

## ...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 یادرتون 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 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 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 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 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 نفواهد 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 حوصله‌سرب‌ر 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، تیزباش 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 نهری 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 مهری بقایی که همیشه تأکید می‌کنه که منظم باشیم و کتاب‌ها رو سر وقت برسونیم.

آقایان سهیل سمایی، فرشید اعرابی و تک‌تک بر و بچه‌های واحد تولید که همیشه زحمت‌کش‌ترین‌اند.

فانم‌ها یگانه فلاچی و الوه 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 لحظه‌هایی 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 دوستان 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: ترمودینامیک                           | ۵۳  |
| فصل ششم: الکتریسیته ساکن                        | ۶۴  |
| فصل هفتم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم | ۸۲  |
| فصل هشتم: مغناطیس                               | ۱۰۳ |
| فصل نهم: القای الکترومغناطیسی                   | ۱۱۵ |
| فصل دهم: حرکت بر خط راست                        | ۱۲۵ |
| فصل یازدهم: دینامیک و حرکت دایره‌ای             | ۱۵۴ |
| فصل دوازدهم: نوسان و موج                        | ۱۷۷ |
| فصل سیزدهم: برهم‌کنش‌های موج                    | ۱۹۸ |
| فصل چهاردهم: آشنایی با فیزیک اتمی               | ۲۱۷ |
| فصل پانزدهم: آشنایی با فیزیک هسته‌ای            | ۲۲۹ |
| پاسخ‌نامه تشریحی                                | ۲۳۶ |
| پاسخ‌نامه کلیدی                                 | ۶۴۳ |

# الكتب بسبب ساكن



## پرسش‌های چهارگزینه‌ای

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

- (۱)  ${}^6C$  (۲)  ${}^8O$  (۳)  ${}^7N$  (۴)  ${}^9Be$

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

- (۱)  $-4/8 \times 10^{23}$  (۲)  $-4/8 \times 10^{26}$  (۳)  $-9/6 \times 10^{23}$  (۴)  $-9/6 \times 10^{26}$

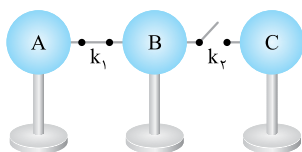
۵۰۹- با انتقال  $1/5 \times 10^{13}$  الکترون به یک جسم، اندازه بار الکتریکی آن نصف می‌شود. بار اولیه جسم چند میکروکولن می‌تواند باشد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

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

۵۱۰- 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)  $2/4 \times 10^{15}$

۵۱۱- 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؟



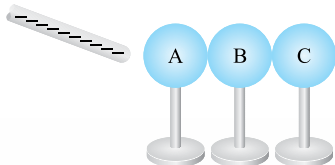
- (۱) ۱ (۲)  $1/3$  (۳)  $1/4$  (۴)  $3/4$

۵۱۲- 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 |

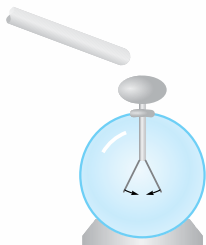
- (۱) مثبت، منفی  
(۲) مثبت، خنثی  
(۳) منفی، مثبت  
(۴) منفی، خنثی

۵۱۳- 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 به  $A$  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)  $+4$

۵۱۴- 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

۵۱۵- شعله شمعی را به کلاهک الکتروسکویی 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.

۵۱۶- 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)  $38/5$

۵۱۷- 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)  $80/8$  (۴)  $180/8$

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

(۱) ۰/۴ (۲) ۰/۶ (۳) ۱/۴ (۴) ۱/۶

۵۱۹- دو گلوله کوچک رسانای A و B دارای بارهای  $q_A = 2 nC$  و  $q_B = 10 nC$  هستند. کدام راهکار زیر باعث می شود اندازه نیروی دافعه الکتریکی بین دو گلوله بیشینه شود؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ )

- (۱) انتقال  $2/5 \times 10^{-1}$  الکترون از گلوله A به گلوله B  
(۲) انتقال  $2/5 \times 10^{-1}$  الکترون از گلوله B به گلوله A  
(۳) انتقال  $5 \times 10^{-1}$  الکترون از گلوله A به گلوله B  
(۴) انتقال  $5 \times 10^{-1}$  الکترون از گلوله B به گلوله A

۵۲۰- بار الکتریکی  $q_1 = 2 \mu C$  از فاصله ۱۵ سانتی متری بر بار  $q$  میکروکولنی، نیروی F نیوتون را وارد می کند و بار  $2q$  میکروکولنی، از فاصله ۱۰ سانتی متری، بار  $q_2 = 3 \mu C$  را با نیروی ( $F + 4F$ ) نیوتون دفع می کند. نیرویی که بارهای  $q_1$  و  $q_2$  از فاصله ۲۰ سانتی متری به یکدیگر وارد می کنند، چند نیوتون و از چه نوع است؟

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

۵۲۱- مطابق شکل دو بار نقطه ای 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 می یابد، اندازه نیروی الکتریکی بین دو بار ۶۰ درصد کاهش یابد؟

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

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

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

۵۲۳- دو گلوله رسانای مشابه در فاصله ۵۰ سانتی متری از هم قرار دارند و به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی  $10.8 N$  وارد می کنند. گلوله ها توسط سیم رسانای نازکی به هم وصل می شوند. وقتی که سیم برداشته شود، گلوله ها به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی  $0.36 N$  وارد می کنند. کدام یک از مقادیر زیر (بر حسب میکروکولن) می تواند بار اولیه روی گلوله ها باشد؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$ ) (برگرفته از کتاب فیزیک هالیدی)

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

۵۲۴- دو گوی رسانای کوچک و یکسان دارای بارهای الکتریکی هم نام  $q_1$  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 می کنند، ۸۰ درصد تغییر می کند. اگر بار ابتدایی گوی ها همان اندازه ولی ناهم نام بود، با تماس آن ها به یکدیگر نیروی الکتریکی بین آن ها چند درصد و چگونه تغییر می کرد؟ (مشابه ریاضی ۱۴۰۰)

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

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

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

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

- (۱) ۳ (۲) ۶ (۳) -۳ (۴) -۶

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

- (۱) ۷/۲ (۲)  $7/2\sqrt{2}$  (۳) ۱۴/۴ (۴)  $14/4\sqrt{2}$



۵۲۸- 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 می‌رها می‌کنیم. اگر طول فنر در این حالت به  $45\text{ cm}$  برسد، بار هر یک از ذره‌ها چند میکروکولن است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ ,  $g = 10\text{ m/s}^2$  و انتقال بار نداریم).

$$\frac{3\sqrt{2}}{4} \quad (1) \quad 1/5 \quad (2) \quad 7/5\sqrt{2} \quad (3) \quad 15 \quad (4)$$

۵۲۹- 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؟

$$12 \quad (1) \quad 24 \quad (2) \quad 48 \quad (3) \quad 60 \quad (4)$$

۵۳۰- 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؟

$$1/5 \quad (1) \quad 4/5 \quad (2) \quad -4/5 \quad (3) \quad -1/5 \quad (4)$$

۵۳۱- 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. کدام است؟

$$\frac{5}{8} \quad (1) \quad -\frac{5}{8} \quad (2) \quad -\frac{8}{5} \quad (3) \quad -\frac{8}{5} \quad (4)$$

۵۳۲- در شکل زیر، 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  $\frac{4d}{5}$  به بار  $2q$  نزدیک شود، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $2q$ ، کدام می‌شود؟

$$\frac{13}{3}\vec{F} \quad (1) \quad -\frac{13}{3}\vec{F} \quad (2) \quad -\frac{13}{3}\vec{F} \quad (3) \quad \frac{13}{3}\vec{F} \quad (4)$$

۵۳۳- در شکل روبه‌رو، 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؟

$$9 \quad (1) \quad -9 \quad (2) \quad \frac{18}{5} \quad (3) \quad -\frac{18}{5} \quad (4)$$

۵۳۴- 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  $25\%$  از بار  $q_2$  را به بار  $q_1$  انتقال دهیم، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_1$  چند نیوتون می‌شود؟ ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$ )

$$12/5\vec{i} \quad (1) \quad -12/5\vec{i} \quad (2) \quad 50\vec{i} \quad (3) \quad -50\vec{i} \quad (4)$$

۵۳۵- 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؟

$$\vec{F} \quad (1) \quad -\vec{F} \quad (2) \quad 2\vec{F} \quad (3) \quad -2\vec{F} \quad (4)$$

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

$$(-33/75\text{ N})\vec{i} \quad (1) \quad (33/75\text{ N})\vec{i} \quad (2) \quad (56/25\text{ N})\vec{i} \quad (3) \quad (67/5\text{ N})\vec{i} \quad (4)$$

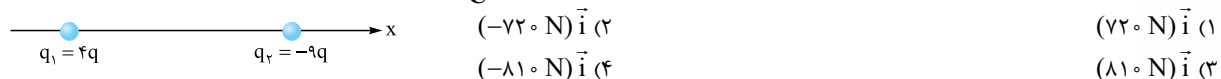
۵۳۷- مطابق شکل زیر، نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از ذره‌های باردار صفر است. اگر بار  $q_3$  در مکان  $x = 8\text{ cm}$  قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  چند برابر بزرگی نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار  $q_1$  می‌شود؟

$$\frac{5}{12} \quad (1) \quad \frac{1}{2} \quad (2) \quad \frac{12}{5} \quad (3) \quad 2 \quad (4)$$

۵۳۸- در شکل زیر، اگر بار  $q_3$  را روی محور  $x$  و در فاصله ۲۴ سانتی متری از بار  $q_2$  قرار دهیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر سه بار صفر می شود. اگر

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

327



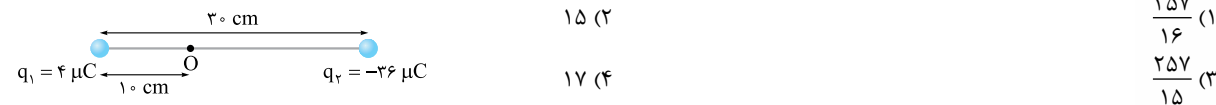
۵۳۹- بارهای نقطه‌ای  $5 \mu C$  و  $-8 \mu C$  روی محور  $x$ ، به ترتیب در نقطه‌های  $x_1 = 12 \text{ cm}$  و  $x_2 = 24 \text{ cm}$  قرار دارند. اگر بارهای نقطه‌ای  $q_3$  و  $q_4$  به ترتیب در نقطه‌های  $x_3 = 36 \text{ cm}$  و  $x_4 = 0$  قرار گیرند، نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_4$  صفر می شود.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

در SI کدام است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$  (مشابه ریاضی خارج ۱۴۰۱)

- (۱)  $120 \text{ N}$  (۲)  $-120 \text{ N}$  (۳)  $135 \text{ N}$  (۴)  $-135 \text{ N}$

۵۴۰- 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  $q_2$  می شود؟ (مشابه تهری ۱۴۰۰)

2216



۵۴۱- 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  $q_3 = 2 \mu C$  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

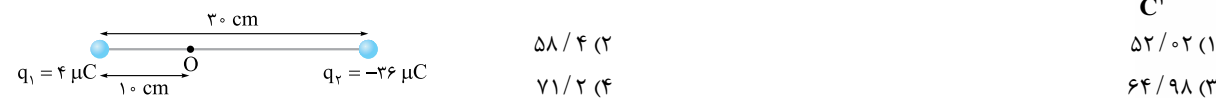
$\vec{F}'_3 = (-130 \text{ N}) \vec{i}$  می شود.  $q_1$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$

- (۱) ۳ (۲) -۳ (۳) ۴ (۴) -۴

۵۴۲- 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 می دهیم تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر سه بار برابر صفر شود. اگر بار  $q_4 = 5 \mu C$  در نقطه  $O$  قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن چند نیوتون

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

2216



331

۵۴۳- 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 می کنیم. 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؟

- (۱)  $(25 \text{ N}) \vec{i}$  (۲)  $(-25 \text{ N}) \vec{i}$  (۳)  $(35 \text{ N}) \vec{i}$  (۴)  $(-35 \text{ N}) \vec{i}$

330



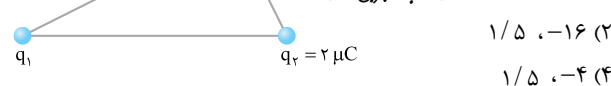
2163

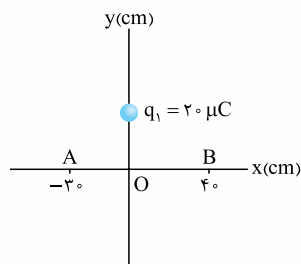
۵۴۴- مطابق شکل مقابل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌اندازه در سه رأس مثلث قرار گرفته‌اند و بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q$  واقع در رأس قائمه برابر با  $4\sqrt{5} \text{ N}$  است. اگر بار چهارم  $q$  در وسط وتر مثلث قرار بگیرد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن چند نیوتون می شود؟

- (۱)  $6\sqrt{2}$  (۲)  $6\sqrt{10}$  (۳)  $12\sqrt{2}$  (۴)  $12\sqrt{10}$

2166

۵۴۵- مطابق شکل مقابل، 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؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$  (مشابه تهری ۹۶)





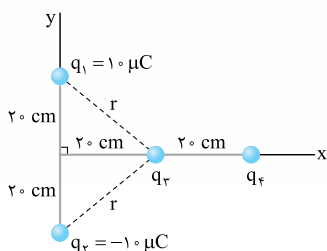
۵۴۶- در شکل مقابل، اگر بار  $q_2$  را در نقاط A و B قرار دهیم، به ترتیب با نیروهای الکتریکی ای به بزرگی  $5\text{ N}$  و  $3/6\text{ N}$ ، بار  $q_1$  را دفع می‌کند.  $q_2$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

(۱) ۴

(۲) ۵

(۳) ۱۵

(۴) ۳۰



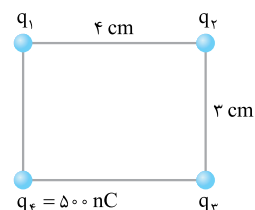
۵۴۷- چهار ذره باردار مطابق شکل قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  برابر  $(9\sqrt{2}\text{ N})\vec{j} + (-9\text{ N})\vec{i}$  باشد،  $q_4$  چند میکروکولن است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$  (مشابه تهرنی نوبت اول ۱۳۸۲)

(۱) -۸

(۲) -۵

(۳) +۸

(۴) +۵



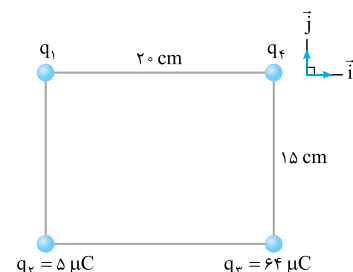
۵۴۸- چهار ذره باردار در چهار رأس مستطیل شکل زیر ثابت نگه داشته شده‌اند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  برابر صفر است.  $q_1$  چند نانوکولن است؟

(۱) ۱۰۸

(۲) -۱۰۸

(۳) ۲۵۶

(۴) -۲۵۶



۵۴۹- در شکل مقابل، ۴ بار الکتریکی نقطه‌ای در چهار رأس مستطیل قرار دارند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  برابر با  $\vec{F} = (-8\text{ N})\vec{j}$  است. بارهای  $q_1$  و  $q_4$  به ترتیب چند میکروکولن هستند؟

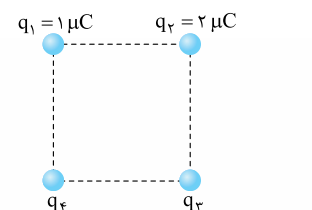
$$(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$

(۲) ۱۳، ۱۲۵-

(۱) ۱۳، ۱۵۰-

(۴) ۶۷، ۱۲۵-

(۳) ۶۷، ۱۵۰-



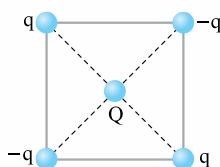
۵۵۰- در شکل مقابل، چهار ذره باردار در رأس‌های مربعی که طول ضلع آن ۳ cm است ثابت شده‌اند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  صفر باشد، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_4$  چند نیوتون است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$

$$\frac{4 + \sqrt{2}}{10} (۲)$$

(۱) صفر

$$\frac{2 + \sqrt{2}}{5} (۴)$$

$$\frac{2 - \sqrt{2}}{5} (۳)$$



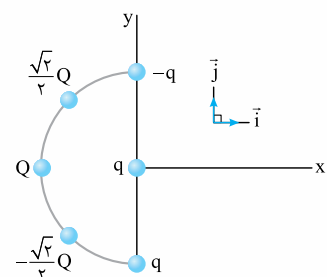
۵۵۱- در شکل زیر بارهای الکتریکی در چهار رأس و مرکز یک مربع ثابت شده‌اند و نیروی الکتریکی خالص وارد بر بارهای  $q$  صفر است. اندازه نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر یک از بارهای  $-q$  چند برابر اندازه نیروی الکتریکی است که هر بار  $q$  بر هر بار  $-q$  وارد می‌کند؟

$$\frac{1}{2}(\sqrt{2} + \frac{1}{2}) (۲)$$

$$\frac{1}{2}(\sqrt{2} - \frac{1}{2}) (۱)$$

$$2(\sqrt{2} + \frac{1}{2}) (۴)$$

$$2(\sqrt{2} - \frac{1}{2}) (۳)$$



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

(۱) ۵

(۲)  $5\sqrt{2}$ 

(۳) ۱۰

(۴)  $10\sqrt{2}$ 



۵۰۷- 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!

۵۰۸- 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:  $Q = Nq = N \times (-ne) = 3 \times 10^{24} \times (-10 \times 1/6 \times 10^{-19}) = -4/8 \times 10^{-6} \text{ C}$

۵۰۹- گزینه ۲ بار اولیه جسم مثبت است (پس آنکه 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:

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

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

۵۱۰- 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:

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

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

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

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

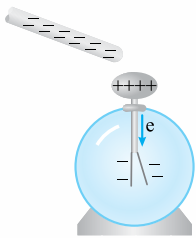
در ادامه، بازکردن کلید  $k_1$ ، تأثیری روی مقادیر بار کره‌ها ندارد.

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:

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



**۵۱۲- 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.

**۵۱۳- 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:

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

**۵۱۴- 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.

**۵۱۵- 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!

**۵۱۶- 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:

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

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

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

**۵۱۷- 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:

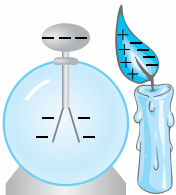
طبق قانون سوم نیوتون، نیروی الکتریکی که بارهای  $q_1$  و  $q_2$  به یکدیگر وارد می کنند، هم اندازه است؛ پس:

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

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

**۵۱۸- 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:

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



اگر فرض کنیم جمع بارها مثبت است، (با توجه به گزینه‌ها باید به دنبال همین حالت باشیم)، مجموع بارها  $2\text{ }\mu\text{C}$  + و حاصل ضرب آن‌ها  $3\text{ }\mu\text{C}$  - می‌شود، پس یکی از بارها  $3\text{ }\mu\text{C}$  + و دیگری  $1\text{ }\mu\text{C}$  - است. در حالت دیگر که مجموع بارها  $2\text{ }\mu\text{C}$  - و حاصل ضرب آن‌ها  $3\text{ }\mu\text{C}$  - می‌شود، یکی از بارها  $3\text{ }\mu\text{C}$  -

و دیگری  $1 \mu C$  است.

### تیزباز

پس از اتصال، اندازه نیروی الکتریکی بین گلوله‌ها  $\frac{1}{3}$  برابر شده است ( $\frac{1}{3} = \frac{36^\circ}{108^\circ}$ ). 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:

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

**۵۲۴- 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 الکتریکی 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:

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

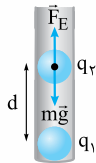
$$\Rightarrow x + \frac{1}{x} = \frac{26}{5} \Rightarrow x = 5 \Rightarrow |q_2| = 5|q_1|$$

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

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

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

**۵۲۵- گزینه ۱** پس از تماس، بار بین کره‌های مشابه به صورت یکسان توزیع می‌شود، پس:



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

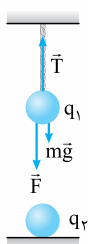
شرط تعادل کره بالایی، هم‌اندازه بودن نیروی الکتریکی وارد بر کره و نیروی وزن آن است. این شرط را برای دو حالت می‌نویسیم:

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

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

**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.

310



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

**۵۲۶- گزینه ۳** نیروی وزن گلوله‌ای که دارای بار  $q_1$  است برابر است با:

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.

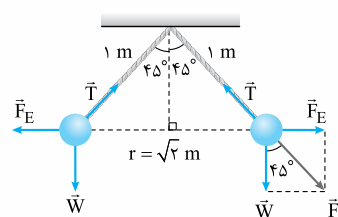
در این حالت، نیروی الکتریکی وارد بر گلوله آویزان باید رو به پایین و اندازه آن برابر باشد با:

$$T_{\max} = F + mg \Rightarrow 7 = F + 1 \Rightarrow F = 6 \text{ N}$$

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

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

311



**۵۲۷- 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:

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

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

اندازه برابند 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:

$$F_E = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times \frac{4 \times 4}{(\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 72 \text{ N}$$

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

**توجه** 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.

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

$$F_e = mg \xrightarrow{F_e = k'x} k' \times (\Delta\theta - \theta_0) \times 10^{-2} = (2 \times 10^{-3}) \times 10 \Rightarrow k = \frac{2 \times 10^{-1}}{10^{-1}} = 2 \text{ N/m}$$

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

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

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

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

و با تماس گلوله  $C$  با 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:

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

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

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:

**۵۳۰- گزینه ۲**

$$\begin{cases} \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ \vec{F}_2 = -\vec{F} \end{cases} \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F} \Rightarrow \vec{F}_1 = 2\vec{F} \Rightarrow F_1 = 2F \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}}{k \frac{|q_2||q_2|}{(3r)^2}} \Rightarrow \frac{2F}{F} = \frac{|q_1|}{|q_2|} \times 9 \Rightarrow \left| \frac{q_2}{q_1} \right| = \frac{9}{2} = 4/5$$

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

$q_1$  و  $q_2$  هم‌نامند (هر/؟)؛ بنابراین:

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

**۵۳۱- گزینه ۴** برای حالت اول داریم:

در حالت دوم  $\vec{F}_2$  تغییر نمی‌کند. با توجه به این‌که 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  $q_1$

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

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

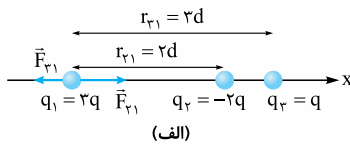
به کمک روابط (I) و (II) داریم:

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

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:

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

315



۵۳۲- گزینه ۳ در شکل (الف)، بارهای  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام و بار  $q_2$  با هر دوی آن‌ها ناهم‌نام است.

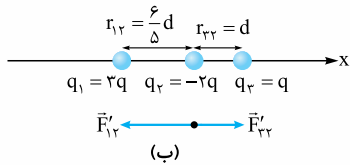
(برای سادگی، بار  $q$  را مثبت فرض می‌کنیم، پس  $q_1 > 0$ ،  $q_2 < 0$  و  $q_3 > 0$  است.)

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

$$F_{r1} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{12}^2} = k \frac{|q||3q|}{(2d)^2} = \frac{1}{2} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\text{در خلاف جهت محور } x} \vec{F}_{r1} = -\frac{1}{2} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

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

316



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

$$r_{12} = 2d - \frac{4}{5}d = \frac{6}{5}d \quad \vec{F}'_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = k \frac{|3q||-2q|}{(\frac{6}{5}d)^2} = \frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \xrightarrow{\text{در خلاف جهت } x} \vec{F}'_{12} = -\frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

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

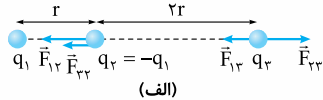
$$\vec{F}'_{T(2)} = \vec{F}'_{r2} + \vec{F}'_{12} = -\frac{25}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} + 2k \frac{q^2}{d^2} \vec{i} = -\frac{13}{6} k \frac{q^2}{d^2} \vec{i}$$

$$\frac{F'_{T(2)}}{F_{T(1)}} = \frac{13}{6} \Rightarrow F'_{T(2)} = \frac{13}{6} F_{T(1)} \xrightarrow{\text{در خلاف جهت هم}} \vec{F}'_{T(2)} = -\frac{13}{6} \vec{F}$$

در پایان:

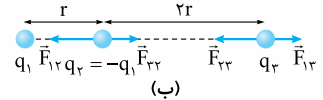
۵۳۳- گزینه ۳ بار  $q_1$ ، بار  $q_2$  را با نیروی  $\vec{F}_{12}$  جذب می‌کند. اگر بارهای  $q_1$  و  $q_3$  ناهم‌نام باشند، جهت نیروهای وارد بر بارهای  $q_2$  و  $q_3$  مطابق شکل (الف) خواهد بود. در این صورت:

2427



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

2428



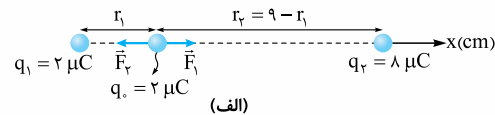
پس قطعاً بارهای  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام‌اند و نیروهای وارد بر بارهای  $q_2$  و  $q_3$  مطابق شکل (ب) است.

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

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

$$\xrightarrow{|q_1|=|q_2|} \frac{|q_1|}{r^2} + \frac{|q_3|}{4r^2} = \frac{2|q_3|}{4r^2} \Rightarrow |q_1| = \frac{|q_3|}{2} - \frac{|q_3|}{4} \Rightarrow |q_1| = \frac{1}{4}|q_3| \xrightarrow{q_3 \text{ و } q_1 \text{ هم‌نام‌اند}} \frac{q_3}{q_1} = \frac{1}{4}$$

318



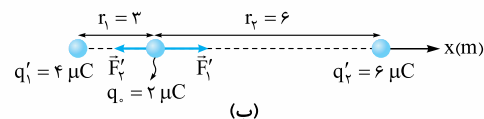
$$F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2} \Rightarrow \frac{2}{r_1^2} = \frac{8}{(9-r_1)^2} \Rightarrow \left(\frac{9-r_1}{r_1}\right)^2 = 4 \Rightarrow \frac{9-r_1}{r_1} = 2 \Rightarrow 9 = 3r_1 \Rightarrow r_1 = 3 \text{ cm}, r_2 = 6 \text{ cm}$$

۲۵ درصد از بار  $q_2$  به بار  $q_1$  منتقل می‌شود، پس:

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

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

2181

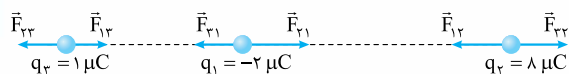


$$F'_1 = k \frac{|q'_1||q_3|}{r_1^2} = 9 \times \frac{4 \times 2}{3^2} = 8 \text{ N} \xrightarrow{\text{در جهت محور } x} \vec{F}'_1 = (8 \text{ N}) \vec{i}$$

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

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

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



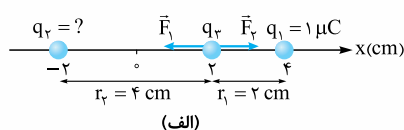
**۵۳۵- گزینه ۲** چون  $q_1$  و  $q_2$  ناهم‌نام‌اند،  $q_3$  باید خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک‌تر به بار کوچک‌تر ( $q_1$ ) قرار بگیرد تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل روبه‌رو:

$$F_{T(r)} = 0 \Rightarrow F_{1r} = F_{r2} \Rightarrow F_{r1} = F_{r2} \xrightarrow{\vec{F}_{r1} \text{ و } \vec{F}_{r2} \text{ در خلاف جهت یکدیگرند}} \vec{F}_{r1} = -\vec{F}_{r2}$$

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

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.

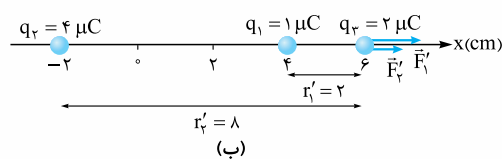
**۵۳۶- گزینه ۳** نقطه تعادل بار  $q_3$  بین دو بار قرار دارد، پس می‌توان نتیجه گرفت که بار  $q_2$  هم‌نام با بار  $q_1$ ، یعنی مثبت است. با توجه به شکل (الف):



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

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

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



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

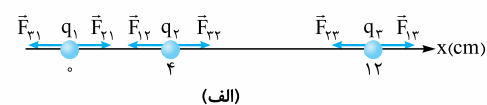
$$F'_r = k \frac{|q_r| |q_r|}{r'_r{}^2} = 9 \times \frac{4 \times 2}{4^2} = 11/2.5 \text{ N}$$

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

**۵۳۷- 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.



$$F_{r1} = F_{1r} = F_{r2} = F_{2r} = F_{r3} = F_{3r} = F$$

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

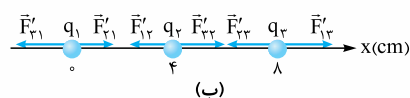
چون نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از ذره‌ها برابر صفر است، همه این نیروها هم‌اندازه‌اند:

$$\begin{cases} F_{r1} = F_{1r} \\ F_{r2} = F_{2r} \end{cases} \xrightarrow{F_{r1} = F_{r2}} F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow F_{1r} = F_{r3}$$

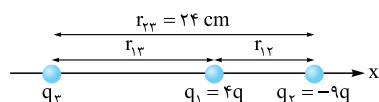
اندازه هر یک از این نیروها را برابر  $F$  در نظر می‌گیریم:

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  $q_r$  تا بار  $q_1$  برابر  $\frac{2}{3}$  برابر شده است. پس نیرویی که بارهای  $q_2$  و  $q_3$  بر هم وارد می‌کنند  $2^2$  برابر و نیرویی که بارهای  $q_1$  و  $q_3$  بر هم وارد می‌کنند،  $\left(\frac{3}{4}\right)^2$  برابر می‌شود.



$$F'_{r2} = F'_{r3} = 4F, \quad F'_{1r} = F'_{r1} = \frac{9}{4}F, \quad \frac{F_{T(2)}}{F_{T(1)}} = \frac{F'_{r2} - F'_{1r}}{F'_{r1} - F'_{r2}} = \frac{4F - F}{\frac{9}{4}F - F} = \frac{3F}{\frac{5}{4}F} = \frac{12}{5}$$



**۵۳۸- 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:

$$F_{1r} = F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_1| |q_r|}{r_{1r}^2} = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|4q|}{r_{1r}^2} = \frac{|-9q|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{r_{1r}}{r_{r2}} = \sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{2}{3} \Rightarrow r_{1r} = \frac{2}{3} r_{r2} = \frac{2}{3} \times 24 = 16 \text{ cm}$$

$$r_{1r} = 24 - 16 = 8 \text{ cm}$$

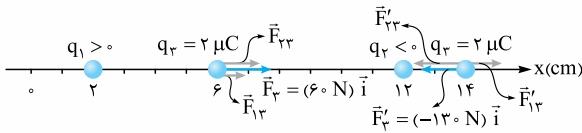
بار  $q_1$  در تعادل است، پس می‌توان نتیجه گرفت که بار  $q_3$  هم‌نام با بار  $q_2$  است. همچنین داریم:

$$F_{r1} = F_{r2} \Rightarrow k \frac{|q_r| |q_1|}{r_{1r}^2} = k \frac{|q_r| |q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{r_{1r}^2} = \frac{|q_r|}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{|q_r|} = \frac{r_{1r}^2}{r_{r2}^2} \Rightarrow \frac{|q_r|}{144} = \frac{16^2}{r_{r2}^2} \Rightarrow |q_r| = \frac{144}{16^2} = 36 \mu C$$

ሥራ

### ۵۴۱- گزینه ۳ ابتدا آرایش بارها رو رسم می‌کنیم تا بفهمیم داستان از چه قراره!

با توجه به جهت  $\vec{F}_p$  و  $\vec{F}_r$  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  $\vec{F}_r$  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  $x'$  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:



$$\begin{cases} F_{rr} + F_{rr} = F_r \Rightarrow k \frac{|q_2||q_3|}{r_{rr}^2} + k \frac{|q_1||q_3|}{r_{rr}^2} = F_r \Rightarrow 9 \times \frac{|q_2| \times 2}{6^2} + 9 \times \frac{|q_1| \times 2}{4^2} = 6 \\ F'_{rr} - F'_{rr} = F'_r \Rightarrow k \frac{|q_2||q_3|}{r_{rr}^2} - k \frac{|q_1||q_3|}{r_{rr}^2} = F'_r \Rightarrow 9 \times \frac{|q_2| \times 2}{6^2} - 9 \times \frac{|q_1| \times 2}{4^2} = 13 \end{cases}$$

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

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

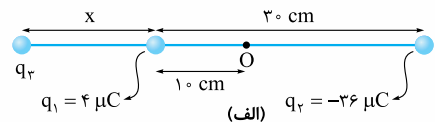
در این حالت  $q_2 = -3 \mu C$  است.

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

۵۴۲- گزینه ۱ بارهای  $q_1$  و  $q_2$  ناهم‌نامند؛ بنابراین برای این که 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:

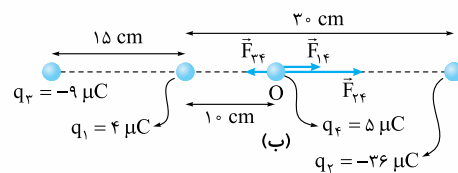
$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_3|}{(30+x)^2} \Rightarrow \left(\frac{30+x}{x}\right)^2 = \frac{36}{4} \Rightarrow \frac{30+x}{x} = 3 \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

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



$$\begin{aligned} F_{r1} = F_{r1} &\Rightarrow k \frac{|q_2||q_1|}{x^2} = k \frac{|q_2||q_1|}{(30)^2} \Rightarrow \frac{|q_2|}{36} = \left(\frac{15}{30}\right)^2 \\ &\Rightarrow |q_2| = 9 \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -9 \mu C \end{aligned}$$

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:



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

$$F_{24} = k \frac{|q_2||q_4|}{r_{24}^2} \xrightarrow{\text{تفریق محاسباتی}} F_{24} = 9 \times \frac{36 \times 5}{(20)^2} = 40.5 \text{ N}$$

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

### ۵۴۳- گزینه ۲ اگر مطابق شکل (الف)، مؤلفه‌های $\vec{F}$ را در محل بار $q_3$ رسم کنیم، می‌فهمیم که بار $q_1$ ، بار $q_2$ 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.

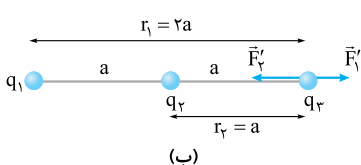
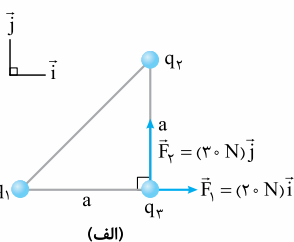
حالا شکل (ب) را ببینید. فاصله بارهای  $q_1$  و  $q_2$ ، نسبت به شکل (الف)، ۲ برابر شده و فاصله بارهای  $q_2$  و  $q_3$  همان مقدار  $a$  است، پس در این شکل، بار  $q_1$ ، بار  $q_3$  را با نیروی  $\vec{F}'_1$  دفع می‌کند؛ به طوری که:

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

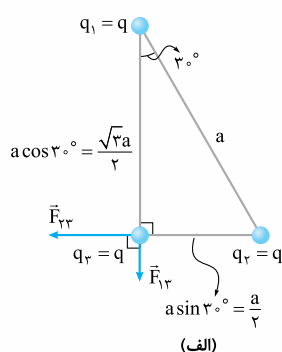
$$\vec{F}'_2 = (-30 \text{ N})\vec{i}$$

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:

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



2164



۵۴۴- 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:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{(\frac{\sqrt{3}a}{2})^2} = \frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2}$$

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

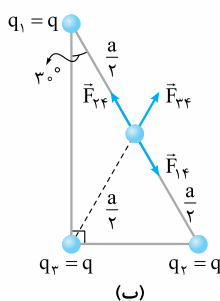
بزرگی برایند دو بردار عمود بر هم  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{13}$  برابر با  $4\sqrt{5} \text{ N}$  است؛ بنابراین:

$$F_{T(2)} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2} = \sqrt{(\frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2})^2 + (4k \frac{q^2}{a^2})^2} \Rightarrow 4\sqrt{5} = k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{(\frac{4}{3})^2 + 16}$$

$$\Rightarrow 4\sqrt{5} = 4k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{(\frac{1}{3})^2 + 1^2} \Rightarrow 4\sqrt{5} = \frac{4}{3} k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{1^2 + 9} \Rightarrow k \frac{q^2}{a^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \text{ N}$$

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:

2165



نکته

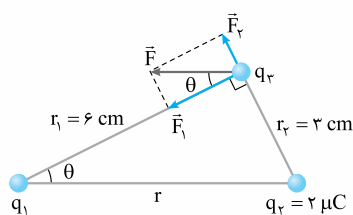
در مثلث قائم‌الزاویه، میانه وارد بر وتر، نصف وتر است.

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

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

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

2167



۵۴۵- 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  $q_1$ ، نام‌نام با بار  $q_2$  یعنی منفی است. به کمک برابری زوایای  $\theta$  نشان داده شده در شکل،  $q_1$  را محاسبه می‌کنیم:

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

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

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

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

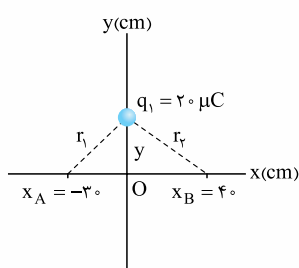
وتر مثلث برابر است با:

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

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

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

2430



۵۴۶- 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:

$$\begin{cases} F_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{r_1^2} \\ F_2 = k \frac{|q_1||q_3|}{r_2^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{r_1^2}{\Delta} = \frac{y^2 + (-30)^2}{y^2 + 40^2}$$

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





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

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

۵۴۷- 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:

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

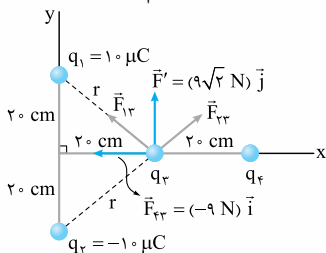
$$F' = \sqrt{2} F_{13} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 2/25 |q_3| \quad (I)$$

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 بیانیگر 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  $q_2$ ، بار  $q_3$  را دفع می‌کند. پس:

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

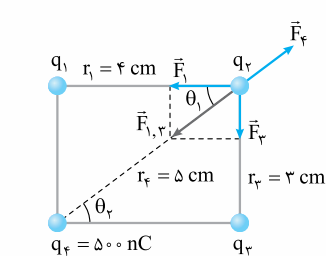


نوبت محاسبه  $q_4$  است. چون  $\vec{F}_{23}$  در خلاف جهت محور  $x$  است، می‌توان گفت که بارهای  $q_4$  و  $q_3$  هم‌نام‌اند؛ پس:

$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r^2} \Rightarrow 9 = 90 \frac{|q_4| \times 8}{(20)^2}$$

و داریم:

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



۵۴۸- 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):

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

$$\text{شرط (۳): } F_{1,3} = F_4 \Rightarrow \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = F_4 \Rightarrow \sqrt{\left( k \frac{|q_1| |q_2|}{r_1^2} \right)^2 + \left( k \frac{|q_3| |q_2|}{r_3^2} \right)^2} = k \frac{|q_4| |q_2|}{r_4^2}$$

$$\Rightarrow k |q_2| \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{|q_3|^2}{r_3^4}} = k \frac{|q_4| |q_2|}{r_4^2} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۲)}} \sqrt{\frac{|q_1|^2}{4^4} + \left( \frac{r}{r} \right)^4 \frac{|q_1|^2}{3^4}} = \frac{50}{5^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{|q_1|^2}{4^4} + \frac{r^2}{r^2} \frac{|q_1|^2}{3^4}} = \frac{50}{5^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{4^2} \sqrt{1 + \left( \frac{r}{r} \right)^2} = \frac{50}{5^2} \Rightarrow |q_1| = 500 \times \left( \frac{4}{5} \right)^2 = 256 \text{ nC} \xrightarrow{\text{نتیجه شرط (۱)}} q_1 = -256 \text{ nC}$$

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

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

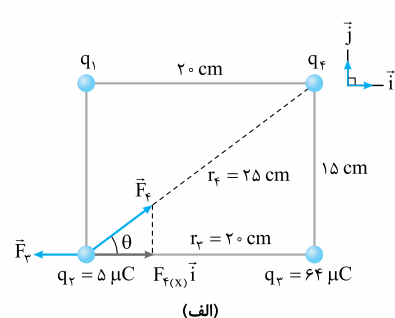
$$F_3 = k \frac{|q_3| |q_2|}{r_3^2} = 90 \times \frac{64 \times 5}{20^2} = 72 \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_3 \text{ در جهت } -\vec{i}} \vec{F}_3 = (-72 \text{ N}) \vec{i}$$

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

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

و اندازه  $\vec{F}_f$  برابر است با:

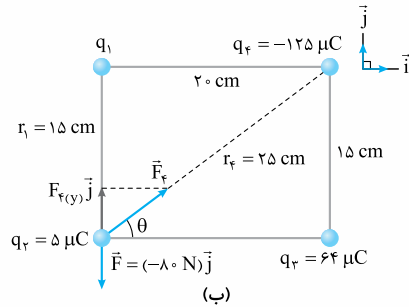
$$F_f = k \frac{|q_f| |q_r|}{r_f^2} \Rightarrow 90 = 90 \times \frac{|q_f| \times 5}{25} \Rightarrow |q_f| = 125 \mu\text{C} \xrightarrow{q_f < 0} q_f = -125 \mu\text{C}$$

حالا  $q_f$  را به دست می‌آوریم:

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

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

$\vec{F}_f$  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:

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

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

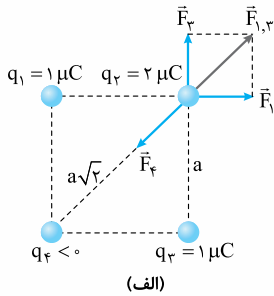
۱ بارهای  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام و این دو بار با بار  $q_f$  ناهم‌نام باشند تا برآیند  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_3$  در خلاف جهت  $\vec{F}_f$  قرار بگیرد. پس:  $q_r > 0$  و  $q_f < 0$

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  $\vec{F}_f$  (یعنی در امتداد قطر مربع) قرار بگیرد. پس:

$$F_1 = F_3 \text{ و } q_1 = q_3$$

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

با توجه به شکل (الف):



$$(3) \text{ شرط: } F_f = F_{1,3} \Rightarrow F_f = \sqrt{F_1^2 + F_3^2}$$

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

$$\Rightarrow \frac{|q_f|}{\sqrt{2} a} = \frac{\sqrt{2} |q_1|}{a} \Rightarrow |q_f| = 2\sqrt{2} \mu\text{C} \xrightarrow{((1) \text{ نتیجه شرط})} q_f = -2\sqrt{2} \mu\text{C}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**۵۵- 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  $q_3 = -q$  را جذب

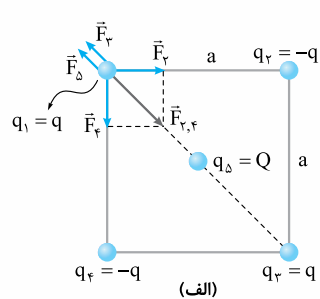
و بار  $q_4 = q$  آن را دفع می‌کند. واضح است که برآیند  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  بزرگ‌تر از  $\vec{F}_4$  است؛ بنابراین برای صفر شدن

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:

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

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



2172

343

344

2182



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

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  $-q_2$  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  $-q_2$  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  $-q_2$  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:

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

**۵۵۲- 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 ( $\vec{F}_{r,f}$ )، 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  $\vec{F}_{1,\delta}$  و  $\vec{F}_{r,f}$  یکدیگر را خنثی کنند و  $\vec{F}$  برابر با  $\vec{F} = (2 \cdot N)\vec{i}$  باشد. با این توضیحات باید، بار  $q_2$ ، بار  $q$  مرکزی را دفع و بار  $q_4$  آن را جذب کند. داریم:

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

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

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

$|q|$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F_r = 2 \cdot N \Rightarrow k \frac{|q_r| |q|}{r^2} = 2 \cdot N \Rightarrow 90 \times \frac{2|q| \times |q|}{10^{-2}} = 2 \cdot N \Rightarrow |q|^2 = 25 \Rightarrow |q| = 5 \mu C$$

**۵۵۳- گزینه ۴** 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 با  $b$  و فاصله بارهای  $q_2$  و  $q_4$  از بار  $q_\delta$  را با  $c$  نشان می‌دهیم.  $b$  و  $c$  را به کمک روابط مثلثاتی حساب می‌کنیم:

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

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

