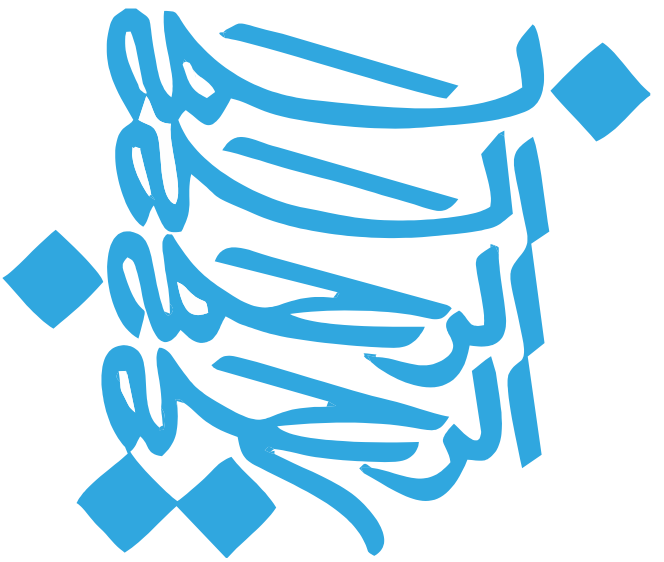
فیزیک یازدهم

رشته ریاضی فیزیک

کیوان طهوری ■ حسین ایروانی



مقدمه:

به نام خداوند جان و خرد

کزین برتر اندیشه بر نگذرد

سپاس فراوان خداوند منان را که ما را آموخت و آموختن فرمود. هدف ما از تألیف کتاب «فیزیک یازدهم» از مجموعهٔ «اقیانوس تست و نکته» فراهم آوردن منبعی مناسب و جامع برای آزمون‌های چهارگزینه‌ای آزمایشی و از همه مهمتر موفقیت در کنکور سراسری برای دانش‌آموزانی است که مایلند در بهترین رشته‌های گروه آزمایشی ریاضی ـ فیزیک، دانشگاه‌های بنام کشور تحصیل کنند.

از ویژگی‌های این کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱ پوشش ۱۰۰ درصدی مطالب کتاب درسی فیزیک یازدهم.

۲ درسنامهٔ کامل برای هر فصل همراه با تست‌های آموزشی که همهٔ نکات تستی و تشریحی مرتبط با آن مبحث را بیان می‌کند.

۳ طراحی تست‌های متنوع و همچنین پوشش خط‌به‌خط کتاب درسی برای تسلط بیشتر بر مفاهیم آن و چینش مناسب تست‌ها.

۴ ارائهٔ حدود ۳۰۰ تست منتخب از سؤالات کنکور سراسری سال‌های اخیر.

۵ طرح بیش از ۸۰۰ پرسش چهارگزینه‌ای تألیفی متنوع.

۶ تست‌ها و نکاتی که با آیکون برای دانش‌آموزان ممتاز مشخص شده‌اند و شامل نکاتی هستند که در سال دوازدهم خوانده می‌شوند و یا خارج از سطح کتاب درسی فیزیک یازدهم می‌باشند.

۷ طراحی آزمون در پایان هر فصل برای ارزیابی عملکرد دانش‌آموزان و دورهٔ مفاهیم طول فصل.

۸ پاسخ‌های کاملاً تشریحی سؤالات همراه با ارائه نکات تکمیلی در پایان هر فصل

در پایان وظیفه خود می‌دانیم که از مدیرعامل محترم انتشارات مبتکران جناب آقای یحیی دهقانی که امکان چاپ این کتاب را فراهم کردند قدردانی کنیم. همچنین از دبیر محترم مجموعه جناب آقای مهندس هادی عزیززاده که همواره حامی و پشتیبان ما بودند تشکر می‌کنیم.

همچنین از خانم‌ها محبوبه شریفی و نیلوفر صفاری قمصری که زحمت حروف‌چینی و صفحه‌آرایی کتاب را برعهده داشتند و خانم نسرین صفری (رسم شکل) و بهاره خدامی (گرافیست و طراح جلد) بسیار ممنونیم و برای این عزیزان آرزوی موفقیت داریم.

تشکر ویژه‌ای می‌کنیم از آقایان غلامرضا طهوری، کاوه طهوری و یاشار محمودی و خانم‌ها هما قره‌حسن‌لو، فرشته زعیم‌کهن و شیرین طهوری که در طول تألیف این کتاب ما را یاری کردند.

کیوان طهوری ـ حسین ایروانی

فصل اول:
الکتریسیته ساکن

	درس‌نامه	سؤال
بار الکتریکی	۸	۴۱
پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی	۸	۴۱
روش‌های باردار کردن اجسام	۹	۴۱
الکتروسکوپ	۱۲	۴۳
نیروی الکتریکی و قانون کولن	۱۴	۴۳
برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی	۱۵	۴۶
میدان الکتریکی	۱۹	۴۹
برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی	۲۰	۵۰
خطوط میدان الکتریکی	۲۱	۵۳
کار نیروی میدان الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی	۲۳	۵۵
پتانسیل الکتریکی	۲۵	۵۷
کار انجام‌شده روی ذرهٔ باردار توسط نیروی خارجی	۲۷	۶۰
میدان الکتریکی و توزیع بار در رساناها	۲۸	۶۱
چگالی سطحی بار الکتریکی رسانا	۲۹	۶۲
خازن و ظرفیت خازن	۳۰	۶۴
میدان الکتریکی بین صفحات خازن تخت	۳۴	۶۶
خازن با دی‌الکتریک	۳۵	۶۷
انرژی خازن	۳۷	۶۹
اتصال صفحات دو خازن شارژ شده	۳۹	–
آزمون ۱ فصل اول		۷۱
پاسخ‌نامهٔ سؤالات فصل اول		۷۳
پاسخ‌نامهٔ آزمون فصل اول		۱۲۴

فصل دوم:
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

	درس‌نامه	سؤال
جریان الکتریکی	۱۳۰	۱۷۱
مقاومت الکتریکی و رسانای اُهمی	۱۳۳	۱۷۳
عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی	۱۳۴	۱۷۵
تغییر مقاومت ویژه با دما	۱۳۶	۱۷۷
انواع مقاومت‌ها و کدگذاری رنگی مقاومت کربنی	۱۳۹	۱۷۸
مقاومت‌های خاص و دیودها	۱۴۰	۱۸۰
نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها	۱۴۳	۱۸۱
قاعدهٔ حلقه یا قانون ولتاژها	۱۴۴	–
مدار تک‌حلقه و افت پتانسیل در مقاومت	۱۴۵	۱۸۲
توان و انرژی الکتریکی مصرفی در یک مقاومت	۱۵۲	۱۹۰
توان یک منبع نیروی محرکهٔ واقعی	۱۵۴	۱۹۳
قاعدهٔ انشعاب یا قانون جریان‌ها	۱۵۷	۱۹۶
به‌هم بستن متوالی (سری) مقاومت‌ها	۱۵۸	۱۹۷
به‌هم بستن موازی مقاومت‌ها	۱۶۰	۲۰۰
ترکیب به‌هم بستن متوالی و موازی مقاومت‌ها	۱۶۳	۲۰۶
مدارهای شامل خازن و مقاومت (مدارهای RC)	۱۶۹	۲۰۹
آزمون ۱ فصل دوم		۲۲۳
پاسخ‌نامهٔ سؤالات فصل دوم		۲۲۶
پاسخ‌نامهٔ آزمون فصل دوم		۳۲۳

فصل سوم:

مغناطیس

درس‌نامه	سؤال
مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی	۳۲۸	۳۴۶
میدان مغناطیسی	۳۲۹	۳۴۶
میدان مغناطیسی زمین	۳۳۱	۳۴۹
میدان مغناطیسی یکنواخت	۳۳۱	۳۴۹
نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی	۳۳۱	۳۵۰
نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان	۳۳۴	۳۵۵
میدان مغناطیسی حاصل از سیم حامل جریان	۳۳۷	۴۶۳
نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان	۳۳۸	۳۶۳
میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه و یا پیچهٔ مسطح حامل جریان	۳۳۸	۳۶۵
میدان مغناطیسی حاصل از سیملولهٔ حامل جریان	۳۴۱	۳۶۹
ویژگی‌های مغناطیسی مواد	۳۴۳	۳۷۲
آزمون ۱ فصل سوم		۳۷۵
پاسخ‌نامهٔ سؤالات فصل سوم		۳۷۸
پاسخ‌نامهٔ آزمون فصل سوم		۴۴۲

فصل چهارم:

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

درس‌نامه	سؤال
پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی	۴۴۸	۴۶۵
شار مغناطیسی	۴۴۹	۴۶۴
قانون القای الکترومغناطیسی فاراده	۴۵۱	۴۶۶
قانون لنز	۴۵۴	۴۷۳
القاگرها و پدیدهٔ خود ـ القاوری	۴۵۵	۴۷۶
ضریب القاوری	۴۵۷	۴۷۷
انرژی ذخیره‌شده در القاگرها	۴۵۸	۴۷۸
القای متقابل	۴۵۸	۴۸۱
جریان متناوب	۴۵۹	۴۸۲
مبدل‌ها	۴۶۲	۴۸۵
آزمون ۱ فصل چهارم		۴۸۸
پاسخ‌نامهٔ سؤالات فصل چهارم		۴۹۱
پاسخ‌نامهٔ آزمون فصل چهارم		۵۲۹

پرسش‌های کنکور سراسری ۹۶

	۵۳۴
پاسخ‌نامهٔ کنکور سراسری ۹۶	۵۳۸

پرسش‌های کنکور سراسری ۹۷

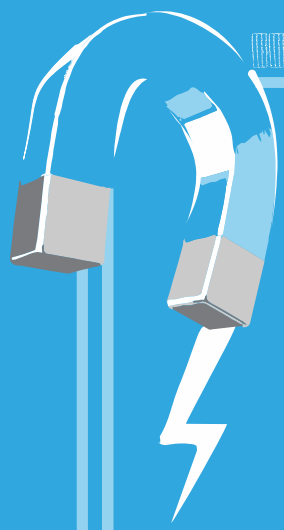
	۵۴۶
پاسخ‌نامهٔ کنکور سراسری ۹۷	۵۴۸

پرسش‌های کنکور سراسری ۹۸

	۵۵۱
پاسخ‌نامهٔ کنکور سراسری ۹۸	۵۵۸

پرسش‌های کنکور سراسری ۹۹

	۵۷۱
پاسخ‌نامهٔ کنکور سراسری ۹۹	۵۷۹



فصل اول :

الکتریسیته ساکن

درس‌نامه

فصل ۱: الکتریسیتهٔ ساکن

بار الکتریکی

در طبیعت دو نوع بار الکتریکی وجود دارد که آن‌ها را بارهای مثبت و منفی نام‌گذاری کرده‌اند.

وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنی خنثی‌بودن آن جسم است.

یکای بار الکتریکی در SI، کولن (C) است.

توجه **یک کولن مقدار بار بزرگی است و مثلاً در یک آذرخش، باری از مرتبهٔ ۱۰C به زمین منتقل می‌شود. از این رو غالباً با بارهایی از مرتبهٔ میکروکولن (μC) و نانوکولن (nC) سروکار داریم.**

بارهای الکتریکی همنام یکدیگر را دفع می‌کنند و بارهای الکتریکی غیرهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

نکته ۱ چند نکته دربارهٔ اتم:

۱ **اندازهٔ بار الکتریکی الکترون و پروتون با هم یکسان و برابر با بار بنیادی ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$) است. همچنین نوترون بار الکتریکی ندارد.**

۲ **به‌طور قراردادی بار الکترون را منفی و بار پروتون را مثبت فرض می‌کنند.**

نام ذره	بار (C)	جرم (kg)
الکترون	$-e = -1/6 \times 10^{-19}$	$9/1 \times 10^{-31}$
پروتون	$+e = +1/6 \times 10^{-19}$	$1/67 \times 10^{-27}$
نوترون	۰	$1/68 \times 10^{-27}$

۳ **اتم در حالت عادی خنثی است؛ زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن با هم برابر است.**

۴ **هستهٔ اتم از پروتون با بار مثبت و نوترون که ذره‌ای خنثی است تشکیل شده، بنابراین دارای بار مثبت است.**

پایستگی و کوانتیده‌بودن بار الکتریکی

اصل پایستگی بار: مجموع جبری همهٔ 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.

توجه **منظور از دستگاه منزوی در این‌جا دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.**

اصل کوانتیده بودن بار: یعنی بار الکتریکی یک جسم باردار همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است:

$$q = \pm ne \quad \text{و} \quad n = 0, 1, 2, \ldots$$

(+) زمانی که جسم الکترون از دست می‌دهد

(−) زمانی که جسم الکترون بگیرد

توجه **در این رابطه n تعداد الکترون‌های مبادله‌شده است.**

نکته ۲

۱) باری کمتر از بار بنیادی (e) وجود ندارد: $(|q| \geq 1/6\times10^{-19}C)$

۲) بار الکتریکی باید مضرب صحیحی از بار الکترون باشد: $\left(n=\frac{|q|}{e}\in\mathbb{Z}\right)$

نمونه بار یک جسم نمی‌تواند $0/5e$، $\frac{4}{3}e$، $-2/5e$ و... باشد.

تست ۱ اگر به جسمی که دارای بار الکتریکی منفی است $7/5\times10^{13}$ عدد الکترون بدهیم، بار آن ۴ برابر می‌شود. بار نهایی جسم چند میکروکولن است؟ $(e=1/6\times10^{-19}C)$

۱) -16 ۲) -4 ۳) 8 ۴) -8

پاسخ ابتدا تغییر اندازهٔ بار جسم را به دست می‌آوریم که به خاطر الکترون‌های دریافت شده است:

$$\Delta q=-ne=-7/5\times10^{13}\times1/6\times10^{-19}=-12\times10^{-6}C$$

چون به جسم الکترون داده‌ایم، پس بار آن کاهش یافته است (یعنی بار جسم منفی‌تر شده است):

$$q_2=4q_1\Rightarrow q_1-12\times10^{-6}=4q_1\Rightarrow 3q_1=-12\times10^{-6}\Rightarrow q_1=-4\times10^{-6}C=-4\mu C$$

پس بار نهایی جسم برابر است با: $q_2=4q_1=4\times(-4)=-16\mu C$

بنابراین گزینهٔ «۱» درست است.

تقسیم‌بندی اجسام از نظر رسانش الکتریکی

۱ اجسام رسانا

این اجسام دارای الکترون‌های آزاد هستند که می‌توانند به آزادی در آن ها حرکت کنند؛ مانند فلزات.

در این اجسام، بار داده‌شده به سطح رسانا آمده و در سطح خارجی آن توزیع می‌شود و بار خالص درون رسانا صفر است.

۲ اجسام نارسانا

اجسامی هستند که به دلیل عدم وجود الکترون‌های آزاد، بار نمی‌تواند به آزادی در آن‌ها حرکت کند.

توجه **الکترون‌های موجود در این اجسام مقید هستند.**

در این اجسام، بار داده‌شده در محل تماس باقی‌مانده و توزیع نمی‌شود.

۳ اجسام نیم‌رسانا

این اجسام در دمای پایین نارسانا بوده و در دمای محیط رسانش الکتریکی را انجام می‌دهند؛ مانند ژرمانیم و سیلیسیم.

سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سُرب
ابریشم
آلومینیم
کاغذ
چوب
پارچهٔ کتان
کهربا
برنج، مس
پلاستیک، پلی‌اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

روش‌های باردار کردن اجسام

باردار کردن اجسام به سه روش **مالش**، **تماس** و **القا** صورت می‌گیرد.

۱ روش مالش

این روش بیشتر برای باردار کردن اجسام نارسانا به کار می‌رود.

در هنگام مالش دو جسم، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و برعکس، جسمی‌که الکترون اضافی دریافت می‌کند، الکترون‌هایش از پروتون‌های آن بیشتر شده و بار الکتریکی خالص آن منفی می‌شود.

توجه **طبق اصل پایستگی بار، بار مثبت و منفی ایجادشده در اثر مالش با هم برابرند؛ یعنی پس از باردار شدن دو جسم در اثر مالش، بار الکتریکی خالص آن‌ها هم‌اندازه ولی ناهمنام است.**

نوع باری که جسم بر اثر مالش پیدا می‌کند بر اساس جدولی موسوم به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) که در صفحهٔ قبل آمده است، معلوم می‌شود. در این جدول مواد پایین‌تر الکترون‌خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر جدول به ماده‌ای که در قسمت پایین‌تر جدول قرار دارد منتقل می‌شود.

نتیجه: جسم بالاتر در سری تریبوالکتریک پس از مالش، بار مثبت و جسم پایین‌تر پس از مالش، بار منفی پیدا می‌کند.

نمونه ۱ **اگر تیغه‌ای شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، الکترون‌ها از شیشه به ابریشم منتقل می‌شوند و تیغهٔ شیشه‌ای بار مثبت و پارچهٔ ابریشمی بار منفی پیدا می‌کنند.**

نمونه ۲ **اگر تیغه‌ای پلاستیکی با پارچهٔ پشمی مالش یابد، الکترون‌ها از پشم به پلاستیک منتقل می‌شوند و تیغهٔ پلاستیکی بار منفی و پارچهٔ پشمی بار مثبت پیدا می‌کنند.**

تست ۲ **سه جسم A ، B و C را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. وقتی A و B را به یکدیگر نزدیک می‌کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر حتماً درست است؟**

۱) B و C بار غیرهمنام دارند.
۲) B در سری تریبوالکتریک بالاتر از C قرار می‌گیرد.
۳) A و B بار غیرهمنام ولی هم‌اندازه دارند.
۴) مادهٔ سازندهٔ A و B در سری تریبوالکتریک در طرفین پشم قرار می‌گیرد.

پاسخ چون A و B یکدیگر را جذب می‌کنند بنابراین دارای بارهای الکتریکی غیرهمنام هستند. پس در مالش با پارچهٔ پشمی دارای بارهای غیرهم‌علامت شده‌اند و در نتیجه مادهٔ سازندهٔ آن‌ها در سری تریبوالکتریک در طرفین پشم قرار می‌گیرد. بنابراین گزینهٔ «۴» درست است.

بررسی سایر گزینه‌ها: بارهای A و B غیرهمنام هستند ولی لزومی ندارد هم‌اندازه باشند (رد گزینهٔ «۳»). همچنین چون B و C یکدیگر را دفع می‌کنند، بنابراین دارای بارهای همنام هستند و در سری تریبو الکتریک در یک طرف پشم قرار می‌گیرند ولی نمی‌توان گفت که کدام‌یک بالاتر قرار می‌گیرد. (رد گزینه‌های «۱» و «۲»).

۲ روش تماس

اگر یک جسم بدون بار رسانا را با یک جسم رسانای باردار تماس دهیم، آن‌قدر الکترون بین دو جسم مبادله می‌شود تا پتانسیل الکتریکی دو جسم یکسان شود.

یادآوری: اختلاف پتانسیل الکتریکی عامل شارش بار الکتریکی است.

جهت حرکت الکترون‌ها از پتانسیل الکتریکی کمتر به پتانسیل الکتریکی بیشتر است.

در این روش دو جسم دارای بار همنام می‌شوند.

اگر دو جسم رسانا **هم‌اندازه** و **هم‌شکل** باشند، بار آن‌ها پس از تماس برابر می‌شود.

نکته ۳ تماس دو کرهٔ رسانا:

اگر کرهٔ رسانا به شعاع r_1 را که دارای بار q_1 است، با کرهٔ رسانای دیگری به شعاع r_2 که دارای بار q_2 است، تماس دهیم، بار بین کره‌ها به نسبت شعاع‌ها تقسیم می‌شود تا دو کره هم‌پتانسیل شوند. در این صورت بار هر یک از کره‌ها پس از تماس (q'_1 و q'_2) برابر می‌شود با:

$$q'_2 = \frac{q_1+q_2}{r_1+r_2} \times r_2 \quad \text{و} \quad q'_1 = \frac{q_1+q_2}{r_1+r_2} \times r_1$$

توجه **دلیل این امر آن است که پتانسیل اجسام کروی باردار با بار آن‌ها رابطهٔ مستقیم و با شعاع آن‌ها رابطهٔ عکس دارد:**

$$V \propto \frac{q}{r}$$

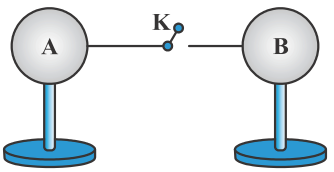
از نکتهٔ بالا نتیجه می‌شود که اگر دو کره با شعاع یکسان و بارهای q_1 و q_2 را به هم تماس دهیم، بار هر یک پس از تماس برابر خواهد بود با (در این رابطه q_1 و q_2 با علامت جای‌گذاری می‌شوند):

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1+q_2}{2}$$

در حالت کلی اگر n کرهٔ باردار مشابه را با هم تماس دهیم، بار هر یک پس از تماس (q') برابر خواهد شد با:

$$q' = \frac{q_1 + q_2 + \cdots + q_n}{n}$$

تست ۳ **در شکل زیر، بار اولیهٔ کره‌های مشابه رسانای A و B به ترتیب برابر با $-2\mu C$ و $14\mu C$ است. اگر کلید K را ببندیم چند الکترون و در چه جهتی بین دو کره جابه‌جا می‌شود؟ (فرض شود که هیچ بار الکتریکی‌ای روی سیم قرار نمی‌گیرد و $e = 1/6 \times 10^{-19} C$)**



۱) $3/75 \times 10^{13}$ و از A به B ۲) $3/75 \times 10^{13}$ و از B به A ۳) 5×10^{13} و از B به A ۴) 5×10^{13} و از A به B

پاسخ ابتدا بار الکتریکی هر یک از کره‌ها را بعد از بستن کلید حساب می‌کنیم. چون کره‌ها مشابه‌اند، طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، بعد از تماس، بار آن‌ها مشابه و برابر است با:

$$q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} \xrightarrow{q_A = -2\mu C \text{ و } q_B = 14\mu C} q'_A = q'_B = \frac{-2 + 14}{2} = 6\mu C$$

حال مقدار بار شارش‌شده بین دو کره را حساب می‌کنیم و سپس تعداد الکترون‌های جابه‌جا شده را به دست می‌آوریم:

$$\Delta q = q'_A - q_A = 6 - (-2) = 8\mu C = 8 \times 10^{-6} C \Rightarrow n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{8 \times 10^{-6}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{13} \text{ الکترون}$$

می‌دانیم جهت حرکت خودبه‌خودی الکترون‌ها همواره از پتانسیل الکتریکی کمتر (بار منفی) به طرف پتانسیل الکتریکی بیشتر (بار مثبت) است، پس الکترون‌ها از کرهٔ A به طرف کرهٔ B جابه‌جا می‌شوند. بنابراین گزینهٔ «۴» درست است.

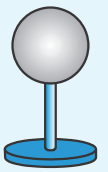
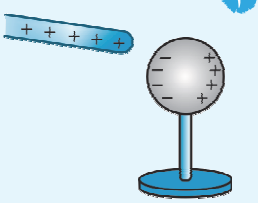
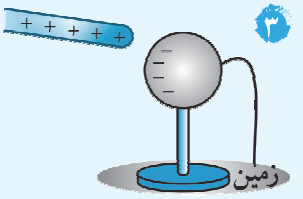
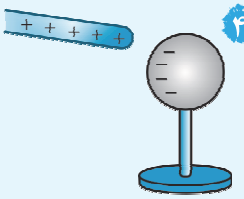
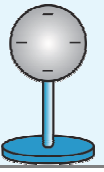
۳ روش القای بار الکتریکی

به کمک روش القا می‌توان بدون تماس جسم رسانا با یک جسم باردار بر روی آن بار الکتریکی القا کرد.

در این روش بار مثبت و منفی القاشده با هم برابر است.

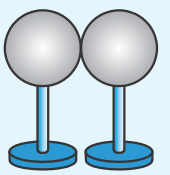
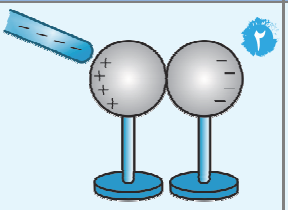
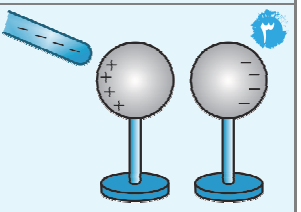
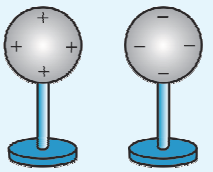
مراحل باردار کردن یک کرهٔ رسانا به روش القا

فرض کنید بخواهیم در کره بار منفی ایجاد کنیم. در این صورت مراحل باردار کردن به صورت زیر است:

شکل هر مرحله	توضیح هر مرحله	شکل هر مرحله	توضیح هر مرحله
۱ 	ابتدا کره بدون بار است و روی پایهٔ عایق قرار دارد.	۲ 	چون می‌خواهیم در کره بار منفی ایجاد کنیم بنابراین میله‌ای با بار مثبت به کره نزدیک می‌کنیم. با نزدیک‌کردن میلهٔ باردار، بار مثبت و منفی مطابق شکل در کره ایجاد می‌شود. دقت شود چون بارهای ناهمنام از بارهای همنام به هم نزدیک‌تر بوده پس میله و کره هم‌دیگر را می‌ربایند.
۳ 	کرهٔ رسانا را به زمین متصل می‌کنیم و بارهای منفی از زمین به کره منتقل می‌شوند و بارهای مثبت القایی کره را خنثی می‌کنند.	۴ 	اتصال به زمین را قطع می‌کنیم.
۵ 		میله را از رسانا دور می‌کنیم. بار روی سطح خارجی رسانا پخش می‌شود.	

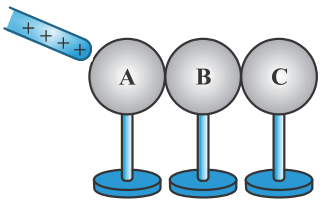
توجه **در این روش، جسم دارای باری ناهمنام با بار میلهٔ باردار می‌شود.**

مراحل باردار کردن دو کرهٔ رسانای خنثی:

شکل هر مرحله	توضیح هر مرحله	شکل هر مرحله	توضیح هر مرحله
۱ 	ابتدا دو کرهٔ فلزی خنثی با پایه‌های نارسانا را در نظر بگیرید که در تماس با یکدیگر قرار دارند.	۲ 	میله‌ای با بار منفی (مثلاً میلهٔ پلاستیکی مالش داده‌شده با پارچهٔ پشمی) را به آن‌ها نزدیک می‌کنیم. توزیع بار مطابق شکل می‌شود.
۳ 	در حضور میلهٔ باردار دو کره را از هم جدا می‌کنیم و دو کره دارای بار مثبت و منفی می‌شوند.	۴ 	میلهٔ باردار را از دو کره دور کرده و کره‌ها را در فاصلهٔ دور از هم قرار می‌دهیم. بار روی سطح خارجی کره‌ها پخش می‌شود.

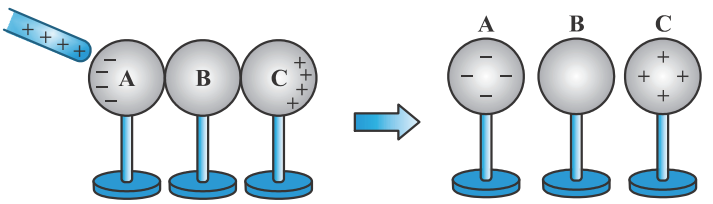
توجه **در این‌جا نیز کره‌ای که نزدیک به میلهٔ باردار است، دارای باری ناهمنام با بار میلهٔ باردار و کرهٔ دورتر دارای باری همنام با بار میلهٔ باردار می‌شود.**

تست ۴ **مطابق شکل زیر، میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به سه کرهٔ رسانای خنثی که در تماس با هم هستند، نزدیک کرده و نگه می‌داریم. اگر در این حالت سه کره را از یکدیگر جدا کنیم و سپس میلهٔ باردار را دور کنیم، علامت بار کره‌های A ، B و C به ترتیب از راست به چپ کدام است؟ (پایه‌ها عایق هستند.)**

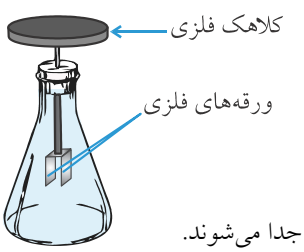


۱) منفی، مثبت، مثبت
۲) منفی، منفی، مثبت
۳) مثبت، خنثی، منفی
۴) منفی، خنثی، مثبت

پاسخ مطابق شکل زیر، وقتی میلهٔ با بار مثبت را به کرهٔ A نزدیک می‌کنیم، الکترون‌های آزاد به نزدیک‌ترین نقطه یعنی سمت چپ کرهٔ A منتقل می‌شود و در سمت راست کرهٔ C بار مثبت باقی می‌ماند؛ بنابراین با جدا کردن کره‌ها، کرهٔ B بدون بار (خنثی) باقی می‌ماند و کرهٔ A بار منفی و کرهٔ C بار مثبت پیدا می‌کند. بنابراین گزینهٔ «۴» درست است.



الکتروسکوپ

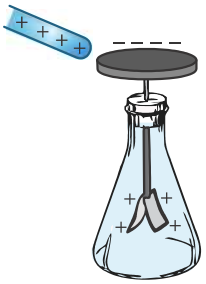


الکتروسکوپ از یک کلاهک، یک میله و دو ورقهٔ نازک فلزی تشکیل شده است.
معمولاً برای تشخیص باردار بودن یک جسم و تعیین نوع بار آن از الکتروسکوپ استفاده می‌شود.
وقتی الکتروسکوپ بدون بار است ورقه‌های آن به هم نزدیک‌اند و وقتی باردار می‌شود، ورقه‌های آن از هم جدا می‌شوند.

۱ روش تشخیص باردار بودن جسم:

اگربه یک الکتروسکوپ بدون بار جسمی باردار نزدیک شود، کلاهک آن دارای بار ناهمنام و ورقه‌ها دارای بار همنام با جسم شده و ورقه‌ها از هم باز می‌شوند. اگر جسم بدون بار باشد تغییری در وضعیت ورقه‌های الکتروسکوپ ایجاد نمی‌شود.

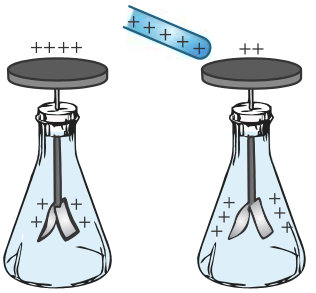
هر چقدر میلهٔ باردار را بیشتر نزدیک کنیم، فاصلهٔ ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر می‌شود.



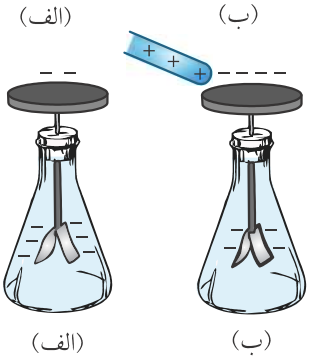
۲ روش تشخیص نوع بار جسم:

برای این‌کار از یک الکتروسکوپ باردار استفاده می‌شود. دو حالت پیش می‌آید:

۱- اگر جسم دارای بار همنام با بار الکتروسکوپ باشد، در این صورت با نزدیک‌کردن جسم به آن، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر می‌شود.



۲- اگر جسم دارای بار ناهمنام نسبت به بار الکتروسکوپ باشد، در این صورت با نزدیک‌کردن جسم به آن، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ کم می‌شود. در این حالت اگر بار جسم زیاد باشد هرچه جسم به الکتروسکوپ نزدیک‌تر شود، انحراف ورقه‌ها کمترشده و سرانجام ورقه‌ها بسته می‌شوند. اما ممکن است ورقه‌ها مجدداً منحرف شوند.



توجه: در حالتی که پس از بسته شدن ورقه‌های الکتروسکوپ، ورقه‌ها مجدداً باز شوند، نتیجه می‌گیریم که بار جسم علاوه بر این‌که نسبت به بار الکتروسکوپ ناهمنام است، مقدار آن نیز بیشتر از بار الکتروسکوپ است.

نکته ۴

اگر به یک الکتروسکوپ باردار، جسمی رسانا و بدون بار نزدیک کنیم، در اثر القا، رسانا دارای بار شده به گونه‌ای که سمتی که نزدیک الکتروسکوپ است دارای بار ناهمنام با الکتروسکوپ شده و مقداری از بار ورقه‌های الکتروسکوپ را به سوی خود کشیده و انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ کم می‌شود.

تست ۵ **با نزدیک‌کردن جسم A به یک الکتروسکوپ با بار منفی، ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک می‌شوند. در این صورت چه تعداد از موارد زیر دربارهٔ جسم A می‌تواند درست باشد؟**

الف) می‌تواند تیغه‌ای شیشه‌ای باشد که در تماس با پارچهٔ ابریشمی باردار شده است.

ب) جسم A دارای بار منفی است.

پ) جسم A می‌تواند رسانایی بدون بار باشد.

ت) حتماً دارای بار مثبت است.

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۲

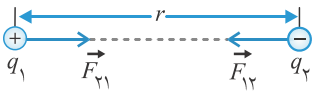
پاسخ با توجه به این‌که الکتروسکوپ دارای بار منفی است و با نزدیک‌کردن جسم A به آن ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شده است، **پس جسم A یا دارای بار مثبت است و یا رسانایی بدون بار است.** بنابراین موارد (ب) و (ت) نادرست است و مورد (پ) درست است. اما در مورد (الف) می‌دانیم که تیغهٔ شیشه‌ای در تماس با پارچهٔ ابریشمی دارای بار مثبت می‌شود، بنابراین مورد (الف) نیز درست است. *(به سری تریبوالکتریک مراجعه کنید.)*

بنابراین گزینهٔ «۴» درست است.

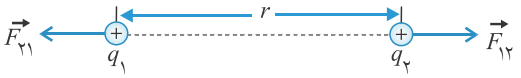
نیروی الکتریکی و قانون کولن

نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط مستقیم بین آن‌ها اثر می‌کند با حاصلضرب بزرگی بارها نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت معکوس دارد:

$$F \propto \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$



نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام، جاذبه است.



نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، دافعه است.

نیروهای الکتریکی که دو ذرهٔ باردار به یکدیگر وارد می‌کنند بنا به قانون سوم نیوتون هم‌اندازه، هم‌راستا و در خلاف‌جهت همدیگرند:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \rightarrow F_{21} = F_{12} = F$$

اندازهٔ این نیرو از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید:

$$\boxed{F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}}$$

توجه **در این رابطه $|q_1|$ و $|q_2|$ اندازهٔ بار الکتریکی بر حسب کولن (C)، r فاصلهٔ بین دو بار برحسب متر (m) و k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و مقدار آن در خلأ برابر است با:**

$$k \simeq 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

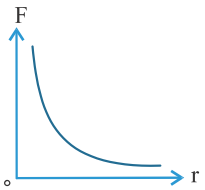
k را بر حسب ضریب گذردهی الکتریکی خلأ (ε_0) نیز می‌توان نوشت:

$$\varepsilon_0 = 8/85\times10^{-12}\frac{C^2}{N.m^2} \quad \text{و} \quad \boxed{k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}}$$

نکته ۵ **برای محیط‌های نارسانای دیگر (غیر از خلأ) ضریب گذردهی الکتریکی بیشتر از ε_0 است. بنابراین:**

$$\varepsilon > \varepsilon_0 \xrightarrow{k \propto \frac{1}{\varepsilon}} k < k_{(\text{در خلا})} \ (\text{در محیط‌های غیرخلا})$$

نمودار نیروی بین دو بار (F) بر حسب فاصلهٔ بین آن‌ها (r) به صورت روبه‌رو است:



$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

توجه **در ریاضی به این نمودار، نمودار تابع هِموگرافیک می‌گویند.**

تست ۶ **دو کرهٔ کوچک مشابه رسانا با بارهای مثبت q_1 و q_2 $(q_1 \neq q_2)$ در فاصلهٔ r بر هم نیروی F را وارد می‌کنند. چنان‌چه دو کره را با هم تماس داده و مجدداً در فاصلهٔ r قرار دهیم، نیروی بین آن‌ها چگونه تغییر می‌کند؟**

۱) ثابت می‌ماند. ۲) کمتر می‌شود. ۳) بیشتر می‌شود. ۴) بستگی به مقدار q_1 و q_2 دارد.

پاسخ وقتی دو کره را به هم تماس می‌دهیم چون دو کره مشابه و رسانا هستند بنابراین بار آن‌ها با هم برابرشده و بار هر یک از کره‌ها برابر خواهد شد با:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1+q_2}{2}$$

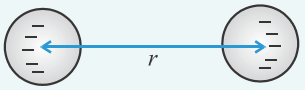
در حالت اول نیروی بین دو بار برابر $F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$ و در حالت دوم نیروی بین دو بار برابر $F' = k\frac{\left(\frac{q_1+q_2}{2}\right)^2}{r^2}$ می‌شود.

چون $\left(\frac{q_1+q_2}{2}\right)^2 > q_1q_2$ است *(به راحتی اثبات می‌شود)*، در نتیجه $F' > F$ خواهد بود و نیروی بین دو کرهٔ رسانا **افزایش می‌یابد.**

بنابراین گزینهٔ «۳» درست است.

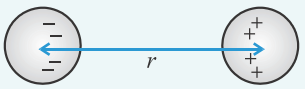
نکته ۶ در تست قبل کره‌ها کوچک بودند و در واقع بارها را نقطه‌ای در نظر گرفتیم. اگر بارها را نقطه‌ای در نظر نگیریم در این صورت، شکل، ابعاد و چگونگی توزیع بار در اندازهٔ نیروی بین آن‌ها مؤثر است.

به عنوان مثال اگر به کرهٔ رسانا با اندازهٔ غیرقابل چشم‌پوشی بارهای همنام q_1 و q_2 بدهیم، نیروی دافعهٔ بین بارهای همنام سبب می‌گردد که بار کره‌ها از هم دور شود و فاصلهٔ بین بارها از فاصلهٔ مرکز دو کره (r) بیشتر شود. بنابراین نیروی رانشی بین کره‌ها کمتر از $F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ خواهد بود (شکل الف).



شکل الف

همچنین اگر بارها ناهمنام باشند نیروی جاذبهٔ بین بارهای ناهمنام آن‌ها را به سوی هم می‌کشد و فاصلهٔ بین بارها از فاصلهٔ مرکزهای دو کره (r) کمتر شده و نیروی ربایشی بین دو کره از $F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ بیشتر می‌شود (شکل ب).



شکل ب

نتیجه: اگر اندازهٔ کره‌ها غیرقابل چشم‌پوشی باشد، نمی‌توان بار آن‌ها را به صورت بار نقطه‌ای در مرکز کره فرض کرد.

تست ۷ دو ذره با بارهای q_1 و $q_2 = 5q_1$ در فاصلهٔ r متری، نیروی F را به هم وارد می‌کنند. اگر دو ذره را ۵ متر از یکدیگر دور کنیم و همچنین ۲۰ درصد از بار ذرهٔ با بار q_2 را برداشته و به ذرهٔ با بار q_1 بدهیم، نیروی بین دو ذره در این حالت (F')، ۴۰ درصد نیرو در حالت اول می‌شود. r چند متر است؟

۱) ۱۰ ۲) ۵ ۳) ۳ ۴) ۶

پاسخ ابتدا بار هر یک از ذره‌ها را در حالت دوم به دست می‌آوریم:

$$q'_2 = q_2 - \frac{20}{100}q_2 = 0/8q_2 = 0/8 \times (5q_1) = 4q_1 \quad \text{و} \quad q'_1 = q_1 + \frac{20}{100}q_2 = q_1 + 0/2 \times (5q_1) = 2q_1$$

با توجه به رابطهٔ قانون کولن داریم:

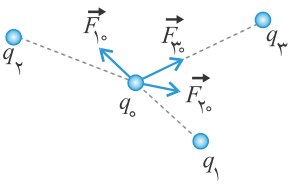
$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{|q_1||q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \xrightarrow{\text{۴۰ درصد}} 0/4 = \frac{(2q_1)(4q_1)}{(q_1)(5q_1)} \times \left(\frac{r}{r+5}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{r}{r+5}\right)^2 = \frac{1}{4} \rightarrow \frac{r}{r+5} = \frac{1}{2} \rightarrow 2r = r+5 \rightarrow r = 5m$$

بنابراین گزینهٔ «۲» درست است.

برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

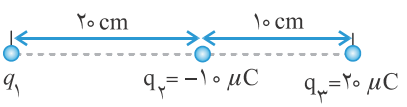
اگر تعدادی ذرهٔ باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند. به عنوان مثال در شکل زیر نیروی الکتریکی وارد بر q_0 (نیروی برایند) برابر است با:

$$\vec{F}_{T_0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \cdots$$



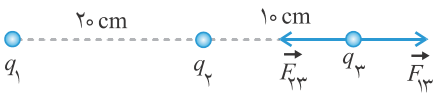
توجه در شکل بالا چون نیروی خالص وارد بر q_0 را می‌خواستیم، بردارهای نیرو طوری رسم می‌شود که ابتدای هر کدام از نیروها روی ذرهٔ با بار q_0 باشد.

تست ۸ در شکل زیر بار q_3 در تعادل الکتریکی است. اگر جای بارهای q_3 و q_2 را عوض کنیم، اندازهٔ نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 چند نیوتون و در چه جهتی خواهد بود؟ $\left(k = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2}\right)$



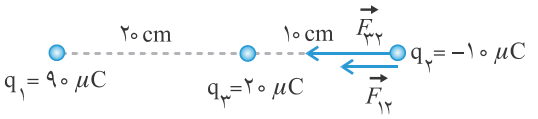
۱) ۲۷۰، چپ ۲) ۹۰، راست
۳) ۲۷۰، راست ۴) ۹۰، چپ

پاسخ بار q_3 در حال تعادل است، بنابراین نیروی خالص وارد بر آن صفر است. با توجه به این شرط جهت نیروی $\vec{F}_{13}$ باید مطابق شکل مقابل به سمت راست باشد. بنابراین بار q_1 مثبت است. داریم:



$$\vec{F}_{T3}=\vec{F}_{13}+\vec{F}_{23}=0\Rightarrow F_{13}=F_{23}\rightarrow\frac{k|q_1||q_3|}{r_{13}^2}=\frac{k|q_2||q_3|}{r_{23}^2}\rightarrow\frac{|q_1|}{r_{13}^2}=\frac{|q_2|}{r_{23}^2}\rightarrow\frac{|q_1|}{30^2}=\frac{10}{10^2}\rightarrow|q_1|=90\mu C\xrightarrow{q_1>0}q_1=+90\mu C$$

حال با عوض کردن جای q_2 و q_3، نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست می‌آوریم. نیرویی که بارهای q_1 و q_3 بر بار q_2 وارد می‌کنند، هر دو جاذبه است و به سمت چپ می‌باشد. بنابراین نیروی برایند نیز **به سمت چپ** خواهد بود. داریم:



$$F_{12}=k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}=(9\times10^9)\times\frac{(90\times10^{-6})(10\times10^{-6})}{(30\times10^{-2})^2}=90\,N$$

$$F_{32}=k\frac{|q_1||q_2|}{r_{32}^2}=(9\times10^9)\times\frac{(20\times10^{-6})(10\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2}=180\,N$$

چون دو بردار $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ هم‌جهت هستند. بنابراین بزرگی نیروی خالص وارد بر q_2 برابر است با:

$$\vec{F}_{T2}=\vec{F}_{12}+\vec{F}_{32}=270\,N$$

اگر محور x را روی خط واصل بارها در نظر بگیریم، بردار نیروی برایند برابر است با:

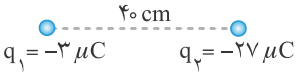
$$\vec{F}_{T2}=(-270\,N)\vec{i}$$

بنابراین گزینهٔ «۱» درست است.

نکته ۷ روش : **در تست‌ها برای محاسبهٔ نیروی الکتریکی بین دو بار بر اساس قانون کولن، هرگاه اندازهٔ هر دو بار الکتریکی برحسب μC و فاصلهٔ آن‌ها برحسب cm باشد، می‌توان به جای تبدیل واحد، از رابطهٔ زیر برای محاسبهٔ نیرو استفاده کرده و در این رابطه بارها را برحسب μC و فاصله را برحسب cm جای‌گذاری نمود:**

$$F=9\times\frac{|q_1||q_2|}{r^2}\xrightarrow{\text{به عنوان نمونه نیروی }F_{12}\text{ در تست (۸)}}F_{12}=9\times\frac{90\times10}{(30)^2}=90\,N$$

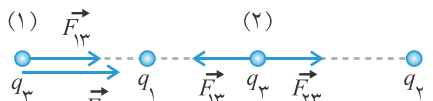
تست ۹ **دو ذره با بار الکتریکی q_1 و q_2 مطابق شکل زیر در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری از هم قرار دارند. بار q_3 را در چند سانتی‌متری از بار q_1 و در کدام سمت آن قرار دهیم، تا در حال تعادل باشد؟**

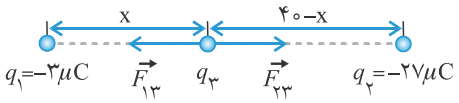


۱) ۳۰، راست
۲) ۱۰، چپ
۳) ۳۰، چپ
۴) ۱۰، راست

پاسخ اولاً برای این‌که بار q_3 در حال تعادل باشد، نقطه‌ای که بار را در آن‌جا قرار می‌دهیم باید حتماً روی خط واصل دو بار باشد، زیرا در غیر این صورت نیروهای $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ به هیچ‌وجه نمی‌توانند یکدیگر را خنثی کنند.

فرض می‌کنیم بار q_3 مثبت است، در این صورت یا می‌توانیم آن را در خارج از فاصلهٔ بین دو بار روی خط واصل قرار دهیم (نقطهٔ ۱) و یا بین دو بار قرار دهیم (نقطهٔ ۲). چون بارهای q_1 و q_2 هر دو منفی است، با رسم نیروی $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ در نقاط (۱) و (۲) مشخص است که بار q_3 باید در نقطهٔ (۲) یعنی بین دو بار روی خط واصل قرار گیرد تا نیروهای $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ بتوانند یکدیگر را خنثی کنند. داریم:





$$F_{T3}=0\rightarrow F_{13}=F_{23}\rightarrow\frac{k|q_1||q_3|}{x^2}=\frac{k|q_2||q_3|}{(40-x)^2}\rightarrow\frac{|q_1|}{x^2}=\frac{|q_2|}{(40-x)^2}\rightarrow\frac{\cancel{3}^{1}}{x^2}=\frac{\cancel{27}^{9}}{(40-x)^2}\xrightarrow{\text{از طرفین جذر می گیریم}}\frac{1}{x}=\frac{3}{40-x}$$

$$\rightarrow3x=40-x\rightarrow x=10\,cm$$

پس نقطهٔ موردنظر در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری از بار q_1 و در سمت راست آن است. بنابراین گزینهٔ «۴» درست است.

نکته ۸ اگر دو بار الکتریکی q_1 و q_2 ($|q_1|<|q_2|$) در فاصلهٔ d از یکدیگر قرار داشته باشند و دو سؤال زیر مدنظر باشد:

۱) بار سوم q_3 را در چه نقطه‌ای قرار دهیم تا در حالت تعادل باشد (یا برایند نیروهای الکتریکی وارد بر آن صفر باشد)؟

۲) در کدام نقطه میدان الکتریکی صفر است؟ (البته این سؤال مربوط به بخش بعدی درس است.)

در این صورت دو حالت پیش می‌آید:

۱) بارهای q_1 و q_2 همنام باشند: در این صورت نقطهٔ موردنظر بین دو بار، روی خط واصل و نزدیک به بار با اندازهٔ کوچک‌تر است. در این حالت فاصلهٔ بار سوم از بار کوچک‌تر (x) برابر است با:

$\xrightarrow[q_1 \text{ و } q_2 \text{ همنام}]{|q_2|>|q_1|}$ $x=\dfrac{d}{\sqrt{\dfrac{|q_2|}{|q_1|}}+1}$

۲) بارهای q_1 و q_2 ناهمنام باشند: در این صورت نقطهٔ موردنظر خارج از فاصلهٔ دو بار، روی خط واصل و نزدیک به بار با اندازهٔ کوچک‌تر است. در این حالت فاصلهٔ بار سوم از بار کوچک‌تر (x) برابر است با:

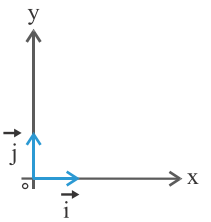
$\xrightarrow[q_1 \text{ و } q_2 \text{ ناهمنام}]{|q_2|>|q_1|}$ $x=\dfrac{d}{\sqrt{\dfrac{|q_2|}{|q_1|}}-1}$

با استفاده از نکتهٔ (۸) فاصلهٔ نقطهٔ موردنظر در این سؤال از بار q_1 برابر است با:

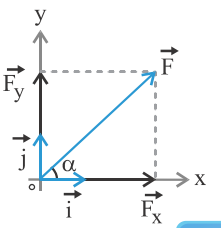
$$x=\frac{d}{\sqrt{\frac{|q_2|}{|q_1|}}+1}=\frac{۴۰}{\sqrt{\frac{۲۷}{۳}}+1}=\frac{۴۰}{\sqrt{۹}+1}=\frac{۴۰}{۳+1}=۱۰\,cm$$

یادآوری ریاضی

نمونهٔ تجزیه‌کردن یک بردار به بردارهای یکه ($\vec{i}$ و $\vec{j}$): دستگاه مختصات مقابل را در نظر بگیرید. بردار یکهٔ $\vec{i}$ روی محور x و در جهت آن (به سمت راست) و بردار یکهٔ $\vec{j}$ روی محور y و در جهت آن (به سمت بالا) قرار دارند و از مبدأ مختصات رسم می‌شوند: واحد $|\vec{i}|=|\vec{j}|=۱$



حال بردار $\vec{F}$ را که با محور xها زاویهٔ α می‌سازد در نظر بگیرید که می‌خواهیم مؤلفه‌های آن را برحسب بردارهای یکه به دست آوریم. از انتهای بردار $\vec{F}$ خط‌های موازی با محورهای x و y رسم می‌کنیم تا آن‌ها را قطع کنند. در این صورت با توجه به شکل داریم:



$$\begin{cases}\cos\alpha=\dfrac{F_x}{F}\Rightarrow F_x=F\cos\alpha\\ \sin\alpha=\dfrac{F_y}{F}\Rightarrow F_y=F\sin\alpha\end{cases}\xrightarrow{\vec{F}=F_x\vec{i}+F_y\vec{j}}\boxed{\vec{F}=F\cos\alpha\,\vec{i}+F\sin\alpha\,\vec{j}}$$

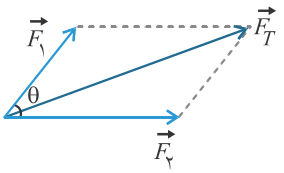
اگر برداری برحسب بردارهای یکه باشد، آن‌گاه بزرگی آن برابر است با:

$\vec{F}=F_x\vec{i}+F_y\vec{j}\rightarrow$ $\boxed{F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}}$

اگر بردار F برحسب بردارهای یکه باشد، آن‌گاه زاویه‌ای که با سوی مثبت محور x می‌سازد (α)، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید که در آن باید F_x و F_y **با علامت** جای‌گذاری شوند:

$\vec{F}=F_x\vec{i}+F_y\vec{j}\rightarrow$ $\boxed{\tan\alpha=\dfrac{F_y}{F_x}}$

توجه **اگر چند بردار برحسب بردارهای یکه داشته باشیم و بخواهیم بردار برایند آن‌ها را برحسب مؤلفه‌های یکه به دست آوریم، کافیست مؤلفه‌های $\vec{i}$ این بردارها را با هم جمع جبری (با علامت) کنیم تا مؤلفهٔ $\vec{i}$ بردار برایند به دست آید و نیز مؤلفه‌های $\vec{j}$ این بردارها را با هم جمع جبری کنیم تا مؤلفه‌های $\vec{j}$ بردار برایند به دست آید.**



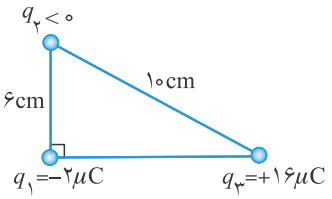
برایند دو بردار به روش متوازی‌الاضلاع: در این روش دو بردار را از یک نقطه رسم می‌کنیم. اگر زاویهٔ بین دو بردار θ باشد، بردار برایند مطابق شکل مقابل به دست می‌آید و اندازهٔ آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_T=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\theta}$$

(F_T: اندازه برایند دو بردار، θ: زاویهٔ بین دو بردار)

توجه اگر دو بردار F_1 و F_2 هم‌اندازه باشند و زاویهٔ بین آن‌ها θ باشد، بزرگی بردار برایند آن‌ها از رابطهٔ $F_T=2F_1\cos\frac{\theta}{2}$ محاسبه می‌شود.

تست ۱۰ در شکل مقابل اندازهٔ نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 در رأس قائمه $45\sqrt{2}\,N$ است. بار q_2 چند میکروکولن و بردار نیروی الکتریکی خالص در SI کدام است؟ $(k=9\times10^9\frac{N.m^2}{C^2})$



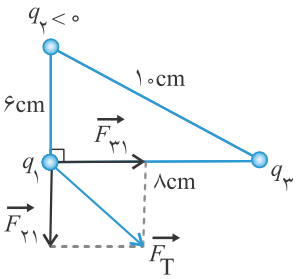
۱) $\vec{F}_T=-45\vec{i}+45\vec{j}$ ، -9

۲) $\vec{F}_T=45\vec{i}-45\vec{j}$ ، -9

۳) $\vec{F}_T=-45\vec{i}+45\vec{j}$ ، -6

۴) $\vec{F}_T=45\vec{i}-45\vec{j}$ ، -6

پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر بار q_1 را از طرف بارهای q_2 و q_3 رسم می‌کنیم با توجه به قضیهٔ فیثاغورس طول ضلع پایینی (یا r_{13}) برابر با ۸cm است. داریم: $\vec{F}_T=\vec{F}_{31}+\vec{F}_{21}\rightarrow\vec{F}_T=F_{31}\vec{i}-F_{21}\vec{j}$

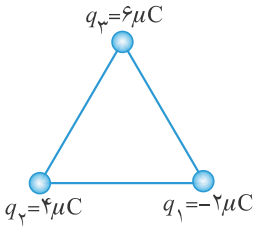


با توجه به گزینه‌ها و با در نظر گرفتن رابطهٔ بالا که مؤلفهٔ $\vec{i}$ مثبت و مؤلفهٔ $\vec{j}$ منفی است، بنابراین یا گزینهٔ «۲» جواب است و یا گزینهٔ «۴». همچنین با توجه به اندازهٔ نیروی خالص و گزینه‌ها F_{21} و F_{31} هر دو برابر با ۴۵N است. پس خواهیم داشت:

بنابراین گزینهٔ «۲» درست است.

روش: $F_{21}=k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}\rightarrow45=90\times\frac{2\times|q_2|}{(6)^2}\rightarrow|q_2|=9\mu C\xrightarrow{q_2<0}q_2=-9\mu C$

تست ۱۱ سه ذرهٔ باردار مطابق شکل روی رأس‌های یک مثلث متساوی‌الاضلاع به ضلع ۶cm قرار دارند. بردار نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 و همچنین اندازهٔ این نیرو برحسب نیوتون به ترتیب از راست به چپ کدام است؟



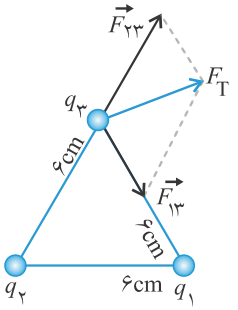
۱) $\vec{F}_T=30\sqrt{3}N$ و $\vec{F}_T=45\vec{i}+15\sqrt{3}\vec{j}$

۲) $\vec{F}_T=30\sqrt{2}N$ و $\vec{F}_T=15\sqrt{3}\vec{i}+45\vec{j}$

۳) $\vec{F}_T=30\sqrt{3}N$ و $\vec{F}_T=45\vec{i}-15\sqrt{3}\vec{j}$

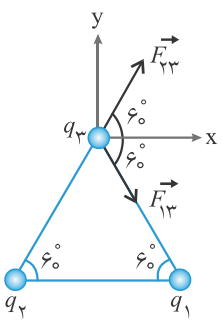
۴) $\vec{F}_T=30\sqrt{2}N$ و $\vec{F}_T=15\sqrt{3}\vec{i}-45\vec{j}$

پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر بار q_3 از طرف بارها q_1 و q_2 را رسم می‌کنیم و سپس اندازهٔ هر یک از این نیروها را محاسبه می‌کنیم.



روش:
$$\begin{cases}F_{13}=k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2}=90\times\frac{2\times6}{6^2}=30N\\ F_{23}=k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}=90\times\frac{4\times6}{6^2}=60N\end{cases}$$

حال زاویهٔ هر یک از نیروهای F_{13} و F_{23} را با محور xها به دست آورده و این بردارها را برحسب بردارهای یکه می‌نویسیم. توجه به شکل، زاویهٔ هر دو بردار با محور x برابر 60° است. داریم:



$$\vec{F}_{13}=+F_{13}\cos60^\circ\vec{i}-F_{13}\sin60^\circ\vec{j}\rightarrow\vec{F}_{13}=(30\times\frac{1}{2})\vec{i}-(30\times\frac{\sqrt{3}}{2})\vec{j}=15\vec{i}-15\sqrt{3}\vec{j}$$

$$\vec{F}_{23}=+F_{23}\cos60^\circ\vec{i}+F_{23}\sin60^\circ\vec{j}\rightarrow\vec{F}_{23}=(60\times\frac{1}{2})\vec{i}+(60\times\frac{\sqrt{3}}{2})\vec{j}=30\vec{i}+30\sqrt{3}\vec{j}$$

توجه علامت‌های + و − ضرایب $\vec{i}$ و $\vec{j}$ را با توجه به جهت بردارها مشخص می‌کنیم (جهت راست و بالا: +، جهت چپ و پایین: −).

بنابراین بردار نیروی برایند (نیروی خالص) وارد بر q_3 برابر است با:

$$\vec{F}_T=\vec{F}_{13}+\vec{F}_{23}\rightarrow \vec{F}_T=(30+15)\vec{i}+(30\sqrt{3}-15\sqrt{3})\vec{j}=45\vec{i}+15\sqrt{3}\,\vec{j}$$

همچنین اندازهٔ بردار برایند برابر است با:

$$F_T=\sqrt{F_{T_x}^2+F_{T_y}^2}=\sqrt{(45)^2+(15\sqrt{3})^2}=\sqrt{(15\times 3)^2+(15\sqrt{3})^2}=15\sqrt{3^2+(\sqrt{3})^2}=15\sqrt{12}=30\sqrt{3}\,N$$

نکته: اگه فقط اندازهٔ نیروی برایند وارد بر q_3 مدنظر بود، چون زاویهٔ بین $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ برابر ۱۲۰ درجس، از رابطهٔ زیر راشتیم:

$$F_T=\sqrt{F_{13}^2+F_{23}^2+2F_{13}F_{23}\cos 120^\circ}=\sqrt{30^2+60^2+2\times 30\times 60\times(\frac{-1}{2})}=\sqrt{2700}=30\sqrt{3}\ N$$

بنابراین گزینهٔ «۱» درست است.

میدان الکتریکی

هر بار الکتریکی در فضای پیرامون خود خاصیتی ایجاد می‌کند که در اثر آن خاصیت، اگر بار الکتریکی دیگری در آن فضا قرار گیرد بر آن نیرو وارد می‌شود. به این خاصیت میدان الکتریکی می‌گویند.

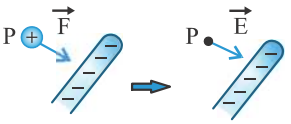
میدان الکتریکی کمیتی برداری است و واحد آن در SI، نیوتون بر کولن $\left(\frac{N}{C}\right)$ یا ولت بر متر $\left(\frac{V}{m}\right)$ است.

تعیین میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی: میدان الکتریکی در هر نقطه برابر است با نیرویی که بر واحد بار آزمون q_0 (بار کوچک و مثبت) وارد می‌شود:

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}\xrightarrow{\text{بزرگی میدان (E)}}E=\frac{F}{|q_0|}$$

توجه: در رابطهٔ برداری فوق، اگر بار داده‌شده منفی باشد باید بار با علامت منفی جای‌گذاری شود.

طبق قرارداد، جهت میدان الکتریکی در جهت نیرویی است که به بار آزمون مثبت وارد می‌شود. به عنوان مثال در شکل مقابل برای مشخص‌کردن بردار میدان در نقطهٔ P یک بار مثبت را در آن‌جا فرض می‌کنیم و نیروی وارد بر آن را رسم می‌کنیم. بردار میدان نیز در جهت همان بردار نیروی رسم شده است.



تست ۱۲ در نقطه‌ای از فضا به بار الکتریکی $-5nC$ نیروی الکتریکی $\vec{F}=(-6\times10^{-4}\vec{i}+8\times10^{-4}\vec{j})N$ وارد می‌شود. اندازهٔ بردار میدان الکتریکی در این نقطه از فضا چند نیوتون بر کولن است و بردار میدان در کدام ربع مختصات قرار می‌گیرد؟

۱) 2×10^5، ربع دوم ۲) 2×10^5، ربع چهارم ۳) 10^5، ربع دوم ۴) 10^5، ربع چهارم

پاسخ راه اول: ابتدا بردار میدان الکتریکی را در این نقطه به دست می‌آوریم. چون بار منفی است باید دقت شود که در رابطهٔ $\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}$، q را منفی جای‌گذاری کنیم:

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}\rightarrow\vec{E}=\frac{(-6\times10^{-4}\vec{i}+8\times10^{-4}\vec{j})N}{-5\times10^{-9}C}=\left(\frac{-6\times10^{-4}}{-5\times10^{-9}}\right)\vec{i}+\left(\frac{8\times10^{-4}}{-5\times10^{-9}}\right)\vec{j}=(1/2\times10^5\vec{i}-1/6\times10^5\vec{j})\frac{N}{C}$$

با توجه به این‌که مؤلفهٔ $\vec{i}$ مثبت و مؤلفهٔ $\vec{j}$ منفی است بنابراین **بردار میدان الکتریکی در ربع چهارم است.**

اندازهٔ میدان الکتریکی در این نقطه برابر است با: $E=\sqrt{E_x^2+E_y^2}=\sqrt{(1/2\times10^5)^2+(1/6\times10^5)^2}=2\times10^5\frac{N}{C}$

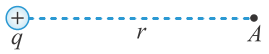
راه دوم: چون بار منفی است و همچنین بردار نیرو در ربع دوم مختصات قرار دارد (با توجه به علامت مؤلفه‌های $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بردار نیرو)، بنابراین بردار میدان الکتریکی باید در ربع چهارم باشد؛ **زیرا بردار میدان الکتریکی در یک نقطه از فضا در خلاف جهت نیرویی است که به بار منفی در آن نقطه وارد می‌شود.** برای محاسبهٔ اندازهٔ میدان الکتریکی، ابتدا اندازهٔ نیرو را به دست می‌آوریم:

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\sqrt{(-6\times10^{-4})^2+(8\times10^{-4})^2}=10\times10^{-4}=10^{-3}N\rightarrow E=\frac{F}{|q|}=\frac{10^{-3}}{5\times10^{-9}}=2\times10^5\frac{N}{C}$$

بنابراین گزینهٔ «۲» درست است.

میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار

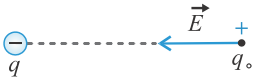
اگر بار آزمون q_0 در نقطهٔ A قرار بگیرد، بار q به آن نیروی $\vec{F}$ را وارد می‌کند، با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی $\vec{F}$ را محاسبه می‌کنیم و با جای‌گذاری در رابطهٔ $\left(E=\frac{F}{q_0}\right)$، بزرگی میدان الکتریکی بار q در نقطهٔ A به فاصلهٔ r از آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:



$$F=k\frac{|q||q_0|}{r^2}\xrightarrow{E=\frac{F}{q_0}}\boxed{E=k\frac{|q|}{r^2}}$$

میدان الکتریکی برخلاف نیروی الکتریکی یک ویژگی ذاتی جسم باردار است و به بار آزمون بستگی ندارد.

نکته: برای تعیین جهت بردار میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطهٔ دلخواهی، بار آزمونی مثبت را به‌طور ذهنی در آن نقطه فرض می‌کنیم و جهت بردار میدان در جهت همان نیرویی است که به آن بار آزمون وارد می‌شود.



تست ۱۳ **بزرگی میدان الکتریکی در فاصلهٔ r از یک ذرهٔ باردار برابر E_1 است. چنان‌چه به اندازهٔ x از این بار دور شویم، بزرگی میدان ۶۴ درصد کاهش می‌یابد. نسبت $\frac{x}{r}$ برابر با کدام گزینه است؟**

۱) $\frac{3}{2}$ ۲) $\frac{1}{4}$ ۳) $\frac{2}{3}$ ۴) $\frac{4}{5}$

پاسخ چون بزرگی میدان ۶۴ درصد کاهش یافته است، بنابراین خواهیم داشت:

$$E_2=E_1-\overset{\text{۶۴ درصد}}{\overset{\uparrow}{0/64}}E_1=0/36E_1$$

$$E=k\frac{|q|}{r^2}\rightarrow\boxed{\frac{E_2}{E_1}=\frac{|q_2|}{|q_1|}\times\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}\rightarrow\frac{36}{100}=1\times\left(\frac{r}{r+x}\right)^2\rightarrow\frac{6}{10}=\frac{r}{r+x}\rightarrow 6r+6x=10r\rightarrow 6x=4r\rightarrow\frac{x}{r}=\frac{2}{3}$$

بنابراین گزینهٔ «۳» درست است.

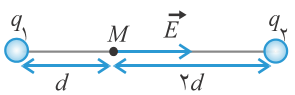
برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی

با استفاده از اصل برهم‌نهی نیروهای کولنی وارد بر بار آزمون q_0، برای به دست آوردن میدان الکتریکی در محل این بار آزمون خواهیم داشت:

$$\vec{F}_{T0}=\vec{F}_{10}+\vec{F}_{20}+\cdots\xrightarrow{\text{تقسیم طرفین بر } q_0}\frac{\vec{F}_{T0}}{q_0}=\frac{\vec{F}_{10}}{q_0}=\frac{\vec{F}_{20}}{q_0}+\cdots\xrightarrow{\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}}\boxed{\vec{E}_T=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\cdots}$$

رابطهٔ فوق که موسوم به اصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی است، نشان می‌دهد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا برابر مجموع برداری میدان‌هایی است که هر بار در نبود سایر بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند.

تست ۱۴ **مطابق شکل میدان الکتریکی خالص ناشی از دو بار الکتریکی q_1 و q_2 در نقطهٔ M برابر E است. اگر بار q_1 را حذف کنیم، میدان الکتریکی در نقطهٔ M برابر $\frac{E}{4}$ در جهت مخالف می‌شود. حاصل $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟**



۱) $\frac{4}{5}$ ۲) $-\frac{4}{5}$ ۳) $\frac{1}{4}$ ۴) $-\frac{1}{4}$

پاسخ با توجه به این‌که با حذف بار q_1 میدان الکتریکی بار q_2 در خلاف‌جهت میدان برایند شده است، بنابراین نتیجه می‌گیریم که میدان بار q_1 در جهت میدان برایند بوده است. **پس دو بار q_1 و q_2 همنام بوده‌اند** زیرا میدان‌های خلاف جهت هم ایجاد کرده‌اند. داریم: