

...مقدمه ناشر...

۱ همیشه اولین انتخاب، بهترین انتخاب نیست!

ما آدم‌ها در مسیر زندگی، گاهی با انتخاب‌هایی روبه‌رو می‌شویم که در لحظه به نظر درست می‌رسند، اما یک جایی متوجه می‌شویم که راه‌های بهتری هم وجود دارد و باید مسیر را عوض کرد. داستان زندگی جی. رابرت اوپنهاইمر، پدر بمب اتم، این نکته را به خوبی یادآوری می‌کند!

در آغاز فیلم اوپنهاইمر که داستان زندگی‌اش را روایت می‌کند، جوانی سرشار از استعداد را می‌بینیم که رؤیای شیمی‌دان شدن در سر دارد، اما این رؤیا چندان به ثمر نمی‌نشیند. شکست‌ها و ناکامی‌ها در شیمی او را ناامید می‌کنند. اما اوپنهاইمر، به جای اصرار بر مسیری که در آن به بن‌بست خورده، به سراغ فیزیک می‌رود و همین تغییر مسیر، دنیای او را دگرگون می‌کند و تا جایی پیش می‌رود که جایزه نوبل فیزیک را دریافت می‌کند. حالا حساب کنید اگر اوپنهاইمر بر انتخاب اول خودش اصرار داشت، به کجا می‌رسید! واقعیت این است که قرار نیست ما آدم‌ها در اولین انتخاب و مسیر خود حتماً موفق شویم! پس هیچ وقت روی چیزی که انتخاب می‌کنید، تعصب نداشته باشید و بدو نیکه مکنه راه بهتری در انتظارتون باشه!

۲ علم بدون مسئولیت اخلاقی، می‌تواند ویرانگر باشد!

در ادامه فیلم اوپنهاইمر، دانشمند جوانی که با تغییر مسیر خود به فیزیک، دنیای علم را متحول می‌کند، به نقطه‌ای می‌رسد که با بزرگ‌ترین اختراعش، بمب اتم، دنیا را به لرزه درمی‌آورد. اوپنهاইمر به قدرت علم و دستاوردهای علمی خود ایمان دارد، اما پس از نخستین انفجار اتمی، وقتی تأثیر مخرب و مرگبار این سلاح را درک می‌کند، زندگی‌اش دیگر مثل گذشته نیست. او با چالشی اخلاقی روبه‌رو می‌شود؛ چالشی که نه از جنس فرمول‌ها و معادلات، بلکه از جنس مسئولیت انسانی و تأثیرات عملی علم است. تصور کنید اگر دانشمندان از جمله اوپنهاইمر بدون در نظر گرفتن عواقب کارهایشان دست به چنین اختراعاتی می‌زدند، چه اتفاقی برای بشریت می‌افتاد! حقیقت این است که علم، قدرتی عظیم به انسان می‌دهد، اما وقتی این قدرت بدون تعهد و درک درست از پیامدهایش به کار گرفته شود، می‌تواند به جای پیشرفت، ویرانی و نابودی به همراه داشته باشد.

پس یادرتون بمونه علم و دانشی که کسب می‌کنید، ابزاریه که باید اون رو در راه درست به کار بگیرید. دانش وقتی ارزشمندیه که در مسیر قیر و پیشرفت جامعه انسانی باشه، نه برعکس.

نتیجه داستان اوپنهاইمر به ما می‌آموزد که در مسیر علم و انتخاب‌های زندگی، همیشه منعطف و هوشیار باشیم. گاهی تغییر مسیرها، ما را به مقصدهای ارزشمندتری می‌رسانند. هم‌چنین، هر دستاورد علمی مسئولیتی سنگین به همراه دارد. وظیفه شما این است که این دانش را به گونه‌ای به کار بگیرید که هم برای خودتان و هم برای دیگران، نتایج مثبتی به همراه داشته باشد. از این حرف‌ها که بگذریم، می‌رسیم به کتاب فیزیک جامع نردبام! در این کتاب کلی سؤال جدید و متنوع و خلاقانه می‌بینید که تا این لحظه، مشابهش را جایی ندیدید! تبلیغ الکی نمی‌کنم، یه کم که با کتاب جلو برید، متوجه حرفم خواهید شد!

کلاً این کتاب را خیلی دوست دارم، چون حاصل یک کار تیمی خوب از مؤلفان خلاق و کاردرسته! از همه دوستان به شدت تشکر می‌کنم، چون برای نوشتن این کتاب بیش از یک سال زحمت کشیدند!

از یگانه فلاحي هم خیلی خیلی ممنونم که کارهای این کتاب را به خوبی و با دلسوزی هر چه تمام جلو برد! و در نهایت، از شما دانش‌آموزان عزیز که با اعتماد به خیلی سبز، این کتاب را برای یادگیری انتخاب کردید، ممنونیم. امیدواریم فیزیک جامع نردبام بتواند همراه مطمئنی در مسیر موفقیتتان باشد و کمک کند به آن چیزی که شایسته‌اش هستید، برسید!

به امید موفقیت و یادگیری‌های بزرگ

...مقدمه مؤلفان...

۱ آغاز

چند سال پیش به سریال آلمانی در ژانر علمی - تخیلی به نام دارک (DARK) سافته شد. توی این سریال مفاهیم فلسفی نظیر اختیار و سرنوشت در لابه‌لای پرفه پی‌انتهایی از مفاهیم فیزیکی زمان و مکان وارد می‌شه و داستانی پیچیده و پندلایه رو توصیف می‌کنه. یکی از دیالوگ‌های موهی که در کل سریال، دو، سه بار توی سکانس‌های مختلف تکرار شد، این بود:

آدام: «اون چیزهایی که می‌دونیم قطره است و اون چیزهایی که نمی‌دونیم اقیانوس»
یوناس: یعنی چی؟!

یعنی ما نادانیم و برای ندانسته‌هامون هد مشفق و بود نداره. اولین گام برای رشد، پذیرفتن همین واقعیت است. همون‌طور که سقراط با جمله معروف «هی‌دانم که نمی‌دانم» به ما گوشزد می‌کنه که دانایی حقیقی، آگاهی از نادانی خود هست و این، نقطه آغاز هست و هوهاست. همین نادانیه که باعث می‌شه درک برخی مفاهیم برامون دشوار باشه. در واقع نادانی علت است و دشواری درک مفاهیم معلول. نه فقط در درس، بلکه در همه ابعاد زندگی از رویارویی با مسائل و چالش‌های دشوار نباید بترسید. نترسیدن از ندانستن، شهامت پرسیدن و یادگرفتن رو به ارمغان میاره. یادتون باشه که فکر کردن روی مسئله، تحلیل داده‌ها و فواسته‌ها و در نهایت ایده‌پردازی برای حل اون مسئله، هم باعث رشد فردی و گسترش توانایی ذهنی شما می‌شه و هم با دانشی که به دست میارید، دیگه حل اون مسئله براتون دشوار نخواهد بود.

۲ شالوده کتاب

البته که هدف اصلی ما صحبت راجع به کتاب فیزیک جامع نردبام است. هنگام تألیف این کتاب دغدغه ما این بود که اساساً یک تست دشوار، باید چگونه شکل بگیرد؟!

دشواری بودن یک تست مانند اغلب مفاهیم دیگر نسبی است؛ هم از نقطه‌نظر فردی و هم زمانی.

یعنی حل یک تست برای برخی از شما آسان و برای برخی دیگر، دشوار است. هم‌چنین تستی که در کنکور ۲۰ سال پیش دشوار محسوب می‌شد، الان دیگر دشوار نیست. با این حال، ما برای تألیف این کتاب، نیاز به تعریف یک چارچوب داشتیم. برای طراحی تست‌های این کتاب، دشواری تست‌ها را در قالب چهار ویژگی زیر پیاده‌سازی کردیم:

- ۱- پرداختن به مفاهیم: برای پاسخ‌دادن به این تست‌ها باید خیلی فکر کنید و تحلیل عمیقی داشته باشید.
- ۲- پرداختن به محاسبات نسبتاً طولانی و چندمرحله‌ای: برای پاسخ‌دادن به این تست‌ها علاوه بر تحلیل، باید با محاسبات ریاضی نسبتاً طولانی دست و پنجه نرم کنید.
- ۳- پرداختن به تست‌های ترکیبی: این تست‌ها از ترکیب دو یا چند مبحث مختلف طراحی شده‌اند و شما برای پاسخ‌دادن به آن‌ها باید روی همه مباحث درگیر، تسلط پیدا کنید.
- ۴- پرداختن به نقاط پنهان: این تست‌ها نقاطی از کتاب درسی را هدف قرار می‌دهند که معمولاً خیلی به آن‌ها پرداخته نمی‌شود. در چند سال اخیر سر و کله این تست‌ها در کنکور پیدا شده است.

۳ ساختار و ویژگی‌های کتاب

- ۱- تست‌های این کتاب براساس ترتیب موضوعی کتاب درسی طبقه‌بندی شده است.
- ۲- ورود شما به هر موضوع با تست‌های متوسط رو به آسان است و سطح تست‌ها به مرور دشوارتر می‌شوند.
- ۳- علاوه بر تست‌های تألیفی، تست‌های دشوار کنکورهای چند سال اخیر را شبیه‌سازی کردیم یا از زاویه‌ای دیگر به آن‌ها نگاه کردیم تا خیالتان از این بابت هم راحت باشد.

۴- چگالی تست‌ها در هر مبحث، براساس اهمیت آن مبحث در کنکور است. مباحث مهم‌تر و تست‌خیزتر، درصد بیشتری از تست‌ها را به خود اختصاص داده است.

۵- در پاسخ تست‌ها سعی کردیم توضیحاتمان حوصله‌سبر نباشد و به توصیف بدیهیات نپردازیم. به قول معروف «یه راست رفتیم سر اصل مطلب».

۶- در پاسخ تست‌ها، هر جا نیاز بود از آیکن‌هایی با هدف مشخص مانند استراتژی، نکته، تیزباز و ... استفاده کردیم.

۴ دو نکته مهم راجع به کتاب

■ در این کتاب تلاش کردیم پایمان را از کتاب درسی و کنکور فراتر نگذاریم. برای حل تست‌های این کتاب به دانشی در حد کتاب درسی و کنکور، اما درکی عمیق‌تر و مهارت‌های ریاضی بیشتر، نیاز دارید. یعنی قرار نیست که زمان و انرژی‌تان برای حل سؤال‌های خارج از اهداف کتاب درسی و کنکور تلف شود.

■ این کتاب برای داوطلبان سخت‌کوش که به تست‌های دشوارتر نیاز دارند، تألیف شده است. ما معتقدیم که این افراد قبل از استفاده از این کتاب، مباحث درسی را خوانده‌اند به همین دلیل بخشی با عنوان درس‌نامه در این کتاب نمی‌بینید، اما در پاسخ تست‌ها نکات مهمی که داوطلب باید بداند را آورده‌ایم.

۵ تشکر و قدردانی

دکتر کمیل نصری که همیشه می‌فواد بهترین باشیم.

مهندس رضا سبزمیدانی که همیشه هست، وقتی به راهنمایی‌هاشون نیاز داریم.

آقای ایمان سلیمان‌زاده که همیشه تلاش می‌کنه کتاب‌های نردبام توی اوج باشه.

مهندس مهدی بقایی که همیشه تأکید می‌کنه که منظم باشیم و کتاب‌ها رو سر وقت برسونیم.

آقایان سهیل سمایی، فرشید اعرابی و تک‌تک پر و پفه‌های واحد تولید که همیشه زحمت‌کش‌ترین‌اند.

فانم‌ها یگانه فلاچی و الهه آرائی که همیشه پیگیر و نگران بودند تا همه چی طبق برنامه‌ریزی پیش بره.

ویراستارهای علمی کتاب که همیشه تیزبین‌ترین‌اند.

فانواده‌هامون که همیشه از خودگذشتگی می‌کنند تا لفظه‌هایی که باید با اون‌ها سپری بشه رو صرف تألیف کتاب کنیم.

۶ پایان

بیان این موضوع ضروری است که هیچ کتابی کامل نیست و حتماً نقطه‌ضعف‌ها و اشکال‌هایی دارد، چون فقط در این صورت است که ارتقا و پیشرفت معنی پیدا می‌کند. اگر در جایی از کتاب اشکال علمی، محاسباتی و نگارشی دیدید یا پیشنهادی داشتید، ممنون می‌شویم که آن را از طریق آدرس تلگرام زیر با ما در میان بگذارید.

📞 @edit-kheilisabz

تقدیم به...

■ همسر عزیزم پرستو «احمد مصلائی»

■ انسان‌هایی که بخشی از زمانشان را به تفکر، افزایش آگاهی و ایجاد نگرش متفاوت و جدید اختصاص می‌دهند.

«امین امینی»

■ ر- س «مجید ساکی»

■ روان‌پدرم که بسیاری مانند من را در نوجوانی با زیبایی دانش فیزیک آشنا کرده بود و پیشکش به دوستداران این

زیبایی «شاهین اقبال»

■ عاشقان سخت‌کوش فیزیک «جمال خمخاجی»

■ آن‌هایی که دوستشان دارم «محمد توکلی»

...>فهرست<...

فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری	۷
فصل دوم: ویژگی‌های فیزیکی مواد	۱۲
فصل سوم: کار، انرژی و توان	۲۸
فصل چهارم: دما و گرما	۳۸
فصل پنجم: الکتریسیته ساکن	۴۹
فصل ششم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم	۶۶
فصل هفتم: مغناطیس و القای الکترومغناطیسی	۸۴
فصل هشتم: حرکت بر خط راست	۱۰۲
فصل نهم: دینامیک	۱۲۹
فصل دهم: نوسان و امواج	۱۴۹
فصل یازدهم: آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای	۱۸۲
پاسخ‌نامه تشریحی	۱۹۶
پاسخ‌نامه کلیدی	۵۳۴

الکتریسیتہ ساکن



پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۳۸۹- مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم X دو بار یونیده (X^{2+})، برابر با $C \times 10^{-19} - 9/6$ است. X کدام یک از عنصرهای زیر است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$) (برگرفته از کتاب درسی)

- (۱) $C \times 10^{-23} \times 6$ (عدد آووگادرو) (۲) $O \times 10^{-18} \times 4$ (۳) $N \times 10^{-19} \times 9$ (۴) $Be \times 10^{-19} \times 9$

۳۹۰- مجموع بار الکتریکی الکترون‌های موجود در 90 cm^3 آب (خنثی) چند کولن است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)، $\rho_{\text{آب}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ و مولکول مول

- (۱) $-4/8 \times 10^{-5}$ (۲) $-4/8 \times 10^{-6}$ (۳) $-9/6 \times 10^{-5}$ (۴) $-9/6 \times 10^{-6}$

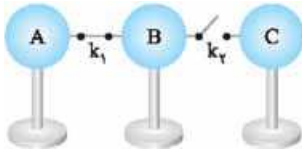
۳۹۱- با انتقال $1/5 \times 10^{13}$ الکترون به یک جسم، اندازه بار الکتریکی آن نصف می‌شود. بار اولیه جسم چند میکروکولن می‌تواند باشد؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

- (۱) $-0/8$ (۲) $1/6$ (۳) $2/4$ (۴) $-4/8$

۳۹۲- دو ذره با بارهای q و $-q$ در اختیار داریم ($q > 0$). اگر 3×10^{14} الکترون از ذره باردار مثبت برداشته و نصف آن را به ذره دیگر بدهیم، اندازه یکی از بارها ۲۰ درصد بزرگ‌تر از اندازه بار دیگر می‌شود. تعداد الکترون‌های بار $-q$ کدام است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

- (۱) 3×10^{14} (۲) 6×10^{14} (۳) $1/2 \times 10^{15}$ (۴) $2/4 \times 10^{15}$

۳۹۳- سه کره رسانای باردار و مشابه A ، B و C ، مطابق شکل زیر روی پایه‌های عایقی قرار دارند. اگر ابتدا کلید k_2 را بسته و سپس کلید k_1 را باز کنیم، بار کره B نصف می‌شود. اگر ابتدا کلید k_1 را باز و سپس کلید k_2 را ببندیم، بار کره B چند برابر می‌شود؟



- (۱) ۱ (۲) $1/3$ (۳) $1/4$ (۴) $3/4$

۳۹۴- یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم و آن را به کلاهک الکتروسکوپ خنثایی از جنس برنج نزدیک می‌کنیم. با توجه به سری الکتروسیسته مالشی مقابل، بار خالص میله پلاستیکی و الکتروسکوپ به ترتیب از راست به چپ چگونه است؟

انتهای مثبت سری
پشم
برنج
پلاستیک
انتهای منفی سری

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

۳۹۵- سه کره خنثی و مشابه را مطابق شکل در تماس با هم قرار داده و یک میله با بار منفی را به کره A نزدیک می‌کنیم. کره B را برمی‌داریم و سپس میله را از کره‌ها دور می‌کنیم. اگر به ترتیب کره B را به C و سپس کره B را با A تماس دهیم، بار نهایی کره B ، $4 \mu C$ می‌شود. بار نهایی کره C چند میکروکولن خواهد شد؟



- (۱) -8 (۲) $+8$ (۳) -4 (۴) $+4$

۳۹۶- یک میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش داده و مطابق شکل مقابل به کلاهک الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک می‌شوند. بار میله و الکتروسکوپ به ترتیب از راست به چپ کدام است؟



- (۱) منفی، منفی (۲) منفی، مثبت
(۳) مثبت، مثبت (۴) مثبت، منفی

۳۹۷- شعله شمعی را به کلاهک الکتروسکوپی که به طور منفی باردار شده، نزدیک می‌کنیم. فاصله بین ورقه‌های الکتروسکوپ چگونه تغییر می‌کند؟ (۱) کاهش می‌یابد. (۲) افزایش می‌یابد. (۳) تغییر نمی‌کند. (۴) ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد.

۳۹۸- دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = 2 \mu C$ و $q_2 = -8 \mu C$ به ترتیب در مکان‌های $(2 \text{ cm}, -2 \text{ cm})$ و $(8 \text{ cm}, 6 \text{ cm})$ ثابت شده‌اند. اندازه نیروی

الکتریکی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$)

- (۱) $14/4$ (۲) 10 (۳) 36 (۴) $38/5$

۳۹۹- دو جسم (۱) و (۲) با بارهای q_1 و $q_2 = -2q_1$ و جرم‌های $m_1 = 20 \text{ g}$ و $m_2 = 80 \text{ g}$ روی محوری در فاصله 20 cm از یکدیگر ثابت نگه داشته شده‌اند. این دو جسم را رها می‌کنیم. اگر بزرگی شتاب دو جسم در لحظه رهاشدن برابر $a_1 = 360 \text{ m/s}^2$ و a_2 باشد، q_2 برحسب میکروکولن و a_2

برحسب متر بر مربع ثانیه کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ و به دو جسم فقط نیروی الکتریکی وارد می‌شود).

- (۱) $80/4$ (۲) $90/4$ (۳) $90/8$ (۴) $180/8$

۴۰۰- دو ذره با بارهای الکتریکی هم‌نام و برابر در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از یکدیگر قرار دارند و نیرویی برابر با ۱ N بر هم وارد می‌کنند. اگر بار $2 \mu\text{C}$ را از یک ذره به ذره دیگر منتقل کنیم، نیرویی که دو ذره در همان فاصله قبلی به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون می‌شود؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$)

(۱) $0/4$ (۲) $0/6$ (۳) $1/4$ (۴) $1/6$

۴۰۱- دو گلوله کوچک رسانای A و B دارای بارهای $q_A = 2 \text{ nC}$ و $q_B = 10 \text{ nC}$ هستند. کدام راهکار زیر باعث می‌شود اندازه نیروی دافعه الکتریکی بین دو گلوله بیشینه شود؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

- (۱) انتقال $2/5 \times 10^{-10}$ الکترون از گلوله A به گلوله B
(۲) انتقال $2/5 \times 10^{-10}$ الکترون از گلوله B به گلوله A
(۳) انتقال 5×10^{-10} الکترون از گلوله A به گلوله B
(۴) انتقال 5×10^{-10} الکترون از گلوله B به گلوله A

۴۰۲- بار الکتریکی $q_1 = 2 \mu\text{C}$ از فاصله ۱۵ سانتی‌متری بر بار q میکروکولنی، نیروی F نیوتون را وارد می‌کند و بار $2q$ میکروکولنی، از فاصله ۱۰ سانتی‌متری، بار $q_2 = 3 \mu\text{C}$ را با نیروی ($F + 46$) نیوتون دفع می‌کند. نیرویی که بارهای q_1 و q_2 از فاصله ۲۰ سانتی‌متری به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون و از چه نوع است؟

- (۱) ۲۵، جاذبه (۲) ۲۵، دافعه (۳) ۲۷، جاذبه (۴) ۲۷، دافعه

۴۰۳- مطابق شکل دو بار نقطه‌ای در فاصله معینی از هم قرار دارند. چند درصد از بار q_1 را به بار q_2 انتقال دهیم تا وقتی فاصله دو بار ۲۰ درصد افزایش می‌یابد، اندازه نیروی الکتریکی بین دو بار ۶۰ درصد کاهش یابد؟

- (۱) ۲۸ (۲) ۴۰ (۳) ۲۰ (۴) ۵۶
- $q_1 = 70 \mu\text{C}$ $q_2 = -50 \mu\text{C}$

۴۰۴- دو گلوله مشابه که اندازه بار یکی، ۵ برابر دیگری است، در فاصله معینی از هم، یکدیگر را با نیروی $\vec{F}$ جذب می‌کنند. اگر دو گلوله را با هم تماس داده و در همان فاصله قرار دهیم، چه نیرویی به یکدیگر وارد می‌کنند؟

- (۱) $\frac{4}{5} \vec{F}$ (۲) $-\frac{4}{5} \vec{F}$ (۳) $\frac{9}{5} \vec{F}$ (۴) $-\frac{9}{5} \vec{F}$

۴۰۵- دو گلوله رسانای مشابه در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از هم قرار دارند و به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی 108 N وارد می‌کنند. گلوله‌ها توسط سیم رسانای نازکی به هم وصل می‌شوند. وقتی که سیم برداشته شود، گلوله‌ها به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی 36 N وارد می‌کنند. کدام یک از مقادیر زیر (بر حسب میکروکولن) می‌تواند بار اولیه روی گلوله‌ها باشد؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$)

- (۱) $5/0$ و 6 (۲) $5/0$ و -6 (۳) -1 و 3 (۴) 1 و 3

۴۰۶- دو گوی رسانای کوچک و یکسان دارای بارهای الکتریکی هم‌نام q_1 و q_2 هستند و در فاصله معینی از هم قرار دارند. اگر دو گوی را با هم تماس دهیم و در همان فاصله قرار دهیم، نیروی الکتریکی که بر هم وارد می‌کنند، ۸۰ درصد تغییر می‌کند. اگر بار ابتدایی گوی‌ها همان اندازه ولی ناهم‌نام بود، با تماس آن‌ها به یکدیگر نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند درصد و چگونه تغییر می‌کرد؟

- (۱) ۲۰، کاهش (۲) ۲۰، افزایش (۳) ۲۵، کاهش (۴) ۲۵، افزایش

۴۰۷- در شکل، دو کره رسانای کوچک و مشابه با بارهای الکتریکی $q_1 = -24 \mu\text{C}$ و $q_2 = -6 \mu\text{C}$ در فاصله ۱۶ cm از یکدیگر در حالت تعادل قرار دارند. کره بالایی را به کره پایینی تماس داده و رها می‌کنیم. در حالت تعادل جدید، فاصله دو کره از یکدیگر نسبت به حالت قبل، چگونه تغییر می‌کند؟ (دیواره ظرف نارسانا و بدون اصطکاک است و تبادل بار فقط بین کره‌ها صورت می‌گیرد.) (برگرفته از کتاب درسی)

- (۱) ۴ cm افزایش می‌یابد. (۲) ۴ cm کاهش می‌یابد.
(۳) ۹ cm کاهش می‌یابد. (۴) ۹ cm افزایش می‌یابد.

۴۰۸- مطابق شکل، گلوله‌ای به جرم 100 g و بار $q_1 = +20 \mu\text{C}$ به انتهای نخ‌ی که حداکثر می‌تواند نیروی کشش 7 N را تحمل کند، آویخته شده است. گلوله دیگری با بار q_2 را در راستای نخ و به فاصله ۳۰ سانتی‌متری بار q_1 قرار می‌دهیم. بار q_2 (با حداکثر اندازه ممکن) چند میکروکولن باشد تا نخ در همین وضعیت پاره نشود؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$, $g = 10 \text{ N/kg}$)

- (۱) ۳ (۲) ۶ (۳) -۳ (۴) -۶

۴۰۹- دو گلوله رسانای مشابه با بار $40 \mu\text{C}$ به وسیله دو نخ هم‌طول ۱ متری به نقطه‌ای از سقف آویخته شده‌اند و گلوله‌ها در وضعیتی که نخ‌ها بر هم عمودند، به حال تعادل قرار دارند. نیروی کشش هر یک از نخ‌ها چند نیوتون است؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$, $g = 10 \text{ N/kg}$)

- (۱) $7/2$ (۲) $7/2\sqrt{2}$ (۳) $14/4$ (۴) $14/4\sqrt{2}$



۴۱۰- وزنه‌ای به جرم 20 g را به انتهای فنر سبکی به طول 40 cm بسته و از سقف آویزان می‌کنیم. در این حالت طول فنر به 50 cm می‌رسد. سپس دو ذره با بار مثبت و هم‌اندازه را به دو انتهای فنر بسته و مجموعه را روی سطح افقی بدون اصطکاکی رها می‌کنیم. اگر طول فنر در این حالت به 45 cm برسد، بار هر یک از ذره‌ها چند میکروکولن است؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ و $g = 10\text{ m/s}^2$ و انتقال بار نداریم).

$$\frac{3\sqrt{2}}{4} \text{ (۱)} \quad 1/5 \text{ (۲)} \quad 7/5\sqrt{2} \text{ (۳)} \quad 15 \text{ (۴)}$$

۴۱۱- سه گلولهٔ رسانای مشابه و کوچک A ، B و C در اختیار داریم که دو گلولهٔ اول، حامل بار q و گلولهٔ سوم (C) خنثی می‌باشد. گلوله‌های A و B در فاصلهٔ r از هم با نیروی $F = 16\text{ N}$ یکدیگر را دفع می‌کنند. گلولهٔ C را ابتدا به گلولهٔ A و سپس به گلولهٔ B تماس می‌دهیم و آن را در وسط پاره‌خط واصل دو گلولهٔ A و B قرار می‌دهیم. اندازهٔ نیروی الکتریکی خالص وارد بر گلولهٔ C چند نیوتون است؟

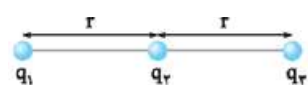
$$12 \text{ (۱)} \quad 24 \text{ (۲)} \quad 48 \text{ (۳)} \quad 60 \text{ (۴)}$$

۴۱۲- در شکل مقابل، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q برابر $\vec{F}$ است. اگر بار q_1 حذف شود، نیروی الکتریکی وارد بر بار q برابر $-\vec{F}$ می‌شود. نسبت $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟



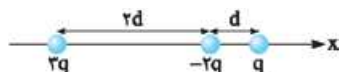
$$1/5 \text{ (۱)} \quad 4/5 \text{ (۲)} \quad -4/5 \text{ (۳)} \quad -1/5 \text{ (۴)}$$

۴۱۳- مطابق شکل زیر، سه ذرهٔ باردار روی محوری قرار دارند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_1 برابر $\vec{F}$ است. اگر با ثابت ماندن فاصلهٔ بارهای q_1 و q_2 ، بار q_2 به سمت چپ بار q_1 منتقل شود، نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_1 برابر $-\frac{7}{3}\vec{F}$ می‌شود. $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟



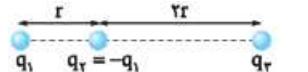
$$\frac{5}{8} \text{ (۱)} \quad -\frac{5}{8} \text{ (۲)} \quad \frac{8}{5} \text{ (۳)} \quad -\frac{8}{5} \text{ (۴)}$$

۴۱۴- در شکل مقابل، سه ذرهٔ باردار روی محور x قرار دارند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $3q$ برابر $\vec{F}$ است. اگر بار $3q$ روی محور x به اندازهٔ $\frac{rd}{5}$ به بار $2q$ نزدیک شود، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $2q$ ، کدام می‌شود؟



$$\frac{13}{3}\vec{F} \text{ (۱)} \quad -\frac{13}{3}\vec{F} \text{ (۲)} \quad -\frac{13}{7}\vec{F} \text{ (۳)} \quad \frac{13}{7}\vec{F} \text{ (۴)}$$

۴۱۵- در شکل زیر، بزرگی نیروهای الکتریکی خالصی که به بارهای q_2 و q_3 وارد می‌شوند، هم‌اندازه و هم‌جهت‌اند. حاصل $\frac{q_2}{q_1}$ کدام است؟



$$9 \text{ (۱)} \quad -9 \text{ (۲)} \quad \frac{18}{7} \text{ (۳)} \quad -\frac{18}{7} \text{ (۴)}$$

۴۱۶- در شکل زیر، دو بار الکتریکی q_1 و q_2 در فاصلهٔ 9 سانتی‌متری از یکدیگر روی محور x قرار دارند. بار $q_1 = 2\text{ }\mu\text{C}$ را در نقطه‌ای قرار می‌دهیم که به حال تعادل قرار بگیرد. اگر 25% درصد از بار q_2 را به بار q_1 انتقال دهیم، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 چند نیوتون می‌شود؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$)



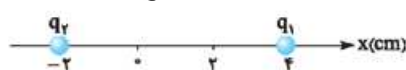
$$12/5\vec{i} \text{ (۱)} \quad -12/5\vec{i} \text{ (۲)} \quad 50\vec{i} \text{ (۳)} \quad -50\vec{i} \text{ (۴)}$$

۴۱۷- در شکل زیر دو بار الکتریکی q_1 و q_2 در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند. بار $q_3 = 1\text{ }\mu\text{C}$ را در نقطه‌ای قرار می‌دهیم که به حال تعادل قرار بگیرد. در این وضعیت اگر بردار نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_1 برابر $\vec{F}$ باشد، بردار نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_2 کدام است؟



$$\vec{F} \text{ (۱)} \quad -\vec{F} \text{ (۲)} \quad 2\vec{F} \text{ (۳)} \quad -2\vec{F} \text{ (۴)}$$

۴۱۸- دو بار الکتریکی $q_1 = 1\text{ }\mu\text{C}$ و q_2 در مکان‌های نشان داده شده در شکل زیر روی محور x ثابت شده‌اند. اگر بار $q_3 = 2\text{ }\mu\text{C}$ را در مکان $x = 2\text{ cm}$ قرار دهیم، به حال تعادل قرار می‌گیرد. اگر همین بار را در مکان $x = 6\text{ cm}$ قرار دهیم، نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$)



$$(-33/75\text{ N})\vec{i} \text{ (۱)} \quad (33/75\text{ N})\vec{i} \text{ (۲)} \quad (56/25\text{ N})\vec{i} \text{ (۳)} \quad (67/5\text{ N})\vec{i} \text{ (۴)}$$

۴۱۹- مطابق شکل زیر، نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر یک از ذره‌های باردار صفر است. اگر بار q_3 در مکان $x = 8\text{ cm}$ قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 چند برابر بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 می‌شود؟



$$\frac{5}{12} \text{ (۱)} \quad \frac{1}{2} \text{ (۲)} \quad 2 \text{ (۳)} \quad \frac{12}{5} \text{ (۴)}$$



۴۲۰- در شکل زیر، اگر بار q_3 را روی محور x و در فاصله ۲۴ سانتی‌متری از بار q_2 قرار دهیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر سه بار صفر می‌شود. اگر

$$|q_3| = 144 \mu\text{C} \text{ باشد، نیروی الکتریکی که بار } q_3 \text{ به بار } q_1 \text{ وارد می‌کند، کدام است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$



$$(720 \text{ N}) \vec{i} \quad (1)$$

$$(-720 \text{ N}) \vec{i} \quad (2)$$

$$(-810 \text{ N}) \vec{i} \quad (3)$$

$$(720 \text{ N}) \vec{i} \quad (1)$$

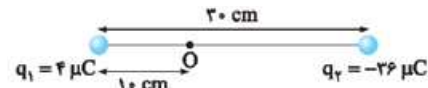
$$(-720 \text{ N}) \vec{i} \quad (2)$$

$$(-810 \text{ N}) \vec{i} \quad (3)$$

۴۲۱- بارهای نقطه‌ای $5 \mu\text{C}$ و $-8 \mu\text{C}$ روی محور x ، به ترتیب در نقطه‌های $x_1 = 12 \text{ cm}$ و $x_2 = 24 \text{ cm}$ قرار دارند. اگر بارهای نقطه‌ای q_3 و q_4 به ترتیب در نقطه‌های $x_3 = 36 \text{ cm}$ و $x_4 = 0$ قرار گیرند، نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_4 صفر می‌شود. نیروی الکتریکی که q_2 به q_3 وارد می‌کند،

$$\text{در SI کدام است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \quad (1) \quad 120 \vec{i} \quad (2) \quad -120 \vec{i} \quad (3) \quad 135 \vec{i} \quad (4) \quad -135 \vec{i}$$

۴۲۲- مطابق شکل زیر، سه ذره باردار روی محوری قرار دارند و بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر یک از سه ذره برابر صفر است. اگر جای بارهای q_2 عوض شود، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 چند برابر بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 می‌شود؟ (مشابه تهری ۱۱۴۰۰)



$$15 \quad (2)$$

$$17 \quad (4)$$

$$\frac{257}{16} \quad (1)$$

$$\frac{257}{15} \quad (3)$$

۴۲۳- بارهای نقطه‌ای q_1 و q_2 روی محور x به ترتیب در نقطه‌های $x_1 = 2 \text{ cm}$ و $x_2 = 12 \text{ cm}$ قرار دارند. اگر بار نقطه‌ای $q_3 = 2 \mu\text{C}$ در نقطه $x_3 = 6 \text{ cm}$ قرار بگیرد، نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن $\vec{F}_3 = (60 \text{ N}) \vec{i}$ و اگر در نقطه $x'_3 = 14 \text{ cm}$ قرار بگیرد، نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن

$$\vec{F}'_3 = (-130 \text{ N}) \vec{i} \text{ می‌شود. } q_1 \text{ چند میکروکولن است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$

$$-4 \quad (4)$$

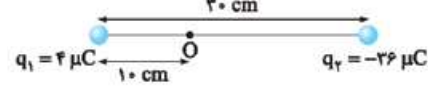
$$4 \quad (3)$$

$$-3 \quad (2)$$

$$3 \quad (1)$$

۴۲۴- مطابق شکل زیر دو بار الکتریکی q_1 و q_2 روی محوری قرار دارند. بار الکتریکی q_3 را در نقطه‌ای روی این محور قرار می‌دهیم تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر سه بار برابر صفر شود. اگر بار $q_4 = 5 \mu\text{C}$ در نقطه O قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن چند نیوتون

$$\text{است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \quad (1) \quad 52/02 \quad (2) \quad 58/4 \quad (3) \quad 64/98 \quad (4) \quad 71/2$$



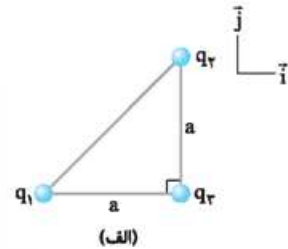
$$58/4 \quad (2)$$

$$71/2 \quad (4)$$

$$52/02 \quad (1)$$

$$64/98 \quad (3)$$

۴۲۵- سه بار الکتریکی نقطه‌ای q_1 ، q_2 و q_3 را یک بار مطابق شکل (الف) و بار دیگر مطابق شکل (ب) در مکان‌های مشخص شده، ثابت می‌کنیم. اگر نیروی خالص وارد بر بار q_3 در شکل (الف)، $\vec{F} = (20 \text{ N}) \vec{i} + (30 \text{ N}) \vec{j}$ باشد، نیروی خالص وارد بر همین بار در شکل (ب) کدام است؟



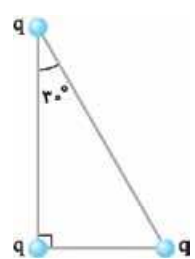
$$(25 \text{ N}) \vec{i} \quad (1)$$

$$(-25 \text{ N}) \vec{i} \quad (2)$$

$$(35 \text{ N}) \vec{i} \quad (3)$$

$$(-35 \text{ N}) \vec{i} \quad (4)$$

۴۲۶- مطابق شکل زیر، سه بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازه در سه رأس مثلث قرار گرفته‌اند و بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q واقع در رأس قائمه برابر با $4\sqrt{5} \text{ N}$ است. اگر بار چهارم q در وسط وتر مثلث قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن چند نیوتون می‌شود؟



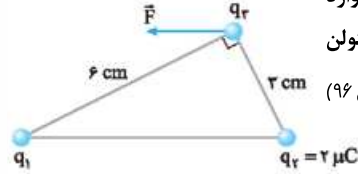
$$6\sqrt{2} \quad (1)$$

$$6\sqrt{10} \quad (2)$$

$$12\sqrt{2} \quad (3)$$

$$12\sqrt{10} \quad (4)$$

۴۲۷- مطابق شکل زیر، سه بار نقطه‌ای روی سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای قرار دارند. $\vec{F}$ نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 ، موازی خط واصل بارهای q_1 و q_2 و بزرگی آن $30\sqrt{5} \text{ N}$ است. به ترتیب q_1 و q_2 چند میکروکولن هستند؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$



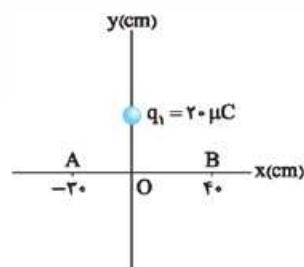
$$1/5, -16 \quad (2)$$

$$1/5, -4 \quad (4)$$

$$6, -16 \quad (1)$$

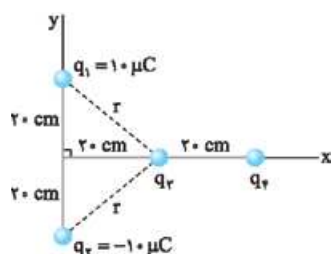
$$6, -4 \quad (3)$$





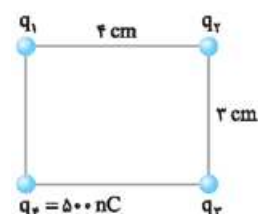
۴۲۸- در شکل مقابل، اگر بار q_1 را در نقاط A و B قرار دهیم، به ترتیب با نیروهای الکتریکی ای به بزرگی 5 N و $3/6\text{ N}$ ، بار q_1 را دفع می‌کند. q_2 چند میکروکولن است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

- ۴ (۱)
- ۵ (۲)
- ۱۵ (۳)
- ۳۰ (۴)



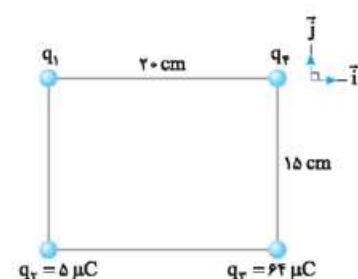
۴۲۹- چهار ذره باردار مطابق شکل قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 برابر $(9\sqrt{2}\text{ N})\vec{j} + (-9\text{ N})\vec{i}$ باشد، q_4 چند میکروکولن است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$ (مشابه تهری نوبت اول ۱۳۹۲)

- ۸ (۱)
- ۵ (۲)
- +۸ (۳)
- +۵ (۴)



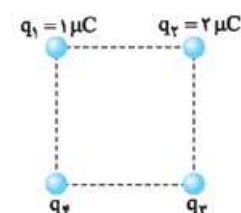
۴۳۰- چهار ذره باردار در چهار رأس مستطیل شکل زیر ثابت نگه داشته شده‌اند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 برابر صفر است. q_1 چند نانوکولن است؟

- ۱۰۸ (۱)
- ۱۰۸ (۲)
- ۲۵۶ (۳)
- ۲۵۶ (۴)



۴۳۱- در شکل مقابل، ۴ بار الکتریکی نقطه‌ای در چهار رأس مستطیل قرار دارند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 برابر با $\vec{F} = (-80\text{ N})\vec{j}$ است. بارهای q_1 و q_4 به ترتیب چند میکروکولن هستند؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

- ۱۵۰، ۱۳ (۱)
- ۱۲۵، ۱۳ (۲)
- ۱۵۰، ۶۷ (۳)
- ۱۲۵، ۶۷ (۴)

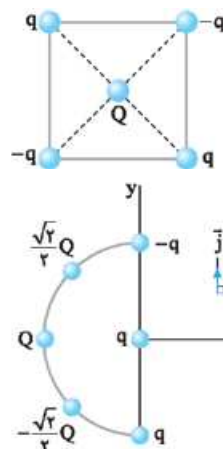


۴۳۲- در شکل مقابل، چهار ذره باردار در رأس‌های مربعی که طول ضلع آن ۳۰ cm است شده‌اند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 صفر باشد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_4 چند نیوتون است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

- ۴ (۱)
- $\frac{4 + \sqrt{2}}{10}$ (۲)
- $\frac{2 + \sqrt{2}}{5}$ (۳)
- $\frac{2 - \sqrt{2}}{5}$ (۴)

۴۳۳- در شکل زیر بارهای الکتریکی در چهار رأس و مرکز یک مربع ثابت شده‌اند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بارهای q صفر است. اندازه نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر یک از بارهای -q چند برابر اندازه نیروی الکتریکی است که هر بار q بر هر بار -q وارد می‌کند؟

- $\frac{1}{4}(\sqrt{2} - \frac{1}{4})$ (۱)
- $\frac{1}{4}(\sqrt{2} + \frac{1}{4})$ (۲)
- $2(\sqrt{2} - \frac{1}{4})$ (۳)
- $2(\sqrt{2} + \frac{1}{4})$ (۴)



۴۳۴- مطابق شکل روبه‌رو ۵ بار الکتریکی نقطه‌ای در فاصله‌های مساوی از یکدیگر روی محیط نیم‌دایره‌ای به شعاع ۱۵ cm قرار گرفته‌اند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q واقع در مرکز نیم‌دایره برابر $\vec{F} = (20\text{ N})\vec{i}$ باشد، $|q|$ چند میکروکولن است؟ $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

- ۵ (۱)
- $5\sqrt{2}$ (۲)
- ۱۰ (۳)
- $10\sqrt{2}$ (۴)





۳۸۹- گزینه ۲ ابتدا تعداد الکترون‌های یون X^{2+} را حساب می‌کنیم: $q = -ne \Rightarrow -9/6 \times 10^{-19} = -n \times (1/6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = 6$

تعداد الکترون‌های اتم در حالتی که دوتا الکترون از آن کنده شده، ۶ تا است، در نتیجه اتم در حالت خنثی ۸ الکترون دارد. در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها برابر است. پس تعداد پروتون‌ها و عدد اتمی عنصر مورد نظر ۸ یعنی این اتم اکسیژن (O) است!

۳۹۰- گزینه ۲ چگالی آب 1000 kg/m^3 یا 1 g/cm^3 است. پس 90 cm^3 آب، جرمی معادل 90 g دارد. از طرفی جرم مولی آب برابر است با:

$$M_{H_2O} = M_{H_2} + M_O = 2 + 16 = 18 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{m}{M_{H_2O}} = \frac{90}{18} = 5 \text{ mol}$$

پس 90 g آب شامل 5 mol آب است:

$$N = nN_A = 5 \times (6 \times 10^{23}) = 3 \times 10^{24}$$

تعداد مولکول‌های آب موجود در این 5 mol برابر است با:

هر مولکول آب خنثی، ۱۰ تا پروتون دارد (۸ تا ش مال اکسیژنه و ۲ تا ش مال هیدروژن‌ها). پس تعداد الکترون‌های هر مولکول آب خنثی ۱۰ تا و مجموع بار

الکتریکی الکترون‌های موجود در این N مولکول آب برابر است با: $Q = Nq = N \times (-ne) = 3 \times 10^{24} \times (-10 \times 1/6 \times 10^{-19}) = -4/8 \times 10^6 \text{ C}$

۳۹۱- گزینه ۲ بار اولیه جسم مثبت است (پتون آله بار اولیه جسم منفی بود، با دادن الکترون به جسم، اندازه بارش بیشتر می‌شد). بار انتقال یافته را با Δq

$$\Delta q = -ne = -1/5 \times 10^{13} \times (1/6 \times 10^{-19}) = -2/4 \times 10^{-6} \text{ C} = -2/4 \mu\text{C}$$

نشان می‌دهیم.

$$|q_2| = \frac{q_1}{\gamma} \Rightarrow q_2 = \pm \frac{q_1}{\gamma}$$

اندازه بار الکتریکی جسم، نصف شده است؛ پس:

$$q_2 = q_1 + \Delta q \Rightarrow \begin{cases} \frac{q_1}{\gamma} = q_1 - 2/4 \Rightarrow \frac{q_1}{\gamma} = 2/4 \Rightarrow q_1 = 4/8 \mu\text{C} \\ -\frac{q_1}{\gamma} = q_1 - 2/4 \Rightarrow \frac{3}{\gamma} q_1 = 2/4 \Rightarrow q_1 = 1/6 \mu\text{C} \end{cases}$$

پس با رو یک کنید تا قضیه رو بهتر متوجه بشید. اگر بار اولیه جسم $q_1 = 4/8 \mu\text{C}$ باشد، با انتقال الکترون‌ها به جسم، بار آن $2/4 \mu\text{C}$ (یعنی نصف) می‌شود:

$$q_2 = 4/8 - 2/4 = 2/4 \mu\text{C}$$

اگر بار اولیه جسم $1/6 \mu\text{C}$ باشد، با انتقال الکترون‌ها به جسم، بار آن $-1/8 \mu\text{C}$ (نصف اندازه اولیه و با علامت مخالف) می‌شود:

۳۹۲- گزینه ۲ با برداشتن تعدادی الکترون از ذره باردار مثبت، بار مثبت این ذره افزایش و با دادن تعدادی الکترون به ذره باردار منفی، بار منفی این ذره

افزایش می‌یابد. بار مثبت را با زیروند (۱) و بار منفی را با زیروند (۲) نشان می‌دهیم.

$$\Delta q_1 = -n_1 e = -3 \times 10^{14} \times 1/6 \times 10^{-19} = -4/8 \times 10^{-5} \text{ C} = -4/8 \times 10^{-6} \text{ C} = -48 \mu\text{C}$$

$$\Delta q_2 = \frac{\Delta q_1}{\gamma} = -\frac{48}{2} = -24 \mu\text{C}$$

$$q'_1 = q_1 + |\Delta q_1| = q_1 + 48 (\mu\text{C}) = q + 48 (\mu\text{C})$$

$$q'_2 = q_2 + \Delta q_2 = q_2 - 24 (\mu\text{C}) \Rightarrow q'_2 = -q - 24 (\mu\text{C}) \Rightarrow |q'_2| = q + 24 (\mu\text{C})$$

اندازه بار q'_1 بزرگ‌تر از اندازه بار q'_2 است؛ بنابراین:

$$|q'_1| > |q'_2| \Rightarrow |q'_1| = |q'_2| + \frac{2}{100} |q'_2| = 1/2 |q'_2| \Rightarrow \frac{|q'_1|}{|q'_2|} = 1/2 = \frac{6}{5} \Rightarrow \frac{q+48}{q+24} = \frac{6}{5}$$

$$\Rightarrow 5q + 240 = 6q + 144 \Rightarrow q = 240 - 144 = 96 \mu\text{C}$$

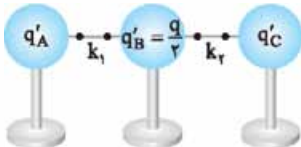
$$-q = -ne \Rightarrow -96 \times 10^{-6} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{96}{1/6} \times 10^{13} = 6 \times 10^{14}$$

۳۹۳- گزینه ۳ چون کره‌های A و B مشابه‌اند و در ابتدا (که کلید k_1 بسته است) به هم متصل‌اند، بار اولیه آن‌ها برابر است، پس: $q_A = q_B = q$

مطابق شکل روبه‌رو در حالت اول با بستن کلید k_2 ، هر سه کره به هم متصل می‌شوند و با توجه به مشابه بودن

این سه کره، بارهای الکتریکی آن‌ها برابر می‌شود، پس:

$$q'_A = q'_B = q'_C$$



در صورت تست گفته شده که بار کره B در این حالت نصف می‌شود، یعنی $q'_B = \frac{q}{2}$ ؛ بنابراین: $q'_A = q'_B = q'_C = \frac{q}{2}$

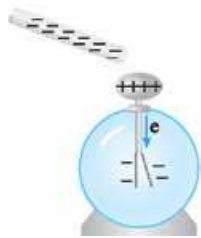
در ادامه، بازکردن کلید k_1 ، تأثیری روی مقادیر بار کره‌ها ندارد.

بنا بر اصل پایستگی بار الکتریکی، مجموع بار الکتریکی اولیه کره‌ها با مجموع بار الکتریکی کره‌ها پس از تغییر وضعیت کلیدها برابر است، پس بار اولیه کره C

به صورت مقابل به دست می‌آید: $q_A + q_B + q_C = q'_A + q'_B + q'_C \Rightarrow q + q + q_C = \frac{q}{2} + \frac{q}{2} + \frac{q}{2} \Rightarrow 2q + q_C = \frac{3}{2}q \Rightarrow q_C = -\frac{1}{2}q$

در حالت دوم، اگر ابتدا کلید k_1 را باز و سپس کلید k_2 را ببندیم، مجموع بار کره‌های B و C به نسبت مساوی بینشان تقسیم می‌شود، پس:

$$q''_B = q''_C = \frac{q_B + q_C}{2} = \frac{q + (-\frac{1}{2}q)}{2} = \frac{1}{4}q$$



۳۹۴- گزینه ۴ میله پلاستیکی نسبت به پارچه پشمی به انتهای منفی سری الکتریسیته مالشی نزدیک تر است. در نتیجه پس از مالش با پارچه بار منفی کسب می کند. وقتی میله را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می کنیم، تعدادی از الکترون های آزاد روی کلاهک در اثر نیروی دافعه الکتریکی به طرف ورقه ها می روند. در نتیجه کلاهک بار مثبت و ورقه ها بار منفی پیدا می کنند. با این حال چون بار روی کلاهک و ورقه ها هم اندازه اند، بار خالص الکتروسکوپ صفر است. توجه بفرمایید که الکتروسکوپ با میله تماس ندارد و به همین دلیل جنس کلاهک الکتروسکوپ در نوع بار آن تأثیر ندارد.

۳۹۵- گزینه ۱ با نزدیک کردن میله منفی به کره ها، بار $+q$ در کره A و بار $-q$ در کره C القا می شود و کره B خنثی می ماند.

$$q_A = +q, q_B = 0, q_C = -q$$

$$q'_B = q'_C = \frac{q_B + q_C}{2} = \frac{0 - q}{2} = -\frac{q}{2}$$

بار کره های B و C بعد از تماس با یکدیگر، برابر است با:

$$q''_B = q'_A = \frac{q'_B + q_A}{2} = \frac{-\frac{q}{2} + q}{2} = \frac{\frac{q}{2}}{2} = \frac{q}{4}$$

بار کره های B و A پس از تماس با یکدیگر، برابر است با:

$$q''_B = 4\mu C \Rightarrow \frac{q}{4} = 4 \Rightarrow q = 16\mu C$$

با توجه به فرض تست:

$$q'_C = -\frac{q}{2} = -\frac{16}{2} = -8\mu C$$

۳۹۶- گزینه ۴ میله شیشه ای پس از مالش به پارچه ابریشمی، بار مثبت پیدا می کند. اگر این میله را به الکتروسکوپ خنثی یا الکتروسکوپی با بار مثبت نزدیک کنیم، ورقه های آن از هم دور و اگر به الکتروسکوپی با بار منفی نزدیک کنیم، ورقه های آن به هم نزدیک می شوند؛ حتی ممکن است همه بارهای منفی روی ورقه ها به سمت کلاهک بروند و ورقه ها به هم بچسبند. پس الکتروسکوپ بار منفی دارد.



۳۹۷- گزینه ۱ یون های مثبت درون شعله به سمت کلاهک الکتروسکوپ کشیده می شوند. با جذب یون های مثبت توسط کلاهک، بار منفی الکتروسکوپ و به دنبال آن، فاصله بین ورقه های آن کاهش می یابد.

اگر به فرض همه بار الکتروسکوپ خنثی شود، ورقه ها به هم می چسبند. الکتروسکوپ خنثی دیگر نمی تواند کششی بر بارهای مثبت محیط ایجاد کند و در نتیجه دوباره باردار نمی شود (رد **F**).

توجه اگر بخواهیم دقیق تر به این سؤال جواب دهیم باید بگوییم وجود شعله، باعث یونیزه شدن هوای محیط می شود و تعدادی از یون های مثبت هوا به سمت کلاهک الکتروسکوپ می روند و ادامه ماجرا!

۳۹۸- گزینه ۱ فاصله دو بار الکتریکی از یکدیگر به صورت زیر به دست می آید:

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{(6 - (-2))^2 + (8 - 2)^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ cm}$$

نکته

ترفند محاسباتی ۹۰: در اغلب تست های این فصل، بارهای الکتریکی را برحسب میکروکولن (μC) و فاصله بین بارها را برحسب سانتی متر (cm) می دهند، برای این که هنگام محاسبه اندازه نیروی الکتریکی بین دو بار، از تبدیل یکاها خلاص شوید، در رابطه قانون کولن k را برابر 90 قرار دهید تا نیروی الکتریکی بر حسب نیوتون به دست آید. یعنی داریم:

$$F = 90 \times \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad \begin{matrix} \text{بر حسب } \mu C \\ \uparrow \quad \uparrow \\ \text{بر حسب نیوتون} \end{matrix}$$

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = 90 \times \frac{2 \times 8}{10^2} = 14.4 \text{ N}$$

$$F_{r1} = m_1 a_1 = (20 \times 10^{-3}) \times 360 = 7.2 \text{ N}$$

۳۹۹- گزینه ۲ طبق قانون دوم نیوتون، نیروی الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر است با:

$$F_{r1} = k \frac{|q_2| |q_1|}{r^2} \xrightarrow{\text{ترفند محاسباتی ۹۰}} 7.2 = 90 \times \frac{2 |q_1|^2}{(20)^2} \Rightarrow |q_1|^2 = \frac{7.2 \times 400}{90 \times 2} = 16 \Rightarrow |q_1| = 4 \mu C$$

حالا طبق قانون کولن داریم:

طبق قانون سوم نیوتون، نیروی الکتریکی که بارهای q_1 و q_2 به یکدیگر وارد می کنند، هم اندازه است؛ پس:

$$F_{r2} = F_{r1} \Rightarrow m_2 a_2 = F_{r1} \Rightarrow 80 \times 10^{-3} \times a_2 = 7.2 \Rightarrow a_2 = 90 \text{ m/s}^2$$

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

۴۰۰- گزینه ۲ اندازه نیروی الکتریکی بین دو ذره قبل از انتقال بار را با F و پس از انتقال بار را با F' نشان می دهیم. بنابراین:

$$F' = k \frac{(|q| - 2)(|q| + 2)}{r^2} = k \frac{(|q|^2 - 4)}{r^2} = k \frac{|q|^2}{r^2} - k \times \frac{4}{r^2} \Rightarrow F' = F - 90 \times \frac{4}{30^2} = 1 - 0.4 = 0.6 \text{ N}$$





۴۰۱- گزینه ۱ استراتژی وقتی مجموع بار دو کره با بار هم نام ثابت است، نیروی الکتریکی بین آن‌ها زمانی بیشینه می‌شود که بارهای آن‌ها هم اندازه باشند.

طبق استراتژی بالا، برای بیشینه شدن اندازه نیروی الکتریکی بین گلوله‌ها، باید مجموع بار دو گلوله به طور مساوی بینشان تقسیم شود؛ بنابراین:

$$q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} = \frac{2 + 1}{2} = 1.5 \text{ nC}$$

$$\Delta q_A = q'_A - q_A = 1.5 - 2 = -0.5 \text{ nC}$$

$$\Delta q_B = q'_B - q_B = 1.5 - 1 = 0.5 \text{ nC}$$

قطعاً تعدادی الکترون از A به B منتقل شده که در نتیجه آن بار مثبت گلوله A افزایش و بار مثبت گلوله B کاهش یافته است.

$$\Delta q_A = |\Delta q_B| = ne \Rightarrow n = \frac{0.5 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}} \Rightarrow n = 3.125 \times 10^9$$

۴۰۲- گزینه ۳ با توجه به صورت تست می‌توان نوشت:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_r| | -2q |}{|q_l| |q|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F + 46}{F} = \frac{3 \times 2 |q|}{2 \times |q|} \times \left(\frac{15}{10}\right)^2 \Rightarrow \frac{F + 46}{F} = 3 \times \left(\frac{3}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow 4(F + 46) = 27F \Rightarrow 23F = 4 \times 46 \Rightarrow F = 8 \text{ N}$$

اندازه نیرویی که بارهای $q_1 = 2 \mu\text{C}$ و $q_2 = 3 \mu\text{C}$ به هم وارد می‌کنند به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{F''}{F} = \frac{|q_r| |3q|}{|q_l| |q|} \times \left(\frac{r}{r''}\right)^2 \Rightarrow \frac{F''}{8} = \frac{4 \times 3 |q|}{2 \times |q|} \times \left(\frac{15}{20}\right)^2 \Rightarrow \frac{F''}{8} = 6 \times \left(\frac{3}{4}\right)^2 \Rightarrow F'' = 27 \text{ N}$$

بارهای $q_1 = 3 \mu\text{C} > 0$ و $q_2 = 2 \mu\text{C} > 0$ یکدیگر را دفع می‌کنند، پس $2q > 0$ و در نتیجه $q < 0$ است. با این توضیحات، نیروی بین بارهای $q_1 = 4 \mu\text{C}$ و $q_2 = 3 \mu\text{C}$ باید از نوع جاذبه باشد.

$$q'_1 = q_1 - \frac{x}{100} q_1 = 70 - \frac{x}{100} \times 70 \text{ (}\mu\text{C)}$$

۴۰۳- گزینه ۳ فرض می‌کنیم که x درصد از بار q_1 را به بار q_2 انتقال می‌دهیم. داریم:

$$q'_2 = q_2 + \frac{x}{100} q_1 = -50 + \frac{x}{100} \times 70 \text{ (}\mu\text{C)}$$

حالا قانون کولن را به صورت نسبتی می‌نویسیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \xrightarrow{q'_1 > 0; |q'_1| = q'_1; q'_2 < 0; |q'_2| = -q'_2} \frac{0.4F}{F} = \frac{(70 - \frac{x}{100} \times 70)(-50 + \frac{x}{100} \times 70)}{70 \times 50} \times \left(\frac{r}{\frac{6}{5}r}\right)^2 \Rightarrow \frac{0.4 \times 3500 \times 36}{25}$$

$$= (70 - \frac{x}{100} \times 70)(-50 + \frac{x}{100} \times 70) \Rightarrow 2016 = 3500 - 49x - 35x + \frac{49}{100}x^2 \Rightarrow \frac{49}{100}x^2 - 84x + 1484 = 0 \xrightarrow{\div 7} \frac{7}{100}x^2 - 12x + 212 = 0$$

راحت‌ترین راه برای به دست آوردن x، جای گذاری گزینه‌ها در معادله بالا است. با این کار، $x = 20$ به دست می‌آید:

$$\frac{7}{100} \times (20)^2 - 12 \times 20 + 212 = 28 - 240 + 212 = 240 - 240 = 0 \quad \checkmark$$

$$q_2 = -50 \mu\text{C}$$

۴۰۴- گزینه ۲ چون دو گلوله همدیگر را جذب می‌کنند، بارهایشان ناهم نام است:

$$q'_2 = q'_1 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q_1 - 50q_1}{2} = -24q_1$$

وقتی دو گلوله را با هم تماس می‌دهیم، بارهایشان برابر می‌شود:

در یک فاصله معین، اندازه نیروی الکتریکی بین دو گلوله با حاصل ضرب اندازه بارهایشان نسبت مستقیم دارد:

$$F \propto |q_1| |q_2| \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} = \frac{24q_1 \times 24q_1}{q_1 \times 50q_1} = \frac{4}{5}$$

$$\vec{F}' = -\frac{4}{5} \vec{F}$$

چون گلوله‌ها بارهای هم نام کسب می‌کنند، نیروی بینشان از نوع دافعه می‌شود و نسبت به حالت قبل تغییر جهت می‌دهد، بنابراین:

۴۰۵- گزینه ۳ یکی از مهم‌ترین منابع درس فیزیک برای طراحی سوال، کتاب «فیزیک هالیدی» است. مضمون این تست که از این کتاب گرفته شده دو

سه بار دست مایه طرح تست در کتلور سراسری شده.

پس از اتصال دو گلوله مشابه، اندازه نیروی الکتریکی که به یکدیگر وارد می‌کنند، کاهش یافته است؛ بنابراین بار اولیه آن‌ها الزاماً ناهم نام بوده است. (اگر بار

اولیه گلوله‌های مشابه هم نام باشد، پس از اتصال تماماً اندازه نیروی الکتریکی بینشان زیاد می‌شود). پس $q_1 q_2 < 0$ است و داریم:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow 0.108 = 90 \times \frac{|q_1| |q_2|}{5^2} \Rightarrow |q_1| |q_2| = \frac{108 \times 5}{90} = 6 \text{ (}\mu\text{C)}^2 \xrightarrow{(q_1 q_2 < 0)} q_1 q_2 = -3 \text{ (}\mu\text{C)}^2$$

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

پس از اتصال، بار گلوله‌ها یکسان می‌شود:

$$F' = k \frac{(q'_1 + q'_2)^2}{r^2} \Rightarrow 0.36 = 90 \times \frac{2^2}{5^2} \Rightarrow (q_1 + q_2)^2 = \frac{36 \times 4 \times 25}{90} = 4 \Rightarrow |q_1 + q_2| = 2 \mu\text{C} \Rightarrow q_1 + q_2 = \pm 2 \mu\text{C}$$

اگر فرض کنیم جمع بارها مثبت است، (با توجه به گزینه‌ها باید به دنبال همین حالت باشیم)، مجموع بارها $2 \mu\text{C}$ و حاصل ضرب آن‌ها $3 \text{ (}\mu\text{C)}^2$ می‌شود،

پس یکی از بارها $3 \mu\text{C}$ و دیگری $1 \mu\text{C}$ است. در حالت دیگر که مجموع بارها $2 \mu\text{C}$ و حاصل ضرب آن‌ها $3 \text{ (}\mu\text{C)}^2$ می‌شود، یکی از بارها $3 \mu\text{C}$

و دیگری $1 \mu\text{C}$ است.

تیزباز

پس از اتصال، اندازه نیروی الکتریکی بین گلوله‌ها $\frac{1}{3}$ برابر شده است ($\frac{1}{3} = \frac{36}{108}$). با توجه به یکسان بودن فاصله بین گلوله‌ها در دو حالت، می‌توان نتیجه گرفت که پس از اتصال، حاصل ضرب اندازه بارها باید $\frac{1}{3}$ برابر شود. با توجه به این که گلوله‌ها مشابه‌اند و بارشان پس از اتصال یکسان می‌شود، در گزینه‌ها باید به دنبال اعدادی باشیم که حاصل ضرب قدرمطلقشان، ۳ برابر مربع نصف مجموعشان است. در ۳ داریم:

$$|3| \times |-1| = x \left(\frac{3+(-1)}{2} \right)^2 \Rightarrow 3 = x \times 1 \Rightarrow x = 3 \quad \checkmark$$

۴۰۶- گزینه ۱

اگر دو گوی رسانای یکسان، دارای بارهای هم‌نام q_1 و q_2 را با یکدیگر تماس داده و در همان فاصله قبلی قرار دهیم، نیروی الکتریکی‌ای که به هم وارد می‌کنند، افزایش می‌یابد. ولی اگر بار ابتدایی گوی‌ها ناهم‌نام باشد، نیروی الکتریکی بین آن‌ها بعد از تماس با یکدیگر ممکن است افزایش یابد، کاهش یابد و یا حتی ثابت بماند.

بعد از تماس دو گوی با یکدیگر، بار هر کدام از آن‌ها برابر با $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$ می‌شود. در این حالت داریم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} = \frac{\left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right)^2}{|q_1| |q_2|} = \frac{q_1^2 + q_2^2 + 2|q_1| |q_2|}{4|q_1| |q_2|} = \frac{9}{5} \Rightarrow \frac{|q_1|}{|q_2|} + \frac{|q_2|}{|q_1|} + 2 = \frac{36}{5} \xrightarrow{\left(\frac{|q_2|}{|q_1|} = x \right)} \frac{1}{x} + x = \frac{36}{5} - 2$$

$$\Rightarrow x + \frac{1}{x} = \frac{26}{5} \Rightarrow x = 5 \Rightarrow |q_2| = 5|q_1|$$

حالا فرض می‌کنیم که بار اولیه گلوله‌ها ناهم‌نام باشند، با این فرض که $q_2 = -5q_1$ باشد، خواهیم داشت:

$$q''_1 = q''_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q_1 - 5q_1}{2} = \frac{-4q_1}{2} = -2q_1$$

$$\frac{F''}{F} = \frac{|q''_1| |q''_2|}{|q_1| |q_2|} = \frac{2|q_1| \times 2|q_1|}{|q_1| \times 5|q_1|} = \frac{4}{5} \Rightarrow \frac{\Delta F}{F} \times 100 = \frac{F'' - F}{F} \times 100 = \frac{\frac{4}{5}F - F}{F} \times 100 = -\frac{1}{5} \times 100 = -20\%$$

۴۰۷- گزینه ۱

پس از تماس، بار بین کره‌های مشابه به صورت یکسان توزیع می‌شود، پس:



$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-24 + (-6)}{2} = \frac{-30}{2} = -15 \mu C$$

شرط تعادل کره بالایی، هم‌اندازه بودن نیروی الکتریکی وارد بر کره و نیروی وزن آن است. این شرط را برای دو حالت می‌نویسیم:

$$\begin{cases} F_E = mg \\ F'_E = mg \end{cases} \Rightarrow F_E = F'_E \Rightarrow \frac{k|q_1| |q_2|}{d^2} = \frac{k|q'_1| |q'_2|}{d'^2} \Rightarrow \frac{24 \times 6}{(16)^2} = \frac{15 \times 15}{d'^2} \Rightarrow \frac{d'}{16} = \frac{15}{12} \Rightarrow d' = 20 \text{ cm}$$

$$\Delta d = d' - d = 20 - 16 = 4 \text{ cm}$$

دوجه در شرایط هم‌نام بودن بارهای اولیه، حاصل ضرب اندازه بارها پس از تماس افزایش می‌یابد. پس طبق تناسب $F_E \propto \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$ و برای ثابت ماندن F_E ، لازم است فاصله دو بار هم افزایش یابد.

۴۰۸- گزینه ۳

نیروی وزن گلوله‌ای که دارای بار q_1 است برابر است با:

$$mg = 0.1 \times 10 = 1 \text{ N}$$

مطابق شکل، نیروی وزن رو به پایین و نیروی کشش نخ رو به بالا است. برای این که q_2 (با حداکثر اندازه ممکن) را به دست آوریم، باید وضعیتی را بررسی کنیم که نخ در آستانه پاره شدن قرار می‌گیرد.

در این حالت، نیروی الکتریکی وارد بر گلوله آویزان باید رو به پایین و اندازه آن برابر باشد با:

$$T_{\max} = F + mg \Rightarrow T = F + 1 \Rightarrow F = 6 \text{ N}$$

با توجه به این که $\vec{F}$ ربایشی است می‌توان نتیجه گرفت که بار q_2 با بار q_1 ناهم‌نام است. یعنی:

$$q_2 < 0$$

حالا q_2 را به دست می‌آوریم:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow 6 = 9 \times 10^9 \times \frac{|q_2|}{3 \times 10^{-2}} \Rightarrow |q_2| = 3 \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -3 \mu C$$

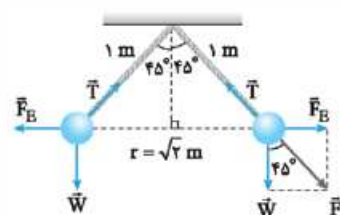
۴۰۹- گزینه ۲

خط وصل کننده دو گلوله، وتر مثلثی را تشکیل می‌دهد که نخ‌ها روی ساق‌های آن قرار

گرفته‌اند. وتر این مثلث $\sqrt{2}$ برابر طول هر ضلع آن است؛ پس فاصله دو گلوله از هم برابر است با:

$$r = \text{وتر} = \sqrt{L^2 + L^2} = \sqrt{2}L = \sqrt{2} \times 1 \Rightarrow r = \sqrt{2} \text{ m}$$

مطابق شکل به هر گلوله ۳ نیرو وارد می‌شود: وزن، نیروی الکتریکی و نیروی کشش نخ. چون گلوله‌ها به حال تعادل‌اند، برآیند نیروهای وارد بر آن‌ها صفر است و وقتی برآیند ۳ تا بردار صفر باشد، اندازه هر بردار برابر با اندازه برآیند دو بردار دیگر است.





برایند $\vec{W}$ و $\vec{F}_E$ را با $\vec{F}$ نشان داده‌ایم. $\vec{F}$ در خلاف جهت $\vec{T}$ و هم‌اندازه با آن است. داریم:

$$F_E = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times \frac{40 \times 40}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 7/2 \text{ N}$$

$$\tan 45^\circ = \frac{F_E}{W} \Rightarrow 1 = \frac{F_E}{W} \Rightarrow F_E = W$$

چون گلوله‌ها مشابه‌اند (هم‌جرم‌اند) زاویه هر یک از نخ‌ها با امتداد قائم، با یکدیگر برابر بوده و هر کدام برابر با $45^\circ = \frac{90^\circ}{2}$ است.

$$T = \sqrt{F_E^2 + W^2} = \sqrt{F_E^2 + F_E^2} = \sqrt{2} F_E = 7/2 \sqrt{2} \text{ N}$$

نکته

$$F_e = kx$$

قانون هوک: اگر فنری را به اندازه x بکشیم یا فشرده کنیم، اندازه نیروی کشسانی فنر از رابطه مقابل به دست می‌آید:
در رابطه بالا، k ثابت فنر است.

۴۱۰- گزینه ۲ در حالت اول اندازه نیروی کشسانی فنر برابر وزن وزنه است، پس:

$$F_e = mg \xrightarrow{F_e = k'x} k' \times (\Delta\theta - 40^\circ) \times 10^{-2} = (20 \times 10^{-3}) \times 10 \Rightarrow k = \frac{2 \times 10^{-1}}{10^{-1}} = 2 \text{ N/m}$$

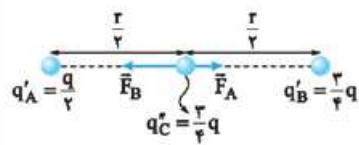
در حالت دوم اندازه نیروی کشسانی فنر برابر اندازه نیروی الکتریکی است که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند:

$$F_e = F \Rightarrow k'x = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 2 \times (45 - 40) \times 10^{-2} = 9 \times \frac{|q_1|^2}{45^2} \Rightarrow |q_1|^2 = \frac{45^2}{90} \times 10^{-1} = \frac{4}{5} = 2/25 \xrightarrow{q_1 > 0} q_1 = 1/5 \mu\text{C}$$

$$q'_C = q'_A = \frac{q_C + q_A}{2} = \frac{q}{2}$$

۴۱۱- گزینه ۱ گلوله C در اثر تماس با گلوله A ، نیمی از بار آن را از آن خود می‌کند:

و با تماس گلوله C به گلوله B ، مجموع بار آن‌ها بینشان نصف می‌شود؛ پس:



$$q'_C = q'_B = \frac{q'_C + q_B}{2} = \frac{\frac{q}{2} + q}{2} = \frac{3}{4} q$$

در نهایت، بارها با آرایش مقابل در کنار هم قرار می‌گیرند. با توجه به شکل، اندازه نیروی الکتریکی خالص وارد بر گلوله C (یعنی $F_{T(C)}$) را به صورت پارامتری حساب می‌کنیم:

$$F_{T(C)} = F_B - F_A = k \frac{|q'_B||q'_C|}{(\frac{r}{2})^2} - k \frac{|q'_A||q'_C|}{(\frac{r}{2})^2} = \epsilon k \frac{|\frac{3}{4}q| \times |\frac{3}{4}q|}{r^2} - \epsilon k \frac{|\frac{q}{2}| \times |\frac{3}{4}q|}{r^2} = \frac{9}{4} k \frac{q^2}{r^2} - \frac{3}{2} k \frac{q^2}{r^2} = \frac{3}{4} k \frac{q^2}{r^2}$$

$$F = k \frac{|q_A||q_B|}{r^2} = k \frac{q^2}{r^2} = 16 \text{ N}$$

از طرفی، اندازه نیروی الکتریکی اولیه بین گلوله‌های A و B برابر با 16 N است، پس:

$$F_{T(C)} = \frac{3}{4} F = \frac{3}{4} \times 16 = 12 \text{ N}$$

بنابراین، پاسخ نهایی تست می‌شود:

۴۱۲- گزینه ۲

$$\begin{cases} \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ \vec{F}_2 = -\vec{F} \end{cases} \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F} \Rightarrow \vec{F}_1 = 2\vec{F} \Rightarrow F_1 = 2F \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}}{k \frac{|q_2||q_2|}{(2r)^2}} \Rightarrow \frac{2F}{F} = \left| \frac{q_1}{q_2} \right| \times 9 \Rightarrow \left| \frac{q_2}{q_1} \right| = \frac{9}{2} = 4/5$$

$$\frac{q_2}{q_1} = 4/5$$

q_1 و q_2 هم‌نام‌اند (هر/؟)؛ بنابراین:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F} \quad (\text{I})$$

۴۱۳- گزینه ۴ برای حالت اول داریم:

در حالت دوم $\vec{F}_2$ تغییر نمی‌کند. با توجه به این که بار q_2 بدون تغییر فاصله آن با بار q_1 به سمت دیگر بار q_1 منتقل شد، در این حالت نیروی وارد بر بار q_1

$$-\vec{F}_2 + \vec{F}_1 = -\frac{2}{3}\vec{F} \quad (\text{II})$$

از طرف بار q_2 برابر $-\vec{F}_2$ خواهد بود؛ پس:

به کمک روابط (I) و (II) داریم:

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F} & (\text{I}) \\ -\vec{F}_2 + \vec{F}_1 = -\frac{2}{3}\vec{F} & (\text{II}) \end{cases} \xrightarrow{(\text{I})+(\text{II})} 2\vec{F}_1 = -\frac{1}{3}\vec{F} \Rightarrow \vec{F}_1 = -\frac{1}{6}\vec{F}, \vec{F}_2 = \frac{5}{6}\vec{F}$$

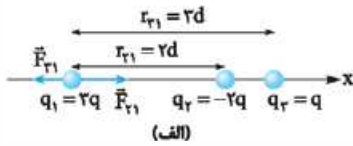
حالت اول را در نظر بگیرید. بارهای q_2 و q_3 در یک سمت بار q_1 قرار دارند و $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ در خلاف جهت یکدیگرند؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که بارهای q_2

و q_3 ناهم‌نام‌اند (رد ۱ و ۳). حالا می‌توان نوشت:

$$\frac{\vec{F}_2}{F_2} = \frac{k \frac{|q_2||q_2|}{(2r)^2}}{k \frac{|q_2||q_1|}{r^2}} \Rightarrow \frac{2}{3} F = \frac{|q_2|}{|q_1|} \times \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{|q_2|}{|q_1|} = \frac{8}{5} \xrightarrow{q_2 \text{ و } q_3 \text{ ناهم‌نام‌اند}} \frac{q_2}{q_3} = -\frac{8}{5}$$

گزینه ۳ - ۴۱۴

در شکل (الف)، بارهای q_1 و q_3 هم نام و بار q_2 با هر دوی آنها ناهم نام است. (برای سادگی، بار q را مثبت فرض می کنیم، پس $q_1 > 0$ ، $q_2 < 0$ و $q_3 > 0$ است.)

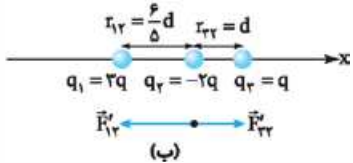


$$F_{r1} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{12}^2} = k \frac{(-2q)(3q)}{(2d)^2} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ در جهت محور } x} \vec{F}_{r1} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$F_{r1} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{13}^2} = k \frac{|q||3q|}{(2d)^2} = \frac{3}{4} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}_{r1} = -\frac{3}{4} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\vec{F}_{T(1)} = \vec{F} = \vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r1} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} - \frac{3}{4} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} = \frac{3}{4} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

حالا مطابق شکل (ب) بار $q_1 = 3q$ را به اندازه $\frac{4d}{5}$ به بار $q_2 = -2q$ نزدیک می کنیم. داریم:



$$r_{12} = 2d - \frac{4}{5}d = \frac{6}{5}d$$

$$\vec{F}'_{r1} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{12}^2} = k \frac{(-2q)(3q)}{(\frac{6}{5}d)^2} = \frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}'_{r1} \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}'_{r1} = -\frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\vec{F}'_{r2} = k \frac{|q_3||q_2|}{r_{23}^2} = k \frac{|q||-2q|}{d^2} = 2k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}'_{r2} \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}'_{r2} = 2k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

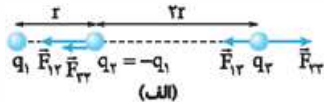
$$\vec{F}'_{T(1)} = \vec{F}' = \vec{F}'_{r1} + \vec{F}'_{r2} = -\frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} + 2k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} = -\frac{13}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\frac{F'_{T(1)}}{F_{T(1)}} = \frac{\frac{13}{6}}{\frac{3}{4}} \Rightarrow F'_{T(1)} = \frac{13}{4} F_{T(1)} \xrightarrow{\vec{F}'_{T(1)} \text{ در خلاف جهت } \vec{F}_{T(1)}} \vec{F}'_{T(1)} = -\frac{13}{4} \vec{F}$$

در پایان:

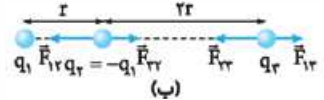
گزینه ۳ - ۴۱۵

بار q_1 ، بار q_2 را با نیروی $\vec{F}_{12}$ جذب می کند. اگر بارهای q_1 و q_3 ناهم نام باشند، جهت نیروهای وارد بر بارهای q_2 و q_3 مطابق شکل (الف) خواهد بود. در این صورت:



$$\begin{cases} F_{T(r)} = F_{12} + F_{r2} \\ F_{T(r)} = F_{r2} - F_{12} \end{cases} \xrightarrow{F_{r2} = F_{12}} F_{T(r)} > F_{T(r)}$$

پس قطعاً بارهای q_1 و q_3 هم نام اند و نیروهای وارد بر بارهای q_2 و q_3 مطابق شکل (ب) است.



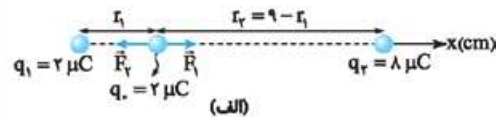
$$|F_{T(r)}| = |F_{T(r)}| \rightarrow |F_{12} - F_{r2}| = |F_{r2} - F_{12}|$$

$$\xrightarrow{\vec{F}_{T(r)} \text{ و } \vec{F}_{T(r)} \text{ هم جهت اند}} F_{12} - F_{r2} = F_{r2} - F_{12} \Rightarrow F_{12} + F_{12} = F_{r2} + F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} + k \frac{|q_1||q_3|}{(3r)^2} = 2k \frac{|q_2||q_3|}{(2r)^2}$$

$$\xrightarrow{|q_1|=|q_2|} \frac{|q_1|}{r^2} + \frac{|q_3|}{9r^2} = \frac{2|q_3|}{4r^2} \rightarrow |q_1| = \frac{|q_3|}{2} - \frac{|q_3|}{9} \rightarrow |q_1| = \frac{7|q_3|}{18} \xrightarrow{q_3 \text{ و } q_1 \text{ هم نام اند}} \frac{q_3}{q_1} = \frac{18}{7}$$

گزینه ۳ - ۴۱۶

اگر بارهای q_1 و q_2 هم نام باشند، نقطه تعادل بار q_3 ، روی خط واصل دو بار، در فاصله بین دو بار و نزدیک تر به بار کوچک تر است. اگر بارهای q_1 و q_2 ناهم نام باشند، نقطه تعادل بار q_3 ، روی خط واصل دو بار، خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک تر به بار کوچک تر است.



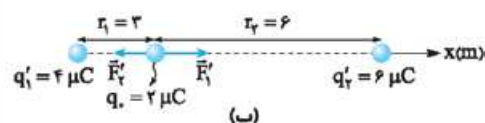
$$F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2} \Rightarrow \frac{2}{r_1^2} = \frac{8}{(9-r_1)^2} \Rightarrow \left(\frac{9-r_1}{r_1}\right)^2 = 4 \Rightarrow \frac{9-r_1}{r_1} = 2 \Rightarrow 9 = 3r_1 \Rightarrow r_1 = 3 \text{ cm}, r_2 = 6 \text{ cm}$$

۲۵ درصد از بار q_2 به بار q_1 منتقل می شود، پس:

$$q'_1 = q_1 + \frac{25}{100} q_2 = 2 + \frac{1}{4} \times 8 = 4 \mu\text{C}$$

$$q'_2 = q_2 - \frac{25}{100} q_2 = 8 - \frac{1}{4} \times 8 = 6 \mu\text{C}$$

حالا به کمک شکل (ب)، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 را محاسبه می کنیم:

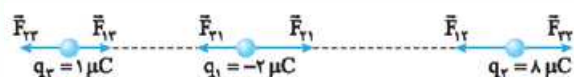


$$F'_1 = k \frac{|q'_1||q_3|}{r_1^2} = 9 \times \frac{4 \times 2}{3^2} = 8 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}'_1 \text{ در جهت محور } x} \vec{F}'_1 = (8 \text{ N}) \vec{i}$$

$$F'_2 = k \frac{|q'_2||q_3|}{r_2^2} = 9 \times \frac{6 \times 2}{6^2} = 3 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}'_2 \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}'_2 = (-3 \text{ N}) \vec{i}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}'_1 + \vec{F}'_2 = (8 \text{ N}) \vec{i} + (-3 \text{ N}) \vec{i} = (5 \text{ N}) \vec{i}$$

نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_3 برابر است با:



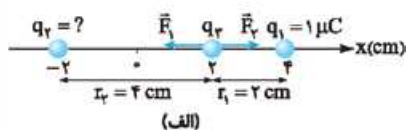
۴۱۷- گزینه ۲ چون q_1 و q_2 نا هم نام اند، q_3 باید خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک تر به بار کوچک تر (q_1) قرار بگیرد تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل روبه رو:

$$F_{T(r)} = 0 \Rightarrow F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow F_{r1} = F_{r2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ و } \vec{F}_{r2} \text{ در خلاف جهت یکدیگرند}} \vec{F}_{r1} = -\vec{F}_{r2}$$

$$\begin{cases} F_{T(1)} = \vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r2} \\ F_{T(r)} = \vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r2} \end{cases} \xrightarrow{\vec{F}_{r2} = -\vec{F}_{r1}} \vec{F}_{T(r)} - \vec{F}_{r2} = -\vec{F}_{T(1)} + \vec{F}_{r1} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} = -\vec{F}_{r2}} \vec{F}_{T(r)} = -\vec{F}_{T(1)} \xrightarrow{\vec{F}_{T(1)} = \vec{F}} \vec{F}_{T(r)} = -\vec{F}$$

دریافته! بدون محاسبه خاصی به یک نتیجه جالب و مهم رسیدیم. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 هم اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند.

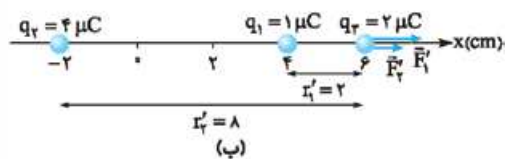
۴۱۸- گزینه ۳ نقطه تعادل بار q_3 بین دو بار قرار دارد، پس می توان نتیجه گرفت که بار q_3 هم نام با بار q_1 ، یعنی مثبت است. با توجه به شکل (الف):



$$F_1 = F_r \Rightarrow k \frac{|q_1| |q_r|}{r_1^2} = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_r^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{|q_1|} = \left(\frac{r_r}{r_1}\right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{|q_r|}{1} = \left(\frac{6}{2}\right)^2 = 9 \Rightarrow |q_r| = 9 \mu C \xrightarrow{q_r > 0} q_r = 9 \mu C$$

بار q_3 را در مکان $x = 6 \text{ cm}$ قرار می دهیم. با توجه به شکل (ب):



$$F'_1 = k \frac{|q_1| |q_r|}{r_1'^2} = 9 \times \frac{1 \times 2}{2^2} = 4.5 \text{ N}$$

$$F'_r = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_r'^2} = 9 \times \frac{9 \times 2}{8^2} = 11.25 \text{ N}$$

با توجه به شکل (ب)، $\vec{F}'_1$ و $\vec{F}'_r$ در جهت محور x اند، پس برابریشان برابر است با:

$$\vec{F}'_T = (\vec{F}'_1 + \vec{F}'_r) \hat{i} = (4.5 + 11.25) \hat{i} = (15.75 \text{ N}) \hat{i}$$

۴۱۹- گزینه ۴

نکته

اگر سه بار الکتریکی نقطه ای روی یک خط راست قرار گرفته و هر سه در حال تعادل باشند، الزاماً علامت بار وسط باید مخالف علامت دو بار دیگر باشد.

در شکل (الف) نیروهای الکتریکی وارد بر همه بارها در حالت اول رسم شده اند.

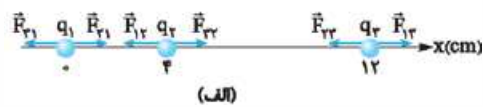
چون نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از ذره ها برابر صفر است، همه این نیروها هم اندازه اند:

$$\begin{cases} F_{r1} = F_{r2} \\ F_{r2} = F_{r3} \end{cases} \xrightarrow{F_{r1} = F_{r2}} F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow F_{r1} = F_{r3}$$

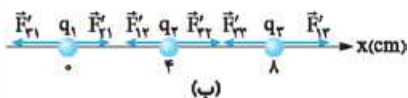
اندازه هر یک از این نیروها را برابر F در نظر می گیریم:

در شکل (ب) نیروهای الکتریکی وارد بر بارها در حالت دوم رسم شده اند.

فاصله بار q_3 تا بار q_1 برابر $\frac{1}{4}$ و فاصله بار q_3 تا بار q_2 برابر $\frac{2}{3}$ برابر شده است. پس نیرویی که بارهای q_2 و q_3 بر هم وارد می کنند $2F$ برابر و نیرویی که بارهای q_1 و q_3 بر هم وارد می کنند، $\left(\frac{3}{4}\right)^2 F$ برابر می شود.



$$F_{r1} = F_{r2} = F_{r1} = F_{r2} = F_{r3} = F$$

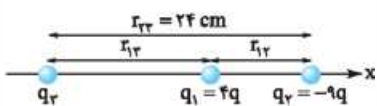


$$F'_{r2} = F'_{r3} = 4F, \quad F'_{r1} = F'_{r2} = \frac{9}{4}F, \quad \frac{F_{T(r)}}{F_{T(1)}} = \frac{F'_{r2} - F'_{r1}}{F'_{r1} - F'_{r2}} = \frac{4F - F}{\frac{9}{4}F - F} = \frac{3F}{\frac{5}{4}F} = \frac{12}{5}$$

۴۲۰- گزینه ۴ بارهای $q_1 = 4q$ و $q_2 = -9q$ نا هم نام اند و $|q_1| < |q_2|$ است. پس

برای تعادل الکتریکی بار q_3 ، لازم است آن را خارج از فاصله دو بار و نزدیک تر به بار کوچک تر (q_1) قرار دهیم. پس بار q_3 در سمت چپ بار q_1 قرار گرفته است (شکل روبه رو).

تعادل بار q_3 را بررسی می کنیم:



$$F_{r2} = F_{r1} \Rightarrow k \frac{|q_1| |q_r|}{r_{r1}^2} = k \frac{|q_2| |q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|4q|}{r_{r1}^2} = \frac{|-9q|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{r_{r2}}{r_{r1}} = \sqrt{\frac{9}{4}} = \frac{3}{2} \Rightarrow r_{r2} = \frac{3}{2} r_{r1} = \frac{3}{2} \times 24 = 36 \text{ cm}$$

$$r_{r2} = 36 - 24 = 12 \text{ cm}$$

بار q_1 در تعادل است، پس می توان نتیجه گرفت که بار q_3 هم نام با بار q_2 است.

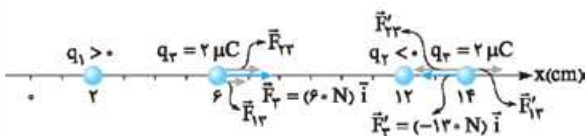
همچنین داریم:

$$F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_r| |q_1|}{r_{r1}^2} = k \frac{|q_r| |q_2|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{r_{r1}^2} = \frac{|q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{|q_2|} = \frac{r_{r1}^2}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{144} = \frac{1}{36} \Rightarrow |q_r| = \frac{144}{36} = 4 \mu C$$

۴۲۳- گزینه ۳ ابتدا آرایش بارها را رسم می‌کنیم تا بفهمیم داستان از چه قراره!

با توجه به جهت $\vec{F}_p$ و $\vec{F}_p'$ یا باید هر دو بار منفی باشند، یا بار q_1 مثبت و بار q_2 منفی باشد. (در حالتی که هر دو بار، مثبت باشند، جهت $\vec{F}_p'$ در نقطه x' در جهت محور x و در حالتی که بار q_1 منفی و بار q_2 مثبت باشد، جهت $\vec{F}_p$ در نقطه x_p در خلاف جهت محور x خواهد بود. می‌دانیم که این‌طور نیست.) پس دو حالت ممکن است رخ دهد.

اگر بار q_1 مثبت و بار q_2 منفی باشد، با توجه به شکل مقابل داریم:



$$\begin{cases} F_{rr} + F_{lr} = F_r \Rightarrow k \frac{|q_2||q_3|}{r_{lr}^2} + k \frac{|q_1||q_3|}{r_{lr}^2} = F_r \Rightarrow 90 \times \frac{|q_2| \times 2}{6^2} + 90 \times \frac{|q_1| \times 2}{4^2} = 60 \\ F'_{rr} - F'_{lr} = F'_r \Rightarrow k \frac{|q_2||q_3|}{r_{lr}^2} - k \frac{|q_1||q_3|}{r_{lr}^2} = F'_r \Rightarrow 90 \times \frac{|q_2| \times 2}{6^2} - 90 \times \frac{|q_1| \times 2}{4^2} = 130 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 5|q_2| + \frac{45}{2}|q_1| = 60 \\ 5|q_2| - \frac{45}{2}|q_1| = 130 \end{cases} \xrightarrow{(\times 1)} \begin{cases} 5|q_2| + \frac{45}{2}|q_1| = 60 \times 9 \\ 5|q_2| - \frac{45}{2}|q_1| = 130 \end{cases} \xrightarrow{\text{تفریق دو معادله}} \frac{(9 \times 45) + \Delta}{4}|q_1| = 410$$

$$\Rightarrow \frac{410}{4}|q_1| = 410 \Rightarrow |q_1| = 4 \mu C \xrightarrow{q_1 > 0} q_1 = 4 \mu C$$

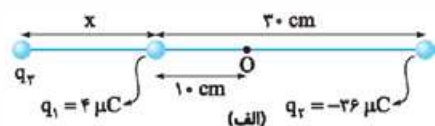
در این حالت $q_2 = -3 \mu C$ است.

اگر هر دو بار منفی باشند، با حل معادلات مربوطه به جواب‌های $q_2 = -3 \mu C$ و $|q_1| = -4 \mu C$ می‌رسید که اولی غیر قابل قبول است.

۴۲۴- گزینه ۱ بارهای q_1 و q_2 ناهم‌نام‌اند؛ بنابراین برای این‌که نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 برابر صفر باشد، این بار باید مطابق شکل زیر در سمت چپ بار q_1 قرار بگیرد. x به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{rr} = F_{lr} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30+x)^2} \Rightarrow \left(\frac{30+x}{x}\right)^2 = \frac{36}{4} \Rightarrow \frac{30+x}{x} = 3 \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

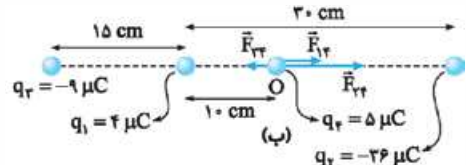
نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_1 هم برابر صفر است؛ بنابراین بار q_3 با بار q_2 هم‌نام است؛ یعنی $q_3 < 0$ و مقدار آن برابر است با:



$$F_{r1} = F_{l1} \Rightarrow k \frac{|q_2||q_1|}{x^2} = k \frac{|q_3||q_1|}{(30)^2} \Rightarrow \frac{|q_3|}{36} = \left(\frac{15}{30}\right)^2$$

$$\Rightarrow |q_3| = 9 \mu C \xrightarrow{q_3 < 0} q_3 = -9 \mu C$$

حالا مطابق شکل (ب)، بار $q_4 = 5 \mu C$ را در نقطه O قرار داده و نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن را به دست می‌آوریم:



$$F_{14} = k \frac{|q_1||q_4|}{r_{14}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{14} = 90 \times \frac{4 \times 5}{(10)^2} = 18 \text{ N}$$

$$F_{24} = k \frac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{24} = 90 \times \frac{36 \times 5}{(20)^2} = 40.5 \text{ N}$$

$$F_{34} = k \frac{|q_3||q_4|}{r_{34}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{34} = 90 \times \frac{9 \times 5}{(25)^2} = 6.48 \text{ N}, \quad F_{T(4)} = F_{14} + F_{24} - F_{34} = 18 + 40.5 - 6.48 = 52.02 \text{ N}$$

۴۲۵- گزینه ۲ اگر مطابق شکل (الف)، مؤلفه‌های $\vec{F}$ را در محل بار q_3 رسم کنیم، می‌فهمیم که بار

q_1 ، بار q_3 را با نیروی $\vec{F}_1 = (20 \text{ N})\vec{i}$ دفع و بار q_2 ، بار q_3 را با نیروی $\vec{F}_2 = (30 \text{ N})\vec{j}$ جذب می‌کند. حالا شکل (ب) را ببینید. فاصله بارهای q_1 و q_3 ، نسبت به شکل (الف)، ۲ برابر شده و فاصله بارهای q_2 و q_3 همان مقدار a است، پس در این شکل، بار q_1 ، بار q_3 را با نیروی $\vec{F}'_1$ دفع می‌کند؛ به طوری که:

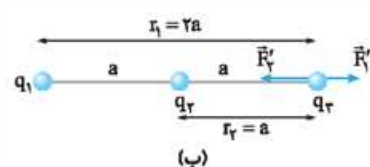
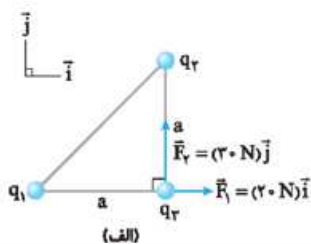
$$\frac{1}{4} F \propto \frac{1}{r^2} \rightarrow \vec{F}'_1 = \frac{1}{4} \vec{F}_1 = (5 \text{ N})\vec{i}$$

$$\vec{F}'_2 = (-30 \text{ N})\vec{j}$$

و بار q_2 ، بار q_3 را با نیرویی به همان اندازه $\vec{F}_2$ جذب می‌کند. یعنی:

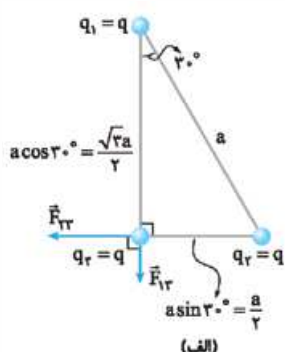
بنابراین، برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 در شکل (ب) برابر است با:

$$\vec{F}_{T(3)} = \vec{F}'_1 + \vec{F}'_2 = (5 \text{ N})\vec{i} + (-30 \text{ N})\vec{j} = (-25 \text{ N})\vec{j}$$



۴۲۶- گزینه ۱

در شکل (الف)، وتر مثلث را برابر a در نظر گرفتیم و دو ضلع دیگر مثلث را بر حسب a به دست آوردیم. بزرگی نیروهای الکتریکی که بارهای $q_1 = q$ و $q_2 = q$ به بار $q_3 = q$ وارد می‌کنند، به صورت زیر به دست می‌آید:



$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{(\frac{\sqrt{3}a}{2})^2} = \frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2}$$

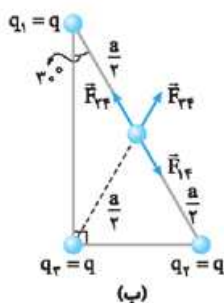
$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{(\frac{a}{2})^2} = 4k \frac{q^2}{a^2}$$

بزرگی برایند دو بردار عمود بر هم $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ برابر با $4\sqrt{5} \text{ N}$ است؛ بنابراین:

$$F_{T(3)} = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{(\frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2})^2 + (4k \frac{q^2}{a^2})^2} \Rightarrow 4\sqrt{5} = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{(\frac{4}{3})^2 + 4^2}$$

$$\Rightarrow 4\sqrt{5} = 4k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + 1^2} \Rightarrow 4\sqrt{5} = \frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{1^2 + 3^2} \Rightarrow k \frac{q^2}{a^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \text{ N}$$

حالا مطابق شکل (ب)، بار $q_4 = q$ را در وسط وتر مثلث قرار می‌دهیم. واضح است که $\vec{F}_{14}$ و $\vec{F}_{24}$ هم‌اندازند و همدیگر را خنثی می‌کنند. پس کافی است که بزرگی $\vec{F}_{34}$ را به دست آوریم. برای این کار، به فاصله بار q_3 تا بار q_4 نیاز داریم. نکته زیر به کمکتان می‌آید:



نکته

در مثلث قائم‌الزاویه، میانه وارد بر وتر، نصف وتر است.

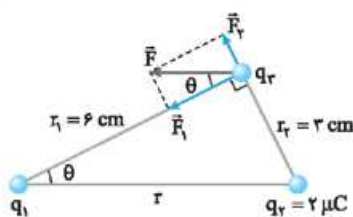
بر اساس نکته بالا، فاصله بار q_3 تا بار q_4 برابر $\frac{a}{2}$ است. داریم:

$$F_{34} = k \frac{|q_3||q_4|}{(\frac{a}{2})^2} = 4k \frac{q^2}{a^2} \xrightarrow{k \frac{q^2}{a^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2}} F_{34} = 6\sqrt{2} \text{ N}$$

$$F_{T(4)} = F_{34} = 6\sqrt{2} \text{ N}$$

۴۲۷- گزینه ۲

مطابق شکل مقابل، ابتدا مؤلفه‌های $\vec{F}$ را رسم می‌کنیم. جهت $\vec{F}_1$ نشان می‌دهد که بار q_2 ، بار q_3 را دفع می‌کند و جهت $\vec{F}_2$ نشان می‌دهد که بار q_1 ، بار q_3 را جذب می‌کند؛ بنابراین بار q_1 ، ناهم‌نام با بار q_2 یعنی منفی است. به کمک برابری زوایای θ نشان داده شده در شکل، q_1 را محاسبه می‌کنیم:



$$\begin{cases} \tan \theta = \frac{F_2}{F_1} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow \frac{k \frac{|q_2||q_3|}{r_2^2}}{k \frac{|q_1||q_3|}{r_1^2}} = \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow \frac{|q_2|}{|q_1|} = (\frac{r_2}{r_1})^2 \Rightarrow \frac{2}{|q_1|} = (\frac{3}{6})^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow |q_1| = 16 \mu\text{C} \xrightarrow{q_1 < 0} q_1 = -16 \mu\text{C}$$

$$r = \sqrt{6^2 + 3^2} = 3\sqrt{5} \text{ cm}$$

$$\sin \theta = \frac{F_2}{F} \xrightarrow{\sin \theta = \frac{r_2}{r\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}} \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{F_2}{30\sqrt{5}} \Rightarrow F_2 = 30 \text{ N}$$

وتر مثلث برابر است با:

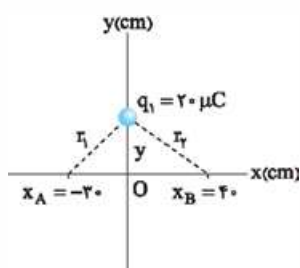
اندازه $\vec{F}_2$ را به دست می‌آوریم:

چون بار q_2 ، بار q_3 را دفع می‌کند، بار q_3 مثبت است. داریم:

$$F_2 = k \frac{|q_2||q_3|}{r_2^2} \Rightarrow 30 = 90 \times \frac{2 \times |q_3|}{3^2} \Rightarrow |q_3| = \frac{30}{10} = 3 \mu\text{C} \xrightarrow{q_3 > 0} q_3 = 3 \mu\text{C}$$

۴۲۸- گزینه ۲

نیروی را که بار q_2 به بار q_1 در موقعیت‌های A و B وارد می‌کند به ترتیب با F_1 و F_2 نشان می‌دهیم. با توجه به شکل روبه‌رو داریم:



$$\begin{cases} F_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{r_1^2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \Rightarrow \frac{r}{5} = \frac{y^2 + (-30)^2}{y^2 + 40^2} \\ F_2 = k \frac{|q_1||q_2|}{r_2^2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{18}{25} = \frac{y^2 + 900}{y^2 + 1600} \Rightarrow 18y^2 + 18 \times 1600 = 25y^2 + 25 \times 900$$





$$y^2 = 18 \times 1600 - 25 \times 900 = 900 \quad (32 - 25) \Rightarrow y^2 = 900 \Rightarrow y = 30 \text{ cm}$$

$$F_1 = \frac{90 |q_1| |q_2|}{r_1^2} \Rightarrow \Delta = \frac{90 \times 20 \times |q_2|}{30^2 + 30^2} \Rightarrow \Delta = \frac{1800 |q_2|}{1800} \Rightarrow |q_2| = \Delta \mu\text{C} \xrightarrow{q_2 \text{ و } q_1 \text{ هم‌نام‌اند}} q_2 = \Delta \mu\text{C}$$

۴۲۹- گزینه ۲ اندازه نیروی الکتریکی که هر یک از بارهای q_1 و q_2 به بار q_3 وارد می‌کنند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$r^2 = 20^2 + 20^2 = 2 \times 20^2$$

$$F_{13} = F_{23} = k \frac{|q_1| |q_3|}{r^2} = 90 \times \frac{10 |q_3|}{2 \times 20^2} = \frac{2}{25} |q_3|$$

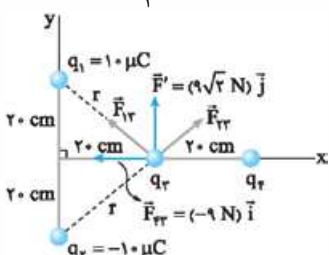
$$F' = \sqrt{2} F_{13} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{2}{25} |q_3| \quad (I)$$

برایند این دو نیروی هم‌اندازه و عمود بر هم برابر است با:

علامت بار q_3 هر چه باشد، $\vec{F}$ در راستای محور y خواهد بود؛ پس مؤلفه $\vec{F}$ نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 همان $\vec{F}'$ و مؤلفه $\vec{F}$ آن بیانگر نیروی الکتریکی است که بار q_3 به بار q_4 وارد می‌کند.

با توجه به این که $\vec{F}'$ در جهت محور y است، می‌توان نتیجه گرفت که مطابق شکل زیر بار q_1 ، q_3 را جذب و بار q_2 ، q_3 را دفع می‌کند. پس:

$$q_3 < 0 \quad \text{حالا } q_3 \text{ را به دست می‌آوریم:} \quad (I): 9\sqrt{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{2}{25} |q_3| \Rightarrow |q_3| = 8 \mu\text{C} \xrightarrow{q_3 < 0} q_3 = -8 \mu\text{C}$$



نوبت محاسبه q_4 است. چون $\vec{F}_{34}$ در خلاف جهت محور x است، می‌توان گفت که بارهای q_3 و q_4 هم‌نام‌اند؛ پس:

$$F_{34} = k \frac{|q_3| |q_4|}{r^2} \Rightarrow 9 = 90 \frac{|q_4| \times 8}{(20)^2}$$

و داریم:

$$\Rightarrow |q_4| = 8 \mu\text{C} \xrightarrow{q_3 < 0} q_4 = -8 \mu\text{C}$$

۴۳۰- گزینه ۴ استراتژی برای صفرشدن نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 باید سه شرط زیر برقرار باشد:

۱ بارهای q_1 و q_3 هم‌نام و این دو بار با بار q_4 ناهم‌نام باشند تا برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ در خلاف جهت $\vec{F}_2$ قرار بگیرد. پس:

۲ برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ در امتداد $\vec{F}_2$ (یعنی در امتداد قطر مستطیل) باشد.

۳ برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ هم‌اندازه با $\vec{F}_2$ باشد.

با توجه به شکل روبه‌رو، شرط‌های (۲) و (۳) را بررسی می‌کنیم (فرض می‌کنیم $q_2 > 0$ است):

$$\text{شرط (۲): } \begin{cases} \tan \theta_1 = \frac{F_3}{F_1} \\ \tan \theta_2 = \frac{r}{r} \end{cases} \xrightarrow{\theta_1 = \theta_2} \frac{F_3}{F_1} = \frac{r}{r} \Rightarrow \frac{k \frac{|q_3| |q_2|}{r_3^2}}{k \frac{|q_1| |q_2|}{r_1^2}} = \frac{r}{r} \Rightarrow \frac{|q_3|}{|q_1|} \left(\frac{r}{r}\right)^2 = \frac{r}{r} \Rightarrow \frac{|q_3|}{|q_1|} = \left(\frac{r}{r}\right)^2$$

$$\text{شرط (۳): } F_{1,3} = F_2 \Rightarrow \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = F_2 \Rightarrow \sqrt{\left(k \frac{|q_1| |q_2|}{r_1^2}\right)^2 + \left(k \frac{|q_3| |q_2|}{r_3^2}\right)^2} = k \frac{|q_2| |q_4|}{r_2^2}$$

$$\Rightarrow k |q_2| \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{|q_3|^2}{r_3^4}} = k \frac{|q_2| |q_4|}{r_2^2} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۲)}} \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \left(\frac{r}{r}\right)^4 \frac{|q_1|^2}{r_1^4}} = \frac{\Delta}{r_2^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{r^2}{r_1^4} |q_1|^2} = \frac{\Delta}{r_2^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r_1^2} \sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_1}\right)^2} = \frac{\Delta}{r_2^2} \Rightarrow |q_1| = \Delta \times \left(\frac{r}{r_1}\right)^2 = 256 \text{ nC} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۱)}} q_1 = -256 \text{ nC}$$

در این تست $q_3 = -108 \text{ nC}$ است.

۴۳۱- گزینه ۴ مطابق شکل (الف)، نیروی الکتریکی که بار q_3 به بار q_2 وارد می‌کند، در جهت $-\vec{i}$ است؛ بنابراین:

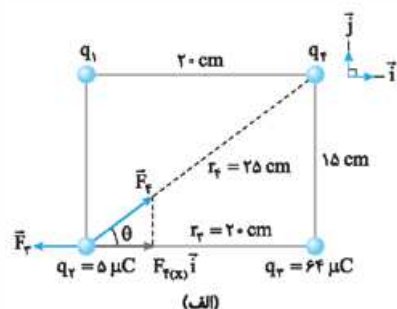
$$F_3 = k \frac{|q_3| |q_2|}{r_3^2} = 90 \times \frac{64 \times 5}{20^2} = 72 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_3 \text{ در جهت } -\vec{i}} \vec{F}_3 = (-72 \text{ N}) \vec{i}$$

نیروی الکتریکی که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند، در راستای $\vec{j}$ است (فعلاً جهش رو نمی‌دونیم).

برای این که نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 در راستای $\vec{j}$ باشد، لازم است که مؤلفه $\vec{i}$ نیروی

الکتریکی که q_4 به q_2 وارد می‌کند، $\vec{F}_4$ را خنثی کند. پس:

$$F_{4(x)} \vec{i} = -\vec{F}_3 = (72 \text{ N}) \vec{i}$$





با توجه به $\vec{F}_{(x)} \vec{i} = (72 \text{ N}) \vec{i}$ می‌توان نتیجه گرفت که بار q_r را جذب می‌کند: $q_r < 0$

$$\cos \theta = \frac{F_{(x)}}{F_r} = \frac{72}{\sqrt{72^2 + 144^2}} \Rightarrow \frac{72}{F_r} = \frac{72}{144} \Rightarrow F_r = 90 \text{ N}$$

و اندازه $\vec{F}_r$ برابر است با:

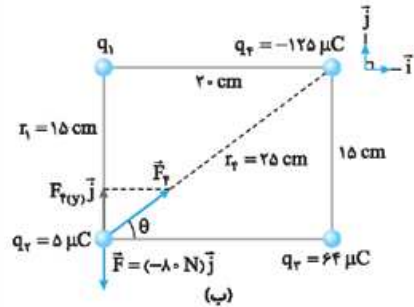
$$F_r = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_r^2} \Rightarrow 90 = 90 \times \frac{|q_r| \times 5}{25^2} \Rightarrow |q_r| = 125 \mu\text{C} \xrightarrow{q_r < 0} q_r = -125 \mu\text{C}$$

حالا q_r را به دست می‌آوریم:

با توجه به شکل (ب)، مؤلفه $\vec{j}$ نیروی $\vec{F}_r$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\sin \theta = \frac{F_{(y)}}{F_r} = \frac{144}{90} \Rightarrow \frac{F_{(y)}}{90} = \frac{144}{90} \Rightarrow F_{(y)} = 54 \text{ N} \xrightarrow{\vec{j} \text{ در جهت } \vec{F}_{(y)}} \vec{F}_{(y)} = (54 \text{ N}) \vec{j}$$

$\vec{F}_r$ به صورت زیر به دست می‌آید:



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_{(y)} \Rightarrow (-80 \text{ N}) \vec{j} = \vec{F}_1 + (54 \text{ N}) \vec{j} \Rightarrow \vec{F}_1 = (-134 \text{ N}) \vec{j}$$

$\vec{F}_1$ در جهت $-\vec{j}$ است، پس بار q_1 مثبت است و داریم:

$$F_1 = k \frac{|q_1| |q_r|}{r_1^2} \Rightarrow 134 = 90 \times \frac{|q_1| \times 5}{15^2} \Rightarrow |q_1| = 67 \mu\text{C} \xrightarrow{q_1 > 0} q_1 = 67 \mu\text{C}$$

۴۳۲- گزینه ۴ استراتژی برای صفرشدن نیروی الکتریکی خالص وارد بر q_2 ، برقراری سه شرط لازم است:

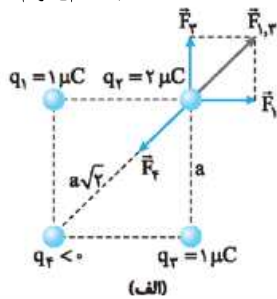
۱ بارهای q_1 و q_3 هم‌نام و این دو بار با بار q_2 ناهم‌نام باشند تا برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ در خلاف جهت $\vec{F}_2$ قرار بگیرد. پس:

۲ بارهای q_1 و q_3 هم‌اندازه باشند تا $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ هم‌اندازه شده و در نتیجه برآیند آن‌ها در امتداد $\vec{F}_2$ (یعنی در امتداد قطر مربع) قرار بگیرد. پس:

$$F_1 = F_3 \text{ و } q_1 = 1 \mu\text{C}$$

۳ برآیند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ هم‌اندازه با $\vec{F}_2$ باشد.

با توجه به شکل (الف):



$$(۳) \text{ شرط } F_r = F_{1,r} \Rightarrow F_r = \sqrt{F_1^2 + F_3^2}$$

$$\xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۲)}} F_r = \sqrt{2} F_1 \Rightarrow k \frac{|q_r| |q_r|}{(a\sqrt{2})^2} = \sqrt{2} k \frac{|q_1| |q_r|}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{|q_r|}{a\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2} |q_1|}{a} \Rightarrow |q_r| = 2\sqrt{2} \mu\text{C} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۱)}} q_r = -2\sqrt{2} \mu\text{C}$$

در شکل (ب) نیروهای وارد بر q_2 را رسم کرده‌ایم. داریم:

$$F'_1 = k \frac{|q_1| |q_r|}{a^2} = 90 \times \frac{1 \times 2\sqrt{2}}{30^2} = 0 / 2\sqrt{2} \text{ N}$$

$$F'_3 = F'_1 = 0 / 2\sqrt{2} \text{ N}$$

بارهای q_1 و q_3 هم‌اندازه‌اند و فاصله‌شان تا بار q_2 برابر است، پس:

برآیند $\vec{F}'_1$ و $\vec{F}'_3$ هم برابر است با:

$$F'_{1,r} = \sqrt{F_1'^2 + F_3'^2} = \sqrt{2} F'_1 = 0 / 4 \text{ N}$$

$$\frac{F_r}{F'_1} = \frac{q_r}{q_1} \times \left(\frac{a}{a\sqrt{2}} \right)^2 = 2 \times \frac{1}{2} = 1 \Rightarrow F_r = 0 / 2\sqrt{2} \text{ N}$$

F_r را حساب نکنید؛ زیرا هم‌اندازه با F'_1 است؛ این هم دلیلش:

$\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ هم‌جهت‌اند؛ بنابراین بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 برابر است با:

$$F_{T(2)} = F'_{1,r} + F_r = 0 / 4 + 0 / 2\sqrt{2} = \frac{2 + \sqrt{2}}{5} \text{ N}$$

۴۳۳- گزینه ۳ یکی از بارهای q ، مثلاً $q_1 = q$ را در نظر می‌گیریم. مطابق شکل (الف) نیروهای الکتریکی

که سایر بارها بر این بار وارد می‌کنند را رسم می‌کنیم. بارهای $q_2 = -q$ و $q_3 = -q$ با $q_1 = q$ را جذب

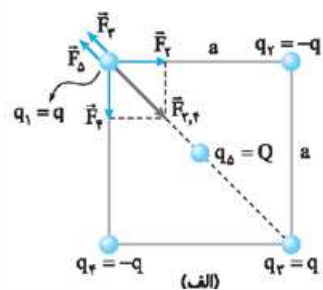
و بار $q_4 = q$ آن را دفع می‌کند. واضح است که برآیند $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ بزرگ‌تر از $\vec{F}_4$ است؛ بنابراین برای صفرشدن

نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $q_1 = q$ ، لازم است که بار $q_4 = Q$ ، بار $q_1 = q$ را دفع کند، پس این دو

بار هم‌نام‌اند. داریم:

$$F_r = F_r = k \frac{|q_r| |q_1|}{a^2} = k \frac{|q| |q|}{a^2} = k \frac{|q|^2}{a^2}$$

$$F_r = k \frac{|q_r| |q_1|}{(\sqrt{2}a)^2} = k \frac{|q| |q|}{2a^2} = \frac{1}{2} k \frac{|q|^2}{a^2}$$





$$\vec{F}_{r,f} = \sqrt{F_r^2 + F_f^2} = \sqrt{2}F_r = \sqrt{2}k \frac{|q|^2}{a^2}$$

برایند $\vec{F}_f$ و $\vec{F}_r$ برابر است با:

ابتدا اندازه $\vec{F}_\delta$ را محاسبه می‌کنیم و سپس نیروی الکتریکی خالص وارد بر $q_1 = q$ را برابر صفر قرار می‌دهیم تا Q به دست آید:

$$F_\delta = k \frac{|q_\delta||q_1|}{(\frac{\sqrt{2}}{2}a)^2} = 2k \frac{|Q||q|}{a^2}, \quad F_{T(1)} = 0 \Rightarrow F_r + F_\delta = F_{r,f} \Rightarrow \frac{1}{2}k \frac{|q|^2}{a^2} + 2k \frac{|Q||q|}{a^2} = \sqrt{2}k \frac{|q|^2}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}|q| + 2|Q| = \sqrt{2}|q| \Rightarrow |Q| = (\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2})|q| \xrightarrow{q, Q \text{ هم‌نام‌اند}} Q = (\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2})q$$

حالا یکی از بارهای $-q$ ، مثلاً $q_2 = -q$ را در نظر می‌گیریم. مطابق شکل (ب) نیروهای الکتریکی که سایر

بارها به این بار وارد می‌کنند را رسم می‌کنیم. بارهای $q_1 = q$ ، $q_3 = q$ و $q_\delta = (\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2})q$ بار $q_2 = -q$ را جذب و بار $q_4 = -q$ آن را دفع می‌کند. داریم:

$$F'_1 = F'_3 = k \frac{|q_1||q_2|}{a^2} = k \frac{|q|^2}{a^2}, \quad F'_4 = k \frac{|q_4||q_2|}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{1}{2}k \frac{|q|^2}{a^2}$$

$$F'_{1,3} = \sqrt{F_1'^2 + F_3'^2} = \sqrt{2}F'_1 = \sqrt{2}k \frac{|q|^2}{a^2}$$

$$F'_\delta = k \frac{|q_\delta||q_2|}{(\frac{\sqrt{2}}{2}a)^2} = k \frac{(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2})|q|^2}{\frac{1}{2}a^2} = k \frac{(\sqrt{2} - \frac{1}{2})|q|^2}{a^2}$$

اندازه نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $q_2 = -q$ برابر است با:

$$F_{T(2)} = F'_{1,3} + F'_\delta - F'_4 = \sqrt{2}k \frac{|q|^2}{a^2} + k \frac{(\sqrt{2} - \frac{1}{2})|q|^2}{a^2} - \frac{1}{2}k \frac{|q|^2}{a^2} = k \frac{|q|^2}{a^2} (\sqrt{2} + \sqrt{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}) = k \frac{|q|^2}{a^2} \times 2 \times (\sqrt{2} - \frac{1}{2})$$

اندازه نیرویی که هر بار q بر هر بار $-q$ وارد می‌کند، همان F'_1 (یا F'_3) است. بنابراین خواسته تست به صورت زیر محاسبه می‌شود:

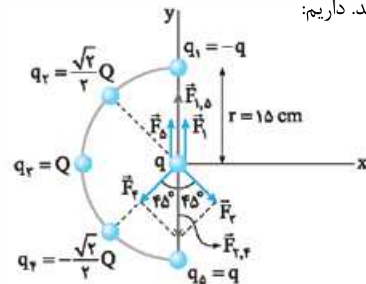
$$\frac{F_{T(2)}}{F'_1} = \frac{k \frac{|q|^2}{a^2} \times 2 \times (\sqrt{2} - \frac{1}{2})}{k \frac{|q|^2}{a^2}} = 2(\sqrt{2} - \frac{1}{2})$$

مطابق شکل، بار $q_1 = -q$ بار q را جذب و بار $q_\delta = q$ آن را دفع می‌کند. اندازه برایند $\vec{F}_\delta$ و $\vec{F}_1$ برابر است با:

$$F_{1,\delta} = F_1 + F_\delta \xrightarrow{(F_1=F_\delta)} F_{1,\delta} = 2F_1 = 2k \frac{|q_1||q|}{r^2} = 2k \frac{|q|^2}{r^2}$$

برایند نیروهای الکتریکی که بارهای q_2 و q_4 به بار q مرکزی وارد می‌کنند ($\vec{F}_{r,f}$)، در راستای محور y و نیروی الکتریکی که بار q_3 به بار q مرکزی وارد می‌کند ($\vec{F}_r$) در راستای محور x است؛ بنابراین برای این که نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q مرکزی در جهت محور x باشد، لازم است که $\vec{F}_{r,f}$ و $\vec{F}_\delta$ یکدیگر را خنثی

کنند و $\vec{F}_r$ برابر با $\vec{F} = (20 \text{ N})\vec{i}$ باشد. با این توضیحات باید، بار q_2 ، بار q مرکزی را دفع و بار q_4 آن را جذب کند. داریم:



$$F_r = F_f = k \frac{|q_2||q|}{r^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}k \frac{|Q||q|}{r^2}$$

$$F_{r,f} = \sqrt{F_r^2 + F_f^2} = \sqrt{2}F_r = k \frac{|Q||q|}{r^2}$$

$$F_{r,f} = F_{1,\delta} \Rightarrow k \frac{|Q||q|}{r^2} = 2k \frac{|q|^2}{r^2} \Rightarrow |Q| = 2|q|$$

$|q|$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F_r = 20 \text{ N} \Rightarrow k \frac{|q_2||q|}{r^2} = 20 \Rightarrow 90 \times \frac{2|q| \times |q|}{15^2} = 20 \Rightarrow |q|^2 = 25 \Rightarrow |q| = 5 \mu\text{C}$$

فرض می‌کنیم طول هر ضلع لوزی a است. در این صورت بزرگی نیرویی که بارهای q_1 و q_2 به هم وارد می‌کنند، برابر است با:

$$F_{1,2} = k \frac{|q_1||q_2|}{a^2} = k \frac{|q| \times |2q|}{a^2} \Rightarrow 2k \frac{|q|^2}{a^2} = 12 \Rightarrow k \frac{|q|^2}{a^2} = 6 \text{ N}$$

فاصله بارهای q_1 و q_2 از بار q_δ را با b و فاصله بارهای q_2 و q_4 از بار q_δ را با c نشان می‌دهیم. b و c را به کمک روابط مثلثاتی حساب می‌کنیم:

$$\sin 30^\circ = \frac{c}{a} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{c}{a} \Rightarrow c = \frac{1}{2}a$$

$$\cos 30^\circ = \frac{b}{a} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{b}{a} \Rightarrow b = \frac{\sqrt{3}}{2}a$$

