و بر اثر تماس جسم رسانا با کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ تخلیه می‌شود و ورقه‌های الکتروسکوپ تقریباً روی هم می‌افتند و به هم می‌چسبند.

۳۶ | با توجه به اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی داریم:

$$q = -ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{-64 \times 10^{-9}}{-1/6 \times 10^{-19}} = 40 \times 10^{10} = 4 \times 10^{11}$$

۳۷ | آ | عدد اتمی آهن ۲۶ است، یعنی در هسته اتم آهن ۲۶ پروتون و اطراف آن ۲۶ الکترون وجود دارد.

$q_{\text{هسته}} = +ne = 26 \times 1/6 \times 10^{-19} = 4/16 \times 10^{-18} \text{ C}$   
**ب** |  $q_{\text{الکترون‌ها}} = -ne = -26 \times 1/6 \times 10^{-19} = -4/16 \times 10^{-18} \text{ C}$   
**پ** | بار الکتریکی اتم آهن، صفر است، زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن برابر است.

۱۷ | نادرست - با مالش دو جسم به یک دیگر، دو جسم دارای بارهای هم‌اندازه و ناهمنام می‌شوند.

۱۸ | نادرست - برای تشخیص باردار بودن یک جسم و نوع بار آن از الکتروسکوپ استفاده می‌شود.

۱۹ | درست

۲۰ | نادرست - اگر جمع جبری بارهای یک دستگاه منزوی، صفر شود، آن دستگاه از نظر الکتریکی، خنثی است.

۲۱ | نادرست - یک کولن مقدار بار بزرگی است.

۲۲ | درست

۲۳ | نادرست - در روش تماس، در نهایت بار دو جسم، همنام است ولی لزومی ندارد که هم‌اندازه باشند.

۲۴ | درست      ۲۵ | درست

۲۶ | درست

۲۷ | در مورد بار الکتریکی، دو اصل وجود دارد:

۱- اصل پایستگی بار الکتریکی ۲- اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

۲۸ | مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است، یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

۲۹ | اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد و یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده شده جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است.

۳۰ | در سری تریبو الکتریک داده شده در سؤال، مواد پایین‌تر الکترون خواهی بیشتری دارند، بنابراین در اثر مالش ماده‌های B و C، ماده C الکترون گرفته و ماده B الکترون از دست می‌دهد، بنابراین ماده C دارای بار منفی و ماده B دارای بار مثبت می‌شود.

۴۵ | خلاف جهت هم

۴۷ | رانشی

۴۹ | اندازه بارها - مستقیم

۵۱ | ندارد

۵۳ | چهار

$$\frac{C^2}{N.m^2} \quad | \quad ۵۵$$

۵۷ | بزرگ‌تر

۵۹ | گرانشی - جاذبه

۴۴ | غیرتماسی

۴۶ | همنام

۴۸ | سوم

۵۰ | وارون

۵۲ | دو برابر

$$\frac{N.m^2}{C^2} \quad | \quad ۵۴$$

۵۶ | هسته‌ای

۵۸ | ضعیف‌تر

۶۰ | بیش‌تر

۶۲ | درست

۶۱ | درست

۶۳ | نادرست - نیروی الکتریکی که دوباره به هم وارد می‌کنند، هم‌اندازه هستند.

۶۴ | درست

۶۵ | نادرست - یکای اندازه‌گیری ثابت گذردهی الکتریکی خلاء برابر با

$$\frac{C^2}{N.m^2} \text{ است.}$$

۶۷ | درست

۶۶ | درست

۶۸ | نادرست - برای دو بار **ناهمنام** در نقطه‌ای خارج از فاصله بین

دو بار، برابری نیروهای الکتریکی می‌تواند صفر شود.

۶۹ | نادرست - نیرویی که دو بار **همنام** به یک‌دیگر وارد می‌کنند از

نوع رانشی است.

۷۰ | نادرست - چون نیروهای الکتریکی که دو بار به یک‌دیگر وارد

می‌کنند، به دو جسم متفاوت وارد می‌شوند، قابل برابری نیستند.

۷۱ | اندازه نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای که در راستای

خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی بار آن‌ها نسبت مستقیم

و با مربع فاصله بین آن‌ها نسبت وارون دارد.

۷۲ | اگر تعدادی بار الکتریکی نقطه‌ای داشته باشیم، تجربه نشان

می‌دهد که در این وضعیت، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند

نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره

وارد می‌کنند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را اصل برهم‌نهی

نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

۷۳ | با توجه به قانون سوم نیوتون، نیروهای  $\vec{F}_{۱۲}$  و  $\vec{F}_{۲۱}$  نیروهای

عمل و عکس‌العمل هستند، بنابراین هم‌اندازه و در خلاف جهت یک‌دیگر

هستند، بنابراین اگر نیروی  $\vec{F}_{۲۱}$  در جهت جنوب شرقی باشد، نیروی

$\vec{F}_{۱۲}$  در خلاف جهت آن، یعنی در جهت شمال غربی است.

۳۸ | تعداد پروتون‌های هسته اتم کربن  $Z = ۶$  است، بنابراین:

$$q = +ne = +۶ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۹/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

$$\Rightarrow q = ۹/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C \times \left( \frac{۱pC}{۱۰^{-۱۲} C} \right) = ۹/۶ \times ۱۰^{-۷} pC$$

۳۹ | اتم هلیم در حالت عادی، خنثی است.

هنگامی که از اتم هلیم یک الکترون خارج شود، بار اتم هلیم یک‌بار

یونیده، مثبت خواهد شد، بنابراین بارالکتریکی این یون به صورت زیر

به دست می‌آید:

$$q = ne \Rightarrow q = ۱ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

۴۰ | اتم لیتیم در حالت عادی، خنثی است. اتم لیتیم دوبار یونیده،

دو الکترون از دست داده و بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند، بنابراین بار

این یون به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q = ne = ۲ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = ۳/۳ \times ۱۰^{-۱۹} C$$

۴۱ | بار مبادله شده برابر است با:

$$\Delta q = q_2 - q_1 = -۵ - (+۳) = -۸nC$$

بنابراین:

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -۸ \times ۱۰^{-۹} = -n \times (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹})$$

$$\Rightarrow n = \frac{۸ \times ۱۰^{-۹}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۵ \times ۱۰^{۱۰}$$

۴۲ | با توجه به ویژگی کوانتیده بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های

مبادله شده ( $n$ ) را محاسبه می‌کنیم. اگر  $n$  عددی صحیح باشد، آن‌گاه

چنین باری وجود دارد.

$$q = ne \Rightarrow ۲/۴ = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \quad (A)$$

$$\Rightarrow n = \frac{۲/۴}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۱۵ \times ۱۰^{۱۸} \quad (\checkmark)$$

$$q = ne \Rightarrow ۱۶ \times ۱۰^{-۱۸} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \quad (B)$$

$$\Rightarrow n = \frac{۱۶ \times ۱۰^{-۱۸}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۱۰^۲ \quad (\checkmark)$$

$$q = ne \Rightarrow ۴/۸ \times ۱۰^{-۲۰} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \quad (P)$$

$$\Rightarrow n = \frac{۴/۸ \times ۱۰^{-۲۰}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۰/۳ \quad (\times)$$

$$q = ne \Rightarrow ۳۲ \times ۱۰^{-۵} = n \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \quad (T)$$

$$\Rightarrow n = \frac{۳۲ \times ۱۰^{-۵}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۲ \times ۱۰^{۱۵} \quad (\checkmark)$$

۴۳ | با توجه به پایستگی بار الکتریکی داریم:

$$\Delta q_A + \Delta q_B + \Delta q_C = 0 \Rightarrow -۵ + ۴ + \Delta q_C = 0$$

$$\Rightarrow \Delta q_C = +۱\mu C$$