

## ...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 بدونید که ممکنه 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 یادتون بمونه علم و دانشی که کسب می‌کنید، ابزاریه که باید اون رو در راه درست به کار بگیرید. دانش وقتی ارزشمنده که در مسیر فیر 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 یه سریال آلمانی در ژانر علمی - تخیلی به نام دارک (DARK) سافته شد. توی این سریال مفاهیم فلسفی نظیر اختیار و سرنوشت در لابه‌لای پرفرمانس‌های انتهای از مفاهیم فیزیکی زمان و مکان وارد می‌شه و داستانی پیچیده و چندلایه رو توصیف می‌کنه. یکی از دیالوگ‌های مهمی 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 وجود 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 جست‌وجوهاست. همین نادانیه که باعث می‌شه درک برخی مفاهیم پرامون 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، شجاعت 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.

۱- این جمله نقل قولی از ایزاک نیوتون است.

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 نمری 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 مصلاهی»

■ 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  $C \times 10^{-19}$  -۹/۶ است.  $X$  کدام یک از عنصرهای زیر است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ ) (برگرفته از کتاب درسی)

- (۱)  $C \times 10^{-19}$  (۲)  $O \times 10^{-19}$  (۳)  $N \times 10^{-19}$  (۴)  $Be \times 10^{-19}$

۳۹۰- مجموع بار الکتریکی الکترون‌های موجود در  $90 \text{ cm}^3$  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)  $-9/6 \times 10^{-6}$

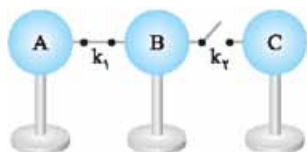
۳۹۱- با انتقال  $1/5 \times 10^{13}$  الکترون به یک جسم، اندازه بار الکتریکی آن نصف می‌شود. بار اولیه جسم چند میکروکولن می‌تواند باشد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

- (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  $3 \times 10^{14}$  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)  $3 \times 10^{14}$  (۲)  $6 \times 10^{14}$  (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؟



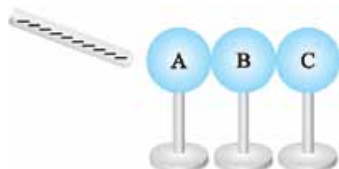
- (۱) ۱ (۲)  $1/3$  (۳)  $1/4$  (۴)  $3/4$

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 الکتریسیته 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  $20 \text{ cm}$  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  $5 \times 10^{-10}$  الکترون از گلوله A به گلوله B (۴) انتقال  $5 \times 10^{-10}$  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)  $2/5$ ، جاذبه (۲)  $2/5$ ، دافعه (۳)  $2/7$ ، جاذبه (۴)  $2/7$ ، 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)  $2/8$  (۲)  $4/0$  (۳)  $2/0$  (۴)  $5/6$

$q_2 = -50 \mu\text{C}$   $q_1 = 70 \mu\text{C}$

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)  $4/5 \vec{F}$  (۲)  $4/5 \vec{F}$  (۳)  $9/5 \vec{F}$  (۴)  $9/5 \vec{F}$

۴۰۵- دو گلوله رسانای مشابه در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از هم قرار دارند و به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی  $10/8 \text{ N}$  وارد می‌کنند. گلوله‌ها توسط سیم رسانای نازکی به هم وصل می‌شوند. وقتی که سیم برداشته شود، گلوله‌ها به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی  $0/36 \text{ N}$  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)  $2/0$ ، کاهش (۲)  $2/0$ ، افزایش (۳)  $2/5$ ، کاهش (۴)  $2/5$ ، 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 نارسا 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  $100 \text{ g}$  و بار  $q_1 = +20 \mu\text{C}$  به انتهای نخ که حداکثر می‌تواند نیروی کشش  $7 \text{ N}$  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  $20\text{ g}$  را به انتهای فنر سبکی به طول  $40\text{ cm}$  بسته و از سقف آویزان می‌کنیم. در این حالت طول فنر به  $50\text{ cm}$  می‌رسد. سپس دو ذره با بار مثبت و هم‌اندازه را به دو انتهای فنر بسته و مجموعه را روی سطح افقی بدون اصطکاک رها می‌کنیم. اگر طول فنر در این حالت به  $45\text{ cm}$  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).

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

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؟

(۱)  $12$  (۲)  $24$  (۳)  $48$  (۴)  $60$



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؟

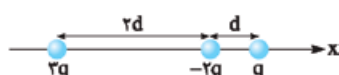
(۱)  $1/5$  (۲)  $4/5$  (۳)  $-4/5$  (۴)  $-1/5$

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  $q_3$  به سمت چپ بار  $q_1$  منتقل شود، نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_1$  برابر  $-\frac{7}{3}\vec{F}$  می‌شود.  $\frac{q_2}{q_3}$  کدام است؟



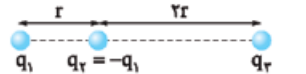
(۱)  $\frac{5}{8}$  (۲)  $-\frac{5}{8}$  (۳)  $\frac{8}{5}$  (۴)  $-\frac{8}{5}$

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؟ (مشابه تهرانی خارج ۱۳۰۱ و ریاضی خارج ۱۳۰۰)



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

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؟



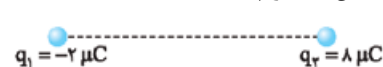
(۱)  $9$  (۲)  $-9$  (۳)  $\frac{18}{7}$  (۴)  $-\frac{18}{7}$

۴۱۶- در شکل زیر، دو بار الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  در فاصلهٔ  $9$  سانتی‌متری از یکدیگر روی محور  $x$  قرار دارند. بار  $q_2 = 2\text{ }\mu\text{C}$  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  $q_2$  چند نیوتون می‌شود؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ )



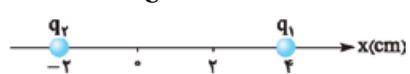
(۱)  $12/5\vec{i}$  (۲)  $-12/5\vec{i}$  (۳)  $50\vec{i}$  (۴)  $-50\vec{i}$

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؟



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

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



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

۴۱۹- مطابق شکل زیر، نیروی خالص الکتریکی 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؟ (مشابه تهرانی ۱۳۰۰)



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



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

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



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

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

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

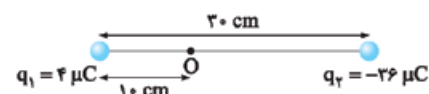
$$(-810 \text{ N}) \vec{i} \quad (4)$$

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،

$$\text{در SI کدام است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \quad (\text{مشابه ریاضی خارج ۱۱۴۰۱})$$

$$120 \vec{i} \quad (1) \quad -120 \vec{i} \quad (2) \quad 135 \vec{i} \quad (3) \quad -135 \vec{i} \quad (4)$$

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  $q_2$  و  $q_3$  عوض شود، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_1$  چند برابر بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  می‌شود؟ (مشابه تهری ۱۱۴۰۰)



$$\frac{257}{16} \quad (1) \quad 15 \quad (2) \quad \frac{257}{15} \quad (3) \quad 17 \quad (4)$$

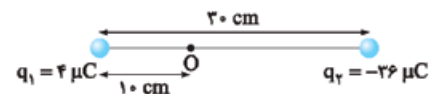
۴۲۳- بارهای نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  روی محور  $x$  به ترتیب در نقطه‌های  $x_1 = 2 \text{ cm}$  و  $x_2 = 12 \text{ cm}$  قرار دارند. اگر بار نقطه‌ای  $q_3 = 2 \mu\text{C}$  در نقطه  $x_3 = 6 \text{ cm}$  قرار بگیرد، نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن  $\vec{F}_3 = (60 \text{ N}) \vec{i}$  و اگر در نقطه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

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

$$3 \quad (1) \quad -3 \quad (2) \quad 4 \quad (3) \quad -4 \quad (4)$$

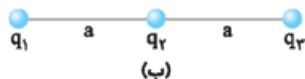
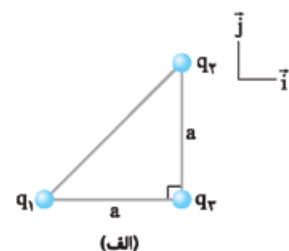
۴۲۴- مطابق شکل زیر دو بار الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  روی محوری قرار دارند. بار الکتریکی  $q_3$  را در نقطه‌ای روی این محور قرار می‌دهیم تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر سه بار برابر صفر شود. اگر بار  $q_4 = 5 \mu\text{C}$  در نقطه  $O$  قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن چند نیوتون

$$\text{است؟ } (k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \quad (\text{مشابه تهری ۹۷})$$



$$52/02 \quad (1) \quad 58/4 \quad (2) \quad 64/98 \quad (3) \quad 71/2 \quad (4)$$

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؟



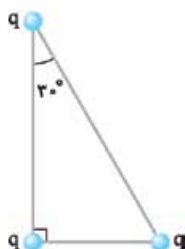
$$(25 \text{ N}) \vec{i} \quad (1)$$

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

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

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

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؟



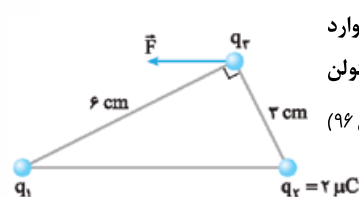
$$6\sqrt{2} \quad (1)$$

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

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

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

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



(مشابه تهری ۹۶)

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

$$1/5, -16 \quad (2) \quad 6, -16 \quad (1)$$

$$1/5, -4 \quad (4) \quad 6, -4 \quad (3)$$

۴۲۸- در شکل مقابل، اگر بار  $q_2$  را در نقاط A و B قرار دهیم، به ترتیب با نیروهای الکتریکی ای به بزرگی  $5\text{ N}$  و  $0.3/6\text{ N}$  بار  $q_1$  را دفع می‌کند.  $q_2$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

- (۱) ۴
- (۲) ۵
- (۳) ۱۵
- (۴) ۳۰

۴۲۹- چهار ذره باردار مطابق شکل قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  برابر  $\vec{J} + (9\sqrt{2}\text{ N})\vec{I} + (-9\text{ N})\vec{J}$  باشد،  $q_4$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$  (مشابه تهری نوبت اول ۱۳۰۲)

- (۱) -۸
- (۲) -۵
- (۳) +۸
- (۴) +۵

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؟

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

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

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

۴۳۲- در شکل مقابل، چهار ذره باردار در رأس‌های مربعی که طول ضلع آن  $30\text{ cm}$  است ثابت شده‌اند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  صفر باشد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_4$  چند نیوتون است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

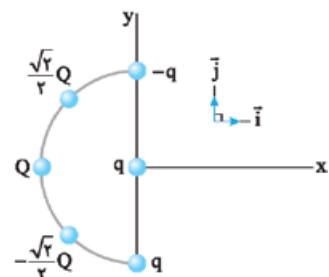
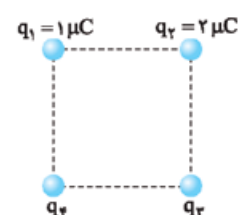
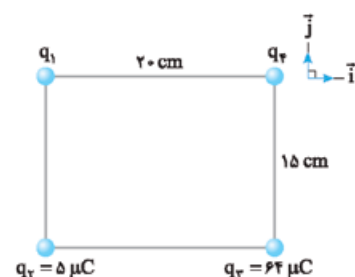
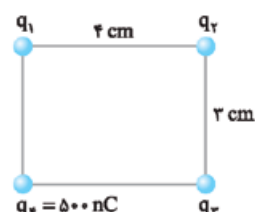
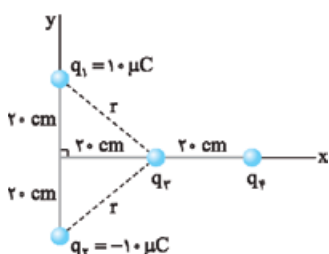
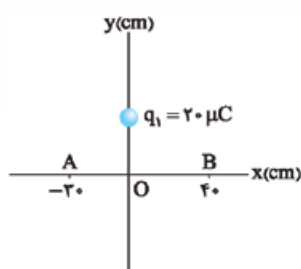
- (۱) صفر
- (۲)  $\frac{4 + \sqrt{2}}{10}$
- (۳)  $\frac{2 - \sqrt{2}}{5}$
- (۴)  $\frac{2 + \sqrt{2}}{5}$

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؟

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

۴۳۴- مطابق شکل روبه‌رو ۵ بار الکتریکی نقطه‌ای در فاصله‌های مساوی از یکدیگر روی محیط نیم‌دایره‌ای به شعاع  $15\text{ cm}$  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؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

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





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  $1000 \text{ kg/m}^3$  یا  $1 \text{ g/cm}^3$  است. پس  $90 \text{ cm}^3$  آب، جرمی معادل  $90 \text{ g}$  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  $90 \text{ g}$  آب شامل  $5 \text{ mol}$  آب است:

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

تعداد مولکول‌های آب موجود در این  $5 \text{ mol}$  برابر است با:

هر مولکول آب خنثی، ۱۰ تا پروتون دارد (۸ تا ش مال اکسیژن 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 (پون آله بار اولیه جسم منفی بود، با دادن الکترون به جسم، اندازه بارش بیشتر می‌شد). بار انتقال یافته را با  $\Delta q$

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

نشان می‌دهیم.

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

اندازه بار الکتریکی جسم، نصف شده است؛ پس:

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

پوا 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:  $q_2 = 1/6 - 2/4 = -1/8 \mu\text{C}$

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:

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

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

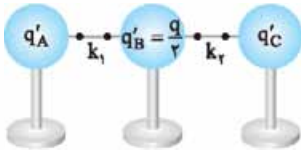
$$-q = -ne \Rightarrow -96 \times 10^{-6} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{96}{1/6} \times 10^{13} = 6 \times 10^{14}$$

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:  $q'_A = q'_B = q'_C = \frac{q}{2}$

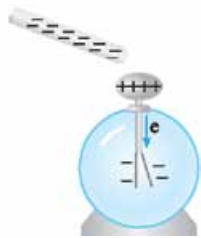
در ادامه، بازکردن کلید  $k_1$ ، تأثیری روی مقادیر بار کره‌ها ندارد.

بنابر 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 A و B 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 ( $\mu C$ ) 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 ۹۰ قرار دهید تا نیروی الکتریکی بر حسب نیوتون به دست آید. یعنی داریم:

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

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

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

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

$$F \propto |q_1| |q_2| \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1| |q'_2|}{|q_1| |q_2|} = \frac{2q_1 \times 24q_1}{q_1 \times 50q_1} = \frac{4}{5}$$

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

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 مهم ترین 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 قطعاً اندازه نیروی الکتریکی بینشان زیاد می‌شه.) پس  $q_1 q_2 < 0$  است و داریم:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow 0.108 = 90 \times \frac{|q_1| |q_2|}{5^2} \Rightarrow |q_1| |q_2| = \frac{108 \times 25}{90} = 3 \text{ (}\mu\text{C)}^2 \xrightarrow{(q_1 q_2 < 0)} q_1 q_2 = -3 \text{ (}\mu\text{C)}^2$$

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

پس از اتصال، بار گلوله‌ها یکسان می‌شود:

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

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:

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

گزینه ۱ - ۴۰۶

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:

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

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

گزینه ۱ - ۴۰۷

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:

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

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

**توجه** 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.

گزینه ۳ - ۴۰۸

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:

حالا  $q_2$  را به دست می‌آوریم:

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

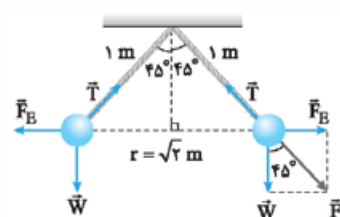
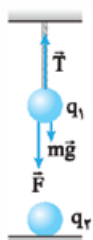
گزینه ۲ - ۴۰۹

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:

$$F_E = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = 9 \times \frac{40 \times 40}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 72 \text{ N}$$

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

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

$$T = \sqrt{F_E^2 + W^2} = \sqrt{F_E^2 + F_E^2} = \sqrt{2} F_E = 72\sqrt{2} \text{ N}$$

## 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:

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

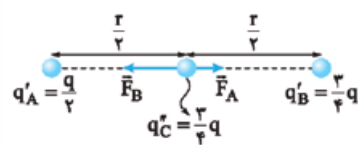
در حالت دوم اندازه نیروی کشسانی فنر برابر اندازه نیروی الکتریکی است که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند:

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

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

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  $16 \text{ N}$  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

$$\begin{cases} \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ \vec{F}_2 = -\vec{F} \end{cases} \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F} \Rightarrow \vec{F}_1 = 2\vec{F} \Rightarrow F_1 = 2F \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{k \frac{|q_1| |q|}{r^2}}{k \frac{|q_2| |q|}{(2r)^2}} \Rightarrow \frac{2F}{F} = \left| \frac{q_1}{q_2} \right| \times 9 \Rightarrow \left| \frac{q_2}{q_1} \right| = \frac{9}{2} = 4.5$$

$$\frac{q_2}{q_1} = 4.5$$

$q_1$  و  $q_2$  هم‌نام‌اند (هر ۶)؛ 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:

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

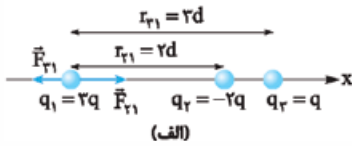
حالت اول را در نظر بگیرید. بارهای  $q_2$  و  $q_3$  در یک سمت بار  $q_1$  قرار دارند و  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  در خلاف جهت یکدیگرند؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که بارهای  $q_2$

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

$$\frac{\vec{F}_2}{\vec{F}_3} = \frac{k \frac{|q_2| |q_1|}{r^2}}{k \frac{|q_3| |q_1|}{r^2}} \Rightarrow \frac{2}{3} F = \frac{|q_2|}{|q_3|} \times \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{|q_2|}{|q_3|} = \frac{8}{5} \xrightarrow{q_2 \text{ و } q_3 \text{ ناهم‌نام‌اند}} \frac{q_2}{q_3} = -\frac{8}{5}$$

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.)

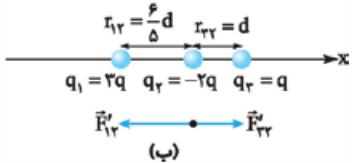


$$F_{r1} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{12}^2} = k \frac{|-2q||3q|}{(2d)^2} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ در جهت محور } x} \vec{F}_{r1} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$F_{r1} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{11}^2} = k \frac{|q||3q|}{(3d)^2} = \frac{1}{3} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}_{r1} = -\frac{1}{3} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\vec{F}_{T(1)} = \vec{F} = \vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r2} = \frac{3}{2} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} - \frac{1}{3} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} = \frac{7}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

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



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

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

$$\vec{F}'_{r2} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{11}^2} = k \frac{|q||-2q|}{d^2} = 2k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\vec{F}'_{r2} \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}'_{r2} = 2k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

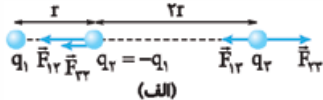
$$\vec{F}'_{T(1)} = \vec{F}' = \vec{F}'_{r1} + \vec{F}'_{r2} = -\frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} + 2k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} = -\frac{13}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\frac{F'_{T(1)}}{F_{T(1)}} = \frac{13}{7} \Rightarrow F'_{T(1)} = \frac{13}{7} F_{T(1)} \xrightarrow{\vec{F}'_{T(1)} \text{ در خلاف جهت } \vec{F}_{T(1)}} \vec{F}'_{T(1)} = -\frac{13}{7} \vec{F}$$

در پایان:

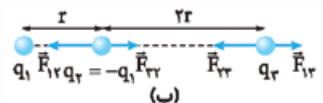
گزینه ۳ - ۴۱۵

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:



$$\begin{cases} F_{T(r)} = F_{12} + F_{23} \\ F_{T(r)} = F_{23} - F_{13} \end{cases} \xrightarrow{F_{23}=F_{23}} F_{T(r)} > F_{T(r)}$$

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.



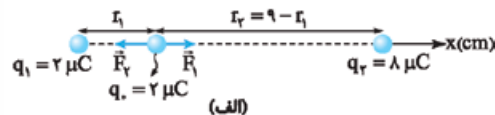
$$|F_{T(r)}| = |F_{T(r)}| \rightarrow |F_{12} - F_{23}| = |F_{23} - F_{13}|$$

$$\xrightarrow{\vec{F}_{T(r)} \text{ و } \vec{F}'_{T(r)} \text{ هم جهت اند}} F_{12} - F_{23} = F_{23} - F_{13} \Rightarrow F_{12} + F_{13} = F_{23} + F_{23} \rightarrow k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} + k \frac{|q_1||q_3|}{(2r)^2} = 2k \frac{|q_2||q_3|}{(2r)^2}$$

$$\xrightarrow{|q_1|=|q_2|} \frac{|q_1|}{r^2} + \frac{|q_3|}{4r^2} = \frac{2|q_3|}{4r^2} \rightarrow |q_1| = \frac{|q_3|}{2} - \frac{|q_3|}{4} \rightarrow |q_1| = \frac{1}{4} |q_3| \xrightarrow{q_3 \text{ و } q_1 \text{ هم نام اند}} \frac{q_3}{q_1} = \frac{1}{4}$$

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.



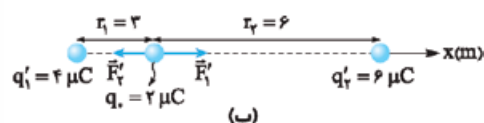
$$F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2} \Rightarrow \frac{2}{r_1^2} = \frac{8}{(9-r_1)^2} \Rightarrow \frac{9-r_1}{r_1} = 2 \Rightarrow 9-r_1 = 2r_1 \Rightarrow 9 = 3r_1 \Rightarrow r_1 = 3 \text{ cm}, r_2 = 6 \text{ cm}$$

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:

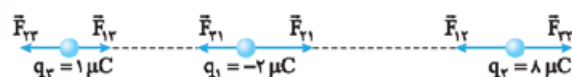


$$F'_1 = k \frac{|q'_1||q_3|}{r_1^2} = 9 \times \frac{4 \times 2}{3^2} = 8 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}'_1 \text{ در جهت محور } x} \vec{F}'_1 = (8 \text{ N}) \vec{i}$$

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

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

نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_3$  برابر است با:



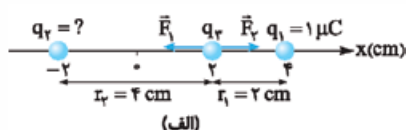
**۴۱۷- گزینه ۲** چون  $q_1$  و  $q_2$  ناهم‌نام‌اند،  $q_3$  باید خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک‌تر به بار کوچک‌تر ( $q_1$ ) قرار بگیرد تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل روبه‌رو:

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

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

دریابا 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  $q_2$  هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند.

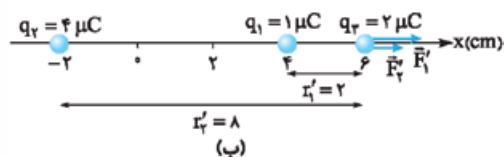
**۴۱۸- گزینه ۳** نقطه تعادل بار  $q_3$  بین دو بار قرار دارد، پس می‌توان نتیجه گرفت که بار  $q_3$  هم‌نام با بار  $q_1$ ، یعنی مثبت است. با توجه به شکل (الف):



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

$$\Rightarrow \frac{|q_r|}{1} = \left(\frac{4}{2}\right)^2 = 4 \Rightarrow |q_r| = 4 \mu C \xrightarrow{q_r > 0} q_r = 4 \mu C$$

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



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

$$F'_r = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_r'^2} = 9 \times \frac{4 \times 2}{4^2} = 11/2 \text{ N}$$

$$\vec{F}'_T = (\vec{F}'_1 + \vec{F}'_r) \vec{i} = (4.5 + 11/2) \vec{i} = (56/2) \vec{i} = (28 \text{ N}) \vec{i}$$

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

**۴۱۹- گزینه ۴**

نکته

اگر سه بار الکتریکی نقطه‌ای 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 شده‌اند.

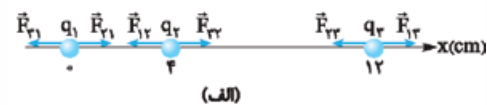
چون نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از ذره‌ها برابر صفر است، همه این نیروها هم‌اندازه‌اند:

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

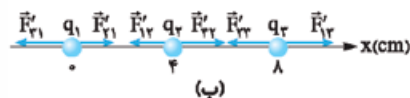
اندازه هر یک از این نیروها را برابر  $F$  در نظر می‌گیریم:

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

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 می‌کنند  $2F$  برابر و نیرویی که بارهای  $q_1$  و  $q_3$  بر هم وارد می‌کنند،  $\left(\frac{3}{4}\right)^2$  برابر می‌شود.



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

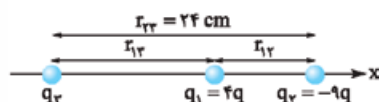


$$F'_{r2} = F'_{r3} = 4F, \quad F'_{r1} = F'_{r2} = \frac{9}{4}F, \quad \frac{F_{T(r)}}{F_{T(1)}} = \frac{F'_{r2} - F'_{r3}}{F'_{r1} - F'_{r2}} = \frac{4F - F}{\frac{9}{4}F - F} = \frac{3F}{\frac{5}{4}F} = \frac{12}{5}$$

**۴۲۰- گزینه ۴** بارهای  $q_1 = 4q$  و  $q_2 = -9q$  ناهم‌نام‌اند و  $|q_1| < |q_2|$  است. پس

برای تعادل الکتریکی بار  $q_3$ ، لازم است آن را خارج از فاصله دو بار و نزدیک‌تر به بار کوچک‌تر ( $q_1$ ) قرار دهیم. پس بار  $q_3$  در سمت چپ بار  $q_1$  قرار گرفته است (شکل روبه‌رو).

تعادل بار  $q_3$  را بررسی می‌کنیم:



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

$$r_{r2} = 36 - 16 = 20 \text{ cm}$$

بار  $q_1$  در تعادل است، پس می‌توان نتیجه گرفت که بار  $q_3$  هم‌نام با بار  $q_2$  است.

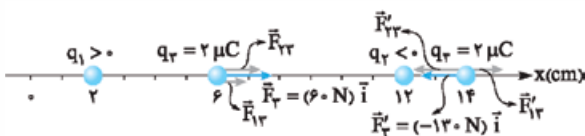
همچنین داریم:

$$F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_r| |q_1|}{r_{r1}^2} = k \frac{|q_r| |q_2|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{r_{r1}^2} = \frac{|q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{|q_1|} = \frac{r_{r1}^2}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{144} = \frac{4}{36} \Rightarrow |q_r| = \frac{144}{9} = 16 \mu C$$



### 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:



$$\begin{cases} F_{12} + F_{13} = F_2 \Rightarrow k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} + k \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = F_2 \Rightarrow 9 \times \frac{|q_2| \times 2}{6^2} + 9 \times \frac{|q_1| \times 2}{4^2} = 6 \\ F_{23}' - F_{13}' = F_3' \Rightarrow k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} - k \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = F_3' \Rightarrow 9 \times \frac{|q_2| \times 2}{2^2} - 9 \times \frac{|q_1| \times 2}{12^2} = 13 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 5|q_2| + \frac{45}{4}|q_1| = 6 \\ 45|q_2| - \frac{5}{4}|q_1| = 13 \end{cases} \xrightarrow{(\times 4)} \begin{cases} 45|q_2| + 9|q_1| = 24 \\ 45|q_2| - \frac{5}{4}|q_1| = 13 \end{cases} \xrightarrow{\text{تفریق دو معادله}} \frac{(9 \times 45) + 5}{4}|q_1| = 41$$

$$\Rightarrow \frac{41}{4}|q_1| = 41 \Rightarrow |q_1| = 4 \mu C \xrightarrow{q_1 > 0} q_1 = 4 \mu C$$

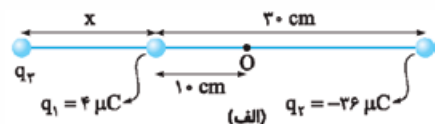
در این حالت  $q_2 = -3 \mu C$  است.

اگر هر دو بار منفی باشند، با حل معادلات مربوطه به جواب‌های  $q_2 = -3 \mu C$  و  $|q_1| = -4 \mu C$  می‌رسیم 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:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30+x)^2} \Rightarrow \left(\frac{30+x}{x}\right)^2 = \frac{36}{4} \Rightarrow \frac{30+x}{x} = 3 \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

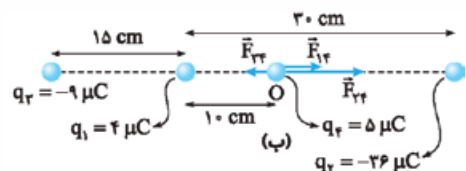
نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_1$  هم برابر صفر است؛ بنابراین بار  $q_2$  با بار  $q_3$  هم‌نام است؛ یعنی  $q_2 < 0$  و مقدار آن برابر است با:



$$F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_2||q_1|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30)^2} \Rightarrow \frac{|q_2|}{36} = \left(\frac{15}{30}\right)^2$$

$$\Rightarrow |q_2| = 9 \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -9 \mu C$$

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



$$F_{14} = k \frac{|q_1||q_4|}{r_{14}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{14} = 9 \times \frac{4 \times 5}{(10)^2} = 18 \text{ N}$$

$$F_{24} = k \frac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{24} = 9 \times \frac{36 \times 5}{(20)^2} = 40/5 \text{ N}$$

$$F_{34} = k \frac{|q_3||q_4|}{r_{34}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{34} = 9 \times \frac{4 \times 5}{(25)^2} = 6/48 \text{ N}, \quad F_{T(4)} = F_{14} + F_{24} - F_{34} = 18 + 40/5 - 6/48 = 52/5 \text{ N}$$

### 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  $q_2$ ، نسبت به شکل (الف)، ۲ برابر شده و فاصله بارهای  $q_1$  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:

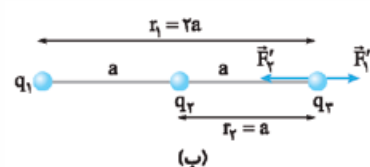
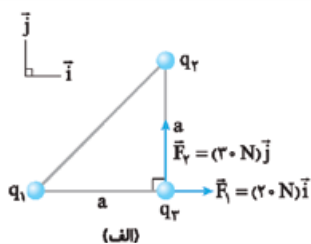
$$\frac{1}{4} F \propto \frac{1}{r^2} \rightarrow \vec{F}_1' = \frac{1}{4} \vec{F}_1 = (5 \text{ N})\vec{i}$$

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

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:

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



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:

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

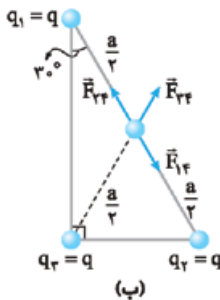
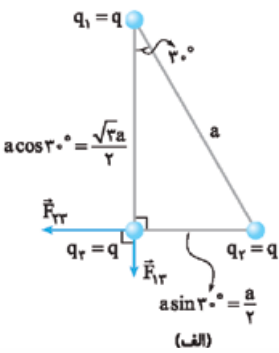
$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{(\frac{a}{2})^2} = 4k \frac{q^2}{a^2}$$

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

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

$$\Rightarrow 4\sqrt{5} = 4k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + 1^2} \Rightarrow 4\sqrt{5} = \frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{10} \Rightarrow k \frac{q^2}{a^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \text{ N}$$

حالا مطابق شکل (ب)، بار  $q_4 = q$  را در وسط وتر مثلث قرار می‌دهیم. واضح است که  $\vec{F}_{14}$  و  $\vec{F}_{24}$  هم‌اندازداند 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  $\theta$  نشان داده شده در شکل،  $q_1$  را محاسبه می‌کنیم:

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

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

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

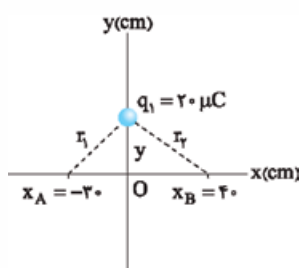
$$\sin \theta = \frac{F_2}{F} \xrightarrow{\sin \theta = \frac{3}{3\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}}} \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{F_2}{30\sqrt{5}} \Rightarrow F_2 = 30 \text{ N}$$

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

نیرویی 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:

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

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



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

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

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:

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

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

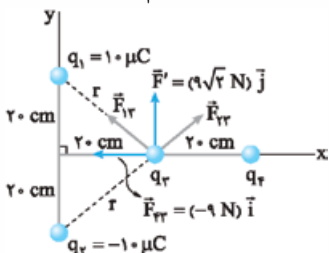
$$F' = \sqrt{2} F_{13} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{2}{25} |q_3| \quad (I)$$

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  $\vec{j}$  نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  همان  $\vec{F}'$  و مؤلفه  $\vec{i}$  آن بیانگر نیروی الکتریکی است که بار  $q_4$  به بار  $q_3$  وارد می‌کند.

با توجه به این که  $\vec{F}'$  در جهت محور  $y$  است، می‌توان نتیجه گرفت که مطابق شکل زیر بار  $q_1$ ، بار  $q_3$  را جذب و بار  $q_4$ ، بار  $q_3$  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  $\vec{F}_{43}$  در خلاف جهت محور  $x$  است، می‌توان گفت که بارهای  $q_4$  و  $q_3$  هم‌نام‌اند؛ پس:

$$F_{43} = k \frac{|q_4| |q_3|}{r^2} \Rightarrow 9 = 90 \frac{|q_4| \times 8}{(20)^2}$$

$$\Rightarrow |q_4| = 5 \mu\text{C} \xrightarrow{q_4 < 0} q_4 = -5 \mu\text{C}$$

و داریم:

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  $\vec{F}_4$  قرار بگیرد. پس:

۲ برآیند  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  در امتداد  $\vec{F}_4$  (یعنی در امتداد قطر مستطیل) باشد.

۳ برآیند  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  هم‌اندازه با  $\vec{F}_4$  باشد.

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

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

$$\text{شرط (۳): } F_{1,3} = F_4 \Rightarrow \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = F_4 \Rightarrow \sqrt{\left(k \frac{|q_1| |q_2|}{r_1^2}\right)^2 + \left(k \frac{|q_3| |q_2|}{r^2}\right)^2} = k \frac{|q_4| |q_2|}{r_4^2}$$

$$\Rightarrow k |q_2| \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{|q_3|^2}{r^4}} = k \frac{|q_4| |q_2|}{r_4^2} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۲)}} \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \left(\frac{r}{r_1}\right)^6 \frac{|q_1|^2}{r^4}} = \frac{\Delta^2}{\Delta^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{r^2}{r_1^6} |q_1|^2} = \frac{\Delta^2}{\Delta^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r_1^2} \sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_1}\right)^2} = \frac{\Delta^2}{\Delta^2} \Rightarrow |q_1| = \Delta^2 \times \left(\frac{r_1}{\Delta}\right)^2 = 256 \text{ nC} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۱)}} q_1 = -256 \text{ nC}$$

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

۴۳۱- گزینه ۴ مطابق شکل (الف)، نیروی الکتریکی که بار  $q_3$  به بار  $q_4$  وارد می‌کند، در جهت  $-\vec{i}$  است؛ بنابراین:

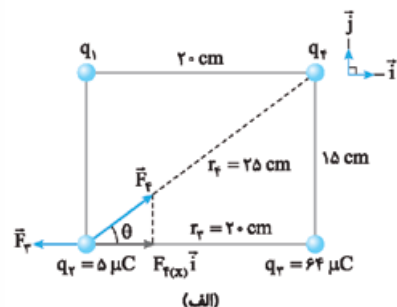
$$F_3 = k \frac{|q_3| |q_4|}{r^2} = 90 \times \frac{64 \times 5}{20^2} = 72 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_3 \text{ در جهت } -\vec{i}} \vec{F}_3 = (-72 \text{ N}) \vec{i}$$

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 بار  $q_2$  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  $\vec{F}_f = (72 \text{ N})\vec{i} = F_{f(x)}\vec{i}$  می‌توان نتیجه گرفت که بار  $q_f$  را جذب می‌کند:  $q_f < 0$

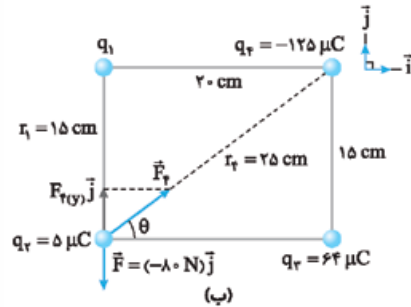
و اندازه  $\vec{F}_f$  برابر است با:  $\cos \theta = \frac{F_{f(x)}}{F_f} = \frac{72}{\sqrt{72^2 + 15^2}} \Rightarrow \frac{72}{F_f} = \frac{72}{75} \Rightarrow F_f = 90 \text{ N}$

حالا  $q_f$  را به دست می‌آوریم:  $F_f = k \frac{|q_f||q_r|}{r_f^2} \Rightarrow 90 = 90 \times \frac{|q_f| \times 5}{25^2} \Rightarrow |q_f| = 125 \mu\text{C} \xrightarrow{q_f < 0} q_f = -125 \mu\text{C}$

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

$\sin \theta = \frac{F_{f(y)}}{F_f} = \frac{15}{75} \Rightarrow \frac{F_{f(y)}}{90} = \frac{15}{75} \Rightarrow F_{f(y)} = 54 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_f \text{ در جهت } \vec{j}} \vec{F}_{f(y)} = (54 \text{ N})\vec{j}$

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



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

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

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

**۴۳۲- گزینه ۴ استراتژی** برای صفر شدن نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_2$ ، برقراری سه شرط لازم است:

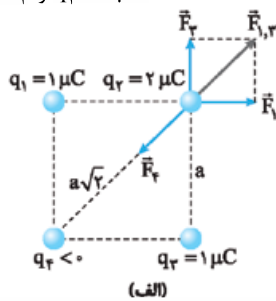
۱ بارهای  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام و این دو بار با بار  $q_2$  ناهم‌نام باشند تا برآیند  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  در خلاف جهت  $\vec{F}_2$  قرار بگیرد. پس:  $q_2 > 0$  و  $q_1 < 0$

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:

$F_1 = F_3$  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) شرط:  $F_f = F_{1,2} \Rightarrow F_f = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

$\xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۲)}} F_f = \sqrt{2}F_1 \Rightarrow k \frac{|q_f||q_2|}{(a\sqrt{2})^2} = \sqrt{2}k \frac{|q_1||q_f|}{a^2}$

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

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

$F'_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{a^2} = 90 \times \frac{1 \times 2\sqrt{2}}{3^2} = 0/2\sqrt{2} \text{ N}$

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

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:

$F'_{1,3} = \sqrt{F_1'^2 + F_3'^2} = \sqrt{2}F'_1 = 0/4 \text{ N}$

$F_2$  را حساب نکنید؛ زیرا هم‌اندازه با  $F'_{1,3}$  است؛ این هم دلیلش:

$\vec{F}_2$  و  $\vec{F}'_{1,3}$  هم‌جهت‌اند؛ بنابراین بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  برابر است با:

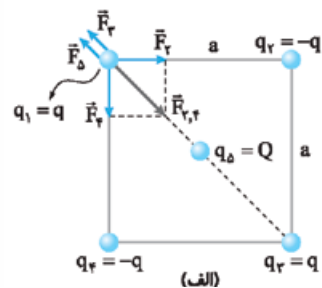
$F_{T(f)} = F'_{1,3} + F_2 = 0/4 + 0/2\sqrt{2} = \frac{2+\sqrt{2}}{5} \text{ N}$

**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 صفر شدن 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:

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

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





برایند  $\vec{F}_\varphi$  و  $\vec{F}_\delta$  برابر است با:

$$\vec{F}_{\varphi,\delta} = \sqrt{F_\varphi^2 + F_\delta^2} = \sqrt{2} F_\varphi = \sqrt{2} k \frac{|q|^2}{a^2}$$

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:

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

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

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  $q_\varphi = -q$  آن را دفع می‌کند. داریم:

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

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

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

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

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

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:

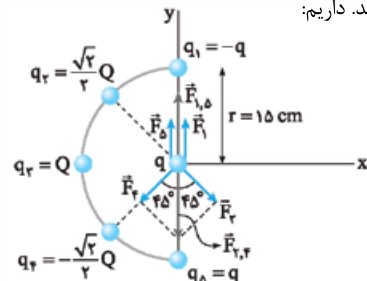
$$\frac{F_{T(2)}}{F'_1} = \frac{k \frac{|q|^2}{a^2} \times 2 \times (\sqrt{2} - \frac{1}{2})}{k \frac{|q|^2}{a^2}} = 2(\sqrt{2} - \frac{1}{2})$$

۴۳۴- گزینه ۱ مطابق شکل، بار  $q_1 = -q$  بار  $q$  واقع در مرکز نیم‌دایره 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 ( $\vec{F}_{\varphi,\delta}$ )، در راستای محور  $y$  و نیروی الکتریکی که بار  $q_3$  به بار  $q$  مرکزی وارد می‌کند ( $\vec{F}_3$ ) 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  $\vec{F}_{\varphi,\delta}$  و  $\vec{F}_3$  یکدیگر را خنثی

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



$$F_2 = F_4 = k \frac{|q_2| |q|}{r^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} k \frac{|Q| |q|}{r^2}$$

$$F_{\varphi,\delta} = \sqrt{F_\varphi^2 + F_\delta^2} = \sqrt{2} F_2 = k \frac{|Q| |q|}{r^2}$$

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

$|q|$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F_2 = 20 \text{ N} \Rightarrow k \frac{|q_2| |q|}{r^2} = 20 \Rightarrow 90 \times \frac{2|q| \times |q|}{15^2} = 20 \Rightarrow |q|^2 = 25 \Rightarrow |q| = 5 \mu\text{C}$$

۴۳۵- 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  $q_3$  از بار  $q_\delta$  را  $b$  و فاصله بارهای  $q_2$  و  $q_4$  از بار  $q_\delta$  را  $c$  نشان می‌دهیم.  $b$  و  $c$  را به کمک روابط مثلثاتی حساب می‌کنیم:

$$\sin 30^\circ = \frac{c}{a} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{c}{a} \Rightarrow c = \frac{1}{2} a \quad \cos 30^\circ = \frac{b}{a} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{b}{a} \Rightarrow b = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

