فصل ۵

الکتریسیتهٔ ساکن

عنوان	شماره صفحه
مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن	۲۲۸
روش‌های باردار کردن اجسام	۲۲۹
الکتروسکوپ	۲۳۱
قانون کولن	۲۳۳
اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی	۲۳۴
میدان الکتریکی	۲۳۷
برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی	۲۳۹
خط‌های میدان الکتریکی	۲۴۱
انرژی پتانسیل الکتریکی	۲۴۲
اختلاف پتانسیل الکتریکی	۲۴۶
میدان الکتریکی در داخل رساناها	۲۵۰
مفاهیم مقدماتی خازن	۲۵۱
انرژی ذخیره شده در خازن	۲۵۴
پاسخنامهٔ تست	۲۵۵
پاسخنامهٔ صفر کلوین	۲۸۳
پاسخنامهٔ آزمون ۱	۲۹۰
پاسخنامهٔ آزمون ۲	۲۹۱

کودکی که در شکل می‌بینید در حال سر خوردن روی یک سرسرهٔ پلاستیکی کوچک است. موهای این پسر بچه، در اثر مالش لباسش با سرسره، باردار شده است. ولتاژ بدن این کودک، در این حالت در حدود $5000\,V$ است.

امّا سؤال مهم، این است که چرا این ولتاژ بسیار بالا، به کودک صدمه‌ای نمی‌زند؟ جواب این سؤال را در همین فصل خواهید خواند.

مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن

بار الکتریکی

در طبیعت **دو نوع** بار الکتریکی وجود دارد. بنیامین فرانکلین این دو نوع بار الکتریکی را بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری کرد. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که بارهای همنام یکدیگر را می‌رانند و بارهای ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند.

بار الکتریکی، یک **کمیت نرده‌ای** است که آن را با نماد q نمایش می‌دهیم و یکای آن در SI، کولن (C) نام دارد. یک کولن مقدار بار بزرگی است؛ به همین دلیل معمولاً از واحدهای میکروکولن (μC) و نانوکولن (nC) استفاده می‌شود.

همان‌طور که می‌دانیم الکترون‌ها (e) بار منفی و پروتون‌ها (p) بار مثبت دارند. مقدار بار الکترون با مقدار بار پروتون برابر است. بار الکتریکی یک پروتون $+1/6\times10^{-19}C$ و بار الکتریکی یک الکترون $-1/6\times10^{-19}C$ است. این مقدار را «**بار بنیادی (پایه)**» می‌نامیم.

هوشنگ

۱) همهٔ مواد از اتم‌ها تشکیل شده‌اند و اتم‌ها نیز از الکترون، پروتون و نوترون درست شده‌اند.
۲) اگر تعداد الکترون‌های یک جسم بیشتر از تعداد پروتون‌هایش باشد، می‌گوییم بار جسم، منفی است.
۳) اگر تعداد پروتون‌های یک جسم بیشتر از تعداد الکترون‌هایش باشد، می‌گوییم بار جسم، مثبت است.
۴) اگر تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های یک جسم برابر باشد، بار جسم صفر است و به اصطلاح می‌گوییم جسم، خنثی است.

پایستگی بار الکتریکی

وقتی یک میلهٔ پلاستیکی را با یک پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، تعداد بسیار زیادی الکترون از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی منتقل می‌شود. بر اثر این کار، بار پارچهٔ پشمی مثبت و بار میلهٔ پلاستیکی منفی می‌شود؛ یعنی پارچهٔ پشمی بار الکتریکی از دست داده و میلهٔ پلاستیکی دقیقاً به همان اندازه بار الکتریکی به دست آورده است. بار الکتریکی نه خلق می‌شود و نه از بین می‌رود بلکه تنها از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود. به این امر «پایستگی بار الکتریکی» گفته می‌شود.

بار الکتریکی مثالی از یک کمیت کوانتومی

کمیت کوانتومی، کمیتی است که اندازه‌اش مضرب صحیحی از یک مقدار پایه است. به این مقدار پایه، «کوانتوم» می‌گوییم. بار الکتریکی، نمونهٔ خوبی از یک کمیت کوانتومی است. بار الکتریکی یک جسم مضرب صحیحی از بار الکترون است. اگر از جسمی n الکترون بگیریم یا به آن جسم n الکترون بدهیم، بار الکتریکی جسم از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

بار بنیادی (پایه)	تعداد الکترون	بار الکتریکی	شناسنامهٔ فرمول
e	n	q	نماد
کولن (C)	-	کولن (C)	یکا

FORMULA

$$q = \pm ne$$

e اندازهٔ بار یک الکترون است ($e = 1/6\times10^{-19}C$).

تست

بار الکتریکی یک میلهٔ شیشه‌ای برابر $5nC$ است. اگر این میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ کتان مالش دهیم، 5×10^{10} الکترون از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ کتان منتقل می‌شود. بار نهایی میلهٔ شیشه‌ای برحسب نانو کولن کدام است؟ ($e = 1/6\times10^{-19}C$)

۱) -3 ۲) -13 ۳) $+3$ ۴) $+13$

پاسخ میلهٔ شیشه‌ای به اندازهٔ 5×10^{10} الکترون از دست داده است.

بار این تعداد الکترون را حساب می‌کنیم:

$$q = -ne = -5\times10^{10}\times1/6\times10^{-19} = -8\times10^{-9}C = -8nC$$

بار اولیهٔ میلهٔ شیشه‌ای برابر $5nC$ بوده است و حالا به اندازهٔ $-8nC$ از آن گرفته‌ایم؛ یعنی بار میلهٔ شیشه‌ای مثبت‌تر می‌شود و به $+13nC$ می‌رسد.

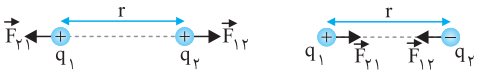
۱ ۲ ۳ ۴

۳ تشخیص رسانا یا نارسانا بودن یک جسم: برای تشخیص رسانا یا نارسانا بودن یک جسم، کافی است یک سر جسم مورد نظر را در دستمان (بدون دستکش) بگیریم و سر دیگر آن را به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس دهیم. اگر جسم مورد نظر رسانا باشد، برگه‌های الکتروسکوپ به هم می‌چسبند؛ زیرا بار الکتریکی از طریق جسم و بدن ما به زمین منتقل می‌شود و الکتروسکوپ خنثی می‌شود و اگر جسم موردنظر نارسانا باشد، برگه‌های الکتروسکوپ حرکت نمی‌کنند.

دانش‌آموز عزیز، حالا می‌تونی تست شمارهٔ ۱۱۲۵ تا ۱۱۳۴ رو حل کنی.

قانون کولن

در قسمت قبل، گفتیم که بارهای همنام به یکدیگر نیروی دافعه و بارهای ناهمنام به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند. این نیرو همواره در راستای خط واصل بین دو بار است.



نیروهایی که بارهای q_1 و q_2 به هم وارد می‌کنند، عمل و عکس‌العمل (کنش و واکنش) هستند؛ یعنی اندازهٔ $\vec{F}_{12}$ با اندازهٔ $\vec{F}_{21}$ برابر است؛ ولی در جهت مخالف یکدیگر هستند.

$\vec{F}_{21}$ نیرویی است که بار q_2 به بار q_1 وارد می‌کند و $\vec{F}_{12}$ نیرویی است که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند. به زبان ریاضی می‌توانیم بنویسیم:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow |\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = F$$

نیرویی که دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 به یکدیگر وارد می‌کنند، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید که به قانون کولن معروف است:

فاصلهٔ دو بار	بار الکتریکی	ثابت کولن	نیرو	شناسنامهٔ فرمول
r	q	k	F	نماد
متر (m)	کولن (C)	نیوتون- مترمربع بر کولن به توان دو ($N.m^2/C^2$)	نیوتون (N)	یکا

FORMULA

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

در این رابطه، k «ثابت الکتروستاتیکی» یا «ثابت کولن» نام دارد و برابر است با:

$$k \simeq 9\times10^9\ N.m^2/C^2$$

جالبه

۱ ثابت کولن (k) را می‌توان برحسب یک ضریب ثابت دیگر به نام ضریب گذردهی خلأ (ε_0) نوشت:

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

۲ قانون کولن بیان می‌کند نیروی الکتریکی که دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 به یکدیگر وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب اندازهٔ بارها (q_1q_2) رابطهٔ مستقیم و با مجذور فاصلهٔ بارها از هم (r^2) رابطهٔ عکس دارد.

$$F \propto q_1q_2 \quad و \quad F \propto \frac{1}{r^2}$$

۳ بنابراین می‌توانیم قانون کولن را به‌صورت $F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$ بنویسیم؛ ولی در استفاده از آن دقت کنید که علامت بارهای q_1 و q_2 وارد فرمول نمی‌شود.

پرسش

۱ دو ذرهٔ باردار در فاصلهٔ r از هم قرار دارند و به هم نیروی F وارد می‌کنند. اندازهٔ یکی از بارها را دو برابر و اندازهٔ بار دیگر را چهار برابر می‌کنیم. نیروی الکتریکی بین دو ذره، چند برابر می‌شود؟

۲ اگر فاصلهٔ دو ذرهٔ q_1 و q_2 را سه برابر کنیم، نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

پاسخ

۱ می‌دانیم که F با $q_1\times q_2$ متناسب است؛ پس وقتی q_1 را دو برابر و q_2 را چهار برابر می‌کنیم، نیروی F هم 2×4 برابر یعنی ۸ برابر می‌شود.

۲ نیروی F با r^2 نسبت عکس دارد؛ پس نیرو، $\frac{1}{3^2}$ برابر یعنی $\frac{1}{9}$ برابر می‌شود.

مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن

۱۱۰۳ (۱) بار الکتریکی، یک کمیت کوانتومی است و به‌صورت $q = ne$ نوشته می‌شود که n مضرب صحیحی از e، بار الکترون است.

۱۱۰۴ (۴) تحلیل گزینه‌ها

۱) A → ← B ۲) ← B C → ۳) ← B C → ۴) ← B C →

گفتیم در حالت کلی، اجسام باردار، اجسام رسانا و خنثی را جذب می‌کنند. همچنین دو جسم با بار ناهمنام نیز یکدیگر را می‌ربایند؛ پس با گزارهٔ اول نمی‌توانیم باردار بودن یا نبودن و نوع بار A و B را تعیین کنیم؛ امّا از گزارهٔ دوم متوجه می‌شویم که B و C لزوماً دارای بارهای همنام هستند (رد (۲) و (۳)). اگر A و C نیز همنام باشند؛ پس هر سه بار A، B و C همنام می‌شوند و دیگر A و B نمی‌توانند یکدیگر را جذب کنند (رد (۱)).

(۴) A بدون بار، B باردار ← C → B (شرط ۲) ← B ← A → (شرط ۱) یا → C ← B (شرط ۲) ← B ← A → (شرط ۱)

پس در (۴) هر دو شرط برقرار است.

۱۱۰۵ (۲) می‌دانیم یک کولن بار، مقدار زیادی است؛ ولی بار الکتریکی هر الکترون برابر $1/6\times10^{-19}$ کولن است. در این صورت بار الکتریکی ۶ عدد الکترون، آنقدر کوچک است که نمی‌تواند روی یک کولن بار اثری بگذارد؛ بنابراین بار خالص، همان یک کولن است.

۱۱۰۶ (۲) بار الکتریکی، مضرب صحیحی از بار الکترون است و به‌صورت $q = ne$ نوشته می‌شود. تنها گزینه‌ای که مضرب صحیحی از بار الکترون است، (۲) است.

$$q = ne \Rightarrow 8\times10^{-19} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = 5$$

۱۱۰۷ (۳) بار الکتریکی جسم از رابطهٔ مقابل محاسبه می‌شود:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{4\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}} = 2/5\times10^{10}$$

دقت داشته باشید q برحسب کولن جایگزین می‌شود و هر نانوکولن برابر 10^{-9} کولن است.

۱۱۰۸ (۴) بار الکتریکی یک جسم همواره مضرب صحیحی از بار پایه است و اندازهٔ آن از رابطهٔ $q = \pm ne$ به‌دست می‌آید:

$$q = ne \Rightarrow 1\times10^{-6} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10^{-6}}{1/6\times10^{-19}} = 6/25\times10^{12}$$

می‌دانیم n در واقع همان تعداد الکترون‌های جابه‌جا شده است و یکا ندارد.

۱۱۰۹ (۴) اگر بار جسمی مثبت باشد، الکترون از دست داده است؛ یعنی جرمش کم می‌شود و اگر بار جسمی منفی باشد، الکترون اضافی دارد؛ یعنی جرمش زیاد شده است.

۱۱۱۰ (۲) از آنجا که بار کره مثبت است؛ پس الکترون از دست داده است. حالا تعداد آن‌ها را به‌دست می‌آوریم:

$$q = ne \Rightarrow 3/2\times10^{-6} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = 2\times10^{13}$$

۱۱۱۱ (۴) بار q از فرمول $q = ne$ به‌دست می‌آید که n تعداد الکترون‌ها است.

$$q = ne \Rightarrow q = 10^{10}\times1/6\times10^{-19} = 1/6\times10^{-9}$$ (بار به ازای هر سانتی‌متر)

حالا عدد بالا را در ۸ ضرب می‌کنیم؛ چون میلهٔ مورد نظر ۸ cm طول دارد:

$$q = 8\times1/6\times10^{-9} = 12/8\times10^{-9}\,C$$

از آنجا که به میله الکترون داده‌ایم؛ پس بار آن منفی است:

$$q = -12/8\times10^{-9}\,C$$

۱۱۱۲ (۲) بار جسم در حالت دوم ۵ برابر حالت اول است.

$$q_2 = 5q_1 \Rightarrow \Delta q = q_2 - q_1 = 4q_1$$

با گرفتن 5×10^{13} الکترون از جسم به اندازهٔ Δq به بار مثبت جسم افزوده شده است. با محاسبهٔ Δq بار اولیهٔ جسم را محاسبه می‌کنیم:

$$\left.\begin{matrix}\Delta q = 4q_1\\ \Delta q = ne\end{matrix}\right\} \Rightarrow 4q_1 = ne \Rightarrow 4q_1 = 5\times10^{13}\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow q_1 = 2\times10^{-6}\,C = 2\mu C$$

۱۱۱۳ (۳) ابتدا بار دو میلیون الکترون را حساب می‌کنیم:

$$q = ne = 2\times10^{6}\times1/6\times10^{-19} = 3/2\times10^{-13}\,C$$

از آنجا که الکترون‌ها از A به B می‌روند، بار A مثبت و بار B منفی است. دقت کنید که جسم A از ابتدا مقداری بار منفی دارد.

$$q_A = -1/6\times10^{-13} + 3/2\times10^{-13} = +1/6\times10^{-13}\,C \qquad q_B = -3/2\times10^{-13}\,C$$

روش‌های باردار کردن اجسام

۱۱۱۴ (۳) انتقال بار الکتریکی از یک جسم به جسمی دیگر، به کمک الکترون‌ها انجام می‌شود.

۱۱۱۵ (۳) می‌دانیم در این جدول، مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر جدول به ماده‌ای که پایین‌تر قرار دارد، منتقل می‌شوند. در مالش تفلون با نایلون، الکترون‌ها از نایلون به تفلون منتقل می‌شوند؛ بنابراین تعداد الکترون‌های میله افزایش می‌یابد. در مالش شیشه با ابریشم، الکترون‌ها از شیشه به ابریشم منتقل می‌شوند و تعداد الکترون‌های شیشه کاهش می‌یابد. همچنین در مالش شیشه با پشم و نیز مالش سرب با ابریشم، الکترون‌های میله کاهش می‌یابند.

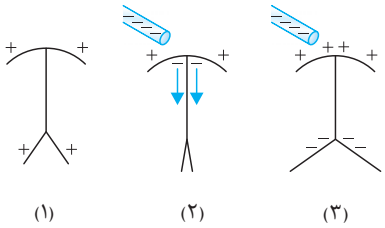
۱۱۱۶ (۴) براساس جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی در صورت سؤال، بار هر کدام از جسم‌ها پس از مالش قابل تشخیص است. در این سؤال، جسم A بار مثبت، جسم C بار منفی، جسم B بار مثبت و جسم D بار منفی خواهد داشت؛ بنابراین هر دو جسم که بار مخالف دارند، می‌توانند یکدیگر را جذب کنند. مانند اجسام A، C و اجسام B، D و اجسام A، D و اجسام B، C.

۱۱۱۷ (۲) می‌دانیم اندازهٔ بار هر دو جسم با هم برابر است. ابتدا اندازهٔ بار الکتریکی آن‌ها را به‌دست می‌آوریم:

$$q = ne \Rightarrow q = 4\times10^{9}\times1/6\times10^{-19} = 6/4\times10^{-10} = 0/64\times10^{-9}\,C \Rightarrow q = 0/64nC$$

سپس الکترون‌ها از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی منتقل می‌شوند؛ پس بار میلهٔ شیشه‌ای مثبت و بار پارچهٔ ابریشمی منفی است.

۱۱۳۴ ۳ قبل از نزدیک شدن میله به الکتروسکوپ، تیغه‌های آن باز است؛ یعنی دارای بار هستند. در وضعیت (۱) وقتی میلهٔ منفی به کلاهک نزدیک می‌شود، تیغه‌ها بسته می‌شوند؛ یعنی تیغه‌ها بار مخالف میله (که همان بار مثبت است) داشته‌اند. پس با نزدیک شدن میلهٔ منفی الکترون‌ها از کلاهک به تیغه‌ها می‌آیند و بار تیغه‌ها را در وضعیت (۲) خنثی می‌کنند. با نزدیک‌تر بردن میله، رانش بارهای منفی به سمت تیغه‌ها ادامه می‌یابد و تیغه‌ها دوباره باز می‌شوند؛ پس در وضعیت (۳) بار تیغه‌ها منفی است.



قانون کولن

۱۱۳۵ ۱ با توجه به آنچه که در درس‌نامه آمده است، (۱) درست است.

۱۱۳۶ ۴ می‌دانیم $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ است؛ پس واحد k و ε_0 معکوس یکدیگرند و ε_0 برحسب یکای $C^2 / N.m^2$ تعریف می‌شود.

۱۱۳۷ ۲ این شکل ترازوی پیچشی نام دارد که طرحی از آزمایش کولن را نشان می‌دهد. در این وسیله یک میلهٔ نارسانای سبک افقی که از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است، قرار دارد. به یک سر میله، گوی باردار مثبت کوچک و به سر دیگر آن یک قرص متصل است. گوی دیگری با بار منفی از حفره‌ای به داخل استوانهٔ شیشه‌ای که درجه‌هایی بر سطح آن حک شده است، وارد می‌کنند. به کمک درجه‌های حک شده بر سطح استوانه، زاویهٔ چرخش میله و زاویهٔ بین گوی‌ها اندازه‌گیری می‌شود که به کمک آن مقدار نیروی الکتریکی را محاسبه می‌کنند.

۱۱۳۸ ۱ تحلیل گزینه‌ها به کمک قانون کولن $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ به این نتیجه می‌رسیم که نیروی کولنی F با r رابطهٔ خطی ندارد (رد (۲) و (۳)) و با افزایش r، نیروی کولنی F کاهش می‌یابد (رد (۳) و (۴))؛ بنابراین (۱) درست است.

۱۱۳۹ ۴ روش اول طبق قانون کولن می‌توانیم بنویسیم:

$$F = k\frac{q_1q_2}{r^2} \xrightarrow[F=18N,\,K=9\times10^9]{q_1=5\times10^{-6}C,\,q_2=4\times10^{-6}C} 18 = \frac{9\times10^9\times5\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{r^2} \Rightarrow r^2 = 10^{-2} \Rightarrow r = 10^{-1}m = 10cm$$

روش دوم

$$F = k\frac{q_1q_2}{r^2} \xrightarrow[F=18N,\,K=90N.cm^2/\mu C]{q_1=5\mu C,\,q_2=4\mu C} 18 = \frac{90\times5\times4}{r^2} \Rightarrow r = 10cm$$

اگر بار برحسب میکروکولن و فاصله برحسب سانتی‌متر باشد، می‌توانیم بدون تبدیل واحد، مقادیر را در قانون کولن جایگزین کنیم، درصورتی که مقدار k را $90N.cm^2/\mu C^2$ قرار دهیم.

۱۱۴۰ ۴ با نوشتن فرمول نیرو، اندازهٔ q_1 قابل محاسبه است:

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \Rightarrow \frac{kq_1\times5q_1}{r^2} = 0/02 \Rightarrow \frac{9\times10^9\times5\times q_1^2}{3^2} = 2\times10^{-2} \Rightarrow q_1^2 = 4\times10^{-12} \Rightarrow q_1 = 2\times10^{-6}C = 2\mu C$$

۱۱۴۱ ۲ ابتدا نیروی کولنی بین دو بار را به‌دست می‌آوریم:

$$F_{21} = F_{12} = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow F = \frac{9\times10^9\times16\times10^{-12}}{36\times10^{-2}} = 4\times10^{-1}N$$

حالا از قانون دوم نیوتون، شتاب حرکت هر ذره را به‌دست می‌آوریم:

$$F_{\text{خالص}} = ma \Rightarrow 4\times10^{-1} = 2\times10^{-2}a \Rightarrow a = 20m/s^2$$

از آنجا که جرم و نیروی وارد بر هر دو ذره با هم برابر است $(F_{12} = F_{21}, m_1 = m_2)$؛ پس شتاب هر دو ذره نیز با هم برابر است.

۱۱۴۲ ۴ با توجه به فرمول $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ می‌دانیم، نیروی الکتریکی با ثابت ماندن اندازهٔ بارها، با مجذور فاصله رابطهٔ عکس دارد؛ پس:

$$\frac{F}{F'} = (\frac{r'}{r})^2 \xrightarrow{F'=2F} (\frac{r'}{r})^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{r'}{r} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow r' = \frac{\sqrt{2}}{2}r$$

۱۱۴۳ ۲ می‌دانیم نیروی کولنی با اندازهٔ هر بار، رابطهٔ مستقیم و با مجذور فاصله، رابطهٔ عکس دارد؛ در نتیجه:

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1'}{q_1}\times\frac{q_2'}{q_2}\times(\frac{r}{r'})^2 \xrightarrow[r'=\frac{1}{2}r]{q_1'=\frac{1}{2}q_1} \frac{F'}{F} = \frac{\frac{1}{2}}{1}\times\frac{1}{1}\times\left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = 2$$

۱۱۴۴ ۲ می‌دانیم پس از تماس دو گوی، بار هر دوی آن‌ها برابر میانگین بار آن‌ها در حالت اول می‌شود:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1+q_2}{2} = \frac{q_1-10q_1}{2} = \frac{-9}{2}q_1$$

حالا به سادگی با استفاده از قانون کولن، نسبت نیروها را در دو حالت پیدا می‌کنیم:

$$F = k\frac{q_1q_2}{r^2} \xrightarrow{r=r'=d} \frac{F'}{F} = \frac{|q_1'q_2'|}{|q_1q_2|} = \frac{\frac{9}{2}q_1\times\frac{9}{2}q_1}{q_1\times10q_1} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{81}{40}$$

۱۱۴۵ ۲ رابطهٔ نیروی کولن بین دو گلولهٔ باردار در حالت اول را می‌نویسیم:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \frac{9\times10^9\times|q_1||q_2|}{(0/3)^2} = 4 \Rightarrow |q_1||q_2| = 40\mu C \Rightarrow q_1q_2 = -40\mu C$$

چون دوبار همدیگر را جذب می‌کنند؛ پس ناهمنام‌اند. با توجه به گزینه‌ها، تنها در (۲) اندازهٔ حاصل‌ضرب دو بار ۴۰ می‌شود؛ امّا به حل سؤال ادامه می‌دهیم.

۱۳۶۵ ۴ با توجه به نمودار و از رابطهٔ $U=\frac{1}{2}CV^2$ ظرفیت خازن را محاسبه می‌کنیم: $U=\frac{1}{2}CV^2 \Rightarrow 240\times10^{-6}=\frac{1}{2}C(4)^2 \Rightarrow C=30\times10^{-6}\,F$

حالا از رابطهٔ $U=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ بار الکتریکی ذخیره شده در ولتاژ V را محاسبه کنیم:

$$U=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \Rightarrow 6\times10^{-3}=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{30\times10^{-6}} \Rightarrow Q^2=36\times10^{-8} \Rightarrow Q=6\times10^{-4}\,C=60\mu C$$

۱۳۶۶ ۱ طبق رابطهٔ $E=\frac{V}{d}$ با دور شدن صفحه‌ها از هم و ثابت ماندن V، مقدار E کاهش می‌یابد و داریم:

$$\begin{cases} E_1=\frac{V}{d_1}=\frac{15}{0/3\times10^{-3}}=5\times10^4\,V/m \\ E_2=\frac{V}{d_2}=\frac{15}{0/5\times10^{-3}}=3\times10^4\,V/m \end{cases} \Rightarrow |E_2-E_1|=|3\times10^4-5\times10^4|=2\times10^4\,V/m$$

صفر کلوپ

۱۳۶۷ ۱ می‌دانیم که بار الکتریکی مضرب صحیحی از بار الکترون است، یعنی باید به‌صورت $q=ne$ نوشته شود. حالا اگر بار یک الکترون را به‌صورت $e=1/3\times10^{-19}\,C$ فرض کنیم بار هر سه قطرهٔ روغن، مضرب صحیحی از آن می‌شود. به محاسبات نگاه کنید:

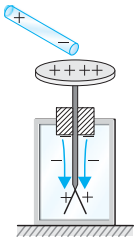
$$6/50\times10^{-19}\,C=5\times1/3\times10^{-19}\,C \Rightarrow n=5 \quad و \quad 3/90\times10^{-19}\,C=3\times1/3\times10^{-19}\,C \Rightarrow n=3$$

$$9/10\times10^{-19}\,C=7\times1/3\times10^{-19}\,C \Rightarrow n=7$$

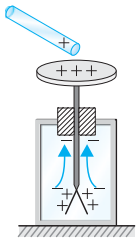
۱۳۶۸ ۴ کرهٔ B در ابتدا باری ندارد و بار القایی $-Q$ روی کرهٔ A و بار القایی $+Q$ روی کرهٔ C القا می‌شود. وقتی کرهٔ B را با کرهٔ A تماس می‌دهیم، بار $-Q$ بین آن‌ها نصف می‌شود و هرکدام بار $-\frac{Q}{2}$ را پیدا می‌کنند. حالا اگر کرهٔ B را با کرهٔ C تماس دهیم، بار نهایی مجموع $(Q+(-\frac{Q}{2})=\frac{Q}{2})$ می‌شود. و این بار $\frac{Q}{2}$ هم بین کره‌های B و C تقسیم می‌شود؛ یعنی به هرکدام بار $\frac{Q}{4}$ می‌رسد.

۱۳۶۹ ۳ تحلیل گزینه‌ها

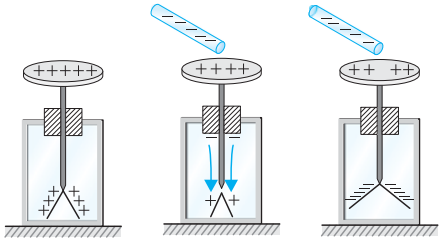
۱ اگر میله بدون بار باشد بر اثر القا بارها مطابق شکل پخش می‌شوند، درنتیجهٔ این توزیع بار، بار منفی میله که نزدیک کلاهک است باعث رانش الکترون‌ها به تیغه می‌شود و بار آن‌ها را می‌کاهد. ولی این رانش بار تا آنجایی ادامه پیدا می‌کند که بار تیغه‌ها خنثی شده و کاملاً بسته شود و تیغه‌ها همچنان بسته می‌مانند.



۲ اگر بار میله مثبت باشد، مشخص است که با نزدیک شدن به کلاهک بارهای منفی را از تیغه‌ها جذب خود می‌کند، درنتیجه بار مثبت تیغه‌ها افزایش می‌یابد و تیغه‌ها بازتر می‌شوند.



۳ و ۴ تا اینجا مشخص شده که میله نه بدون بار است و نه بار آن مثبت است. پس بار میله منفی است. حالا برای مشخص شدن بار تیغه‌ها و کلاهک در پایان آزمایش گفته‌های سؤال را بررسی می‌کنیم. ابتدا بار کلاهک و تیغه‌ها مثبت است. با نزدیک شدن میله به کلاهک، بارهای منفی به سمت تیغه‌ها رانده شده و بار تیغه‌ها را خنثی می‌کند درنتیجه لحظه‌ای تیغه‌ها بسته می‌شوند رانش بار منفی ادامه می‌یابد و بار تیغه‌ها منفی خواهد شد؛ درنتیجه تیغه‌ها دوباره باز می‌شوند. پس در پایان آزمایش بار کلاهک همچنان مثبت و بار تیغه‌ها منفی خواهد بود.



۱۳۷۰ ۳ q_1 و q_2 بار دو گلوله در حالت اول و q'_1 و q'_2 بار دو گلوله در حالت دوم است. ابتدا، با نوشتن نیروی کولنی بین دو گلوله در حالت اول $(F=\frac{kq_1q_2}{r^2})$ به حاصل‌ضرب دو بار می‌رسیم:

$$F=\frac{k|q_1q_2|}{r^2} \Rightarrow 1/2\times10^{-6}=\frac{9\times10^9\times|q_1q_2|}{9\times10^{-2}} \Rightarrow |q_1q_2|=1/2\times10^{-17}=12\times10^{-18}\,C=12(nC)^2$$

البته تنها در ۳ حاصل‌ضرب دو بار ۱۲ است؛ امّا به حل سؤال ادامه می‌دهیم. می‌دانیم بار گلوله‌ها پس از تماس، میانگین بار آن‌ها قبل از تماس است.

$$q'_1=q'_2=\frac{q_1+q_2}{2}=4 \Rightarrow q_1+q_2=8 \Rightarrow q_2=8-q_1$$

حالا که به مجموع بارها رسیدیم، معادلهٔ درجهٔ دو را تشکیل می‌دهیم:

$$q_1(8-q_1)=12 \Rightarrow q_1^2-8q_1=-12$$

با حل معادلهٔ درجهٔ دو به این نتیجه می‌رسیم که بار اولیهٔ گلوله‌ها $\begin{cases} q_1=6nC \\ q_2=2nC \end{cases}$ یا $\begin{cases} q_1=2nC \\ q_2=6nC \end{cases}$ است.

۱۳۷۱ ۴ پس از تماس دو کره، بار آن‌ها، برابر میانگین بار دو کره قبل از تماس است؛ پس:

$$q_1=-5nC, q_2=+15nC \Rightarrow q'_1=q'_2=\frac{-5+15}{2}=+5nC \quad و \quad r=3m \;،\; r'=5m$$

حالا با به‌دست آوردن نسبت نیروها می‌توان درصد تغییر نیرو را محاسبه کرد:

$$\frac{F'}{F}=\frac{q'_1}{q_1}\times\frac{q'_2}{q_2}\times(\frac{r}{r'})^2=\frac{5\times5}{5\times15}\times\frac{3^2}{5^2} \Rightarrow \frac{F'}{F}=\frac{3}{25}=\frac{12}{100} \Rightarrow F'=\%12F$$

مقدار نیروی F' برابر ۰/۱۲ نیروی F است که این نشان می‌دهد نیرو ۰/۸۸ کاهش یافته است که برحسب درصد برابر ۸۸٪ است؛ امّا می‌توانیم به روش محاسبه هم آن را به‌دست آوریم:

$$\frac{\Delta F}{F}\times ۱۰۰=\frac{F'-F}{F}\times ۱۰۰=\frac{(\frac{۱۲}{۱۰۰}F-F)\times ۱۰۰}{F}=-۸۸٪$$

یعنی نیرو ۸۸٪ کاهش یافته است.

۱۳۷۲ (۲) طبق قانون پایستگی بار، مجموع دو بار قبل و بعد از انتقال ثابت است. $q_۱+q_۲=q'_۱+q'_۲=۵q_۱$

از آنجا که نیرو با حاصل‌ضرب دو بار نسبت مستقیم دارد، وقتی مجموع دو بار ثابت است، حاصل‌ضرب آن‌ها زمانی بیشینه است که دو بار با هم برابر باشند؛ یعنی:

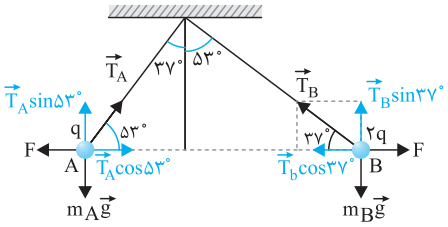
$$q'_۱=q'_۲=\frac{۵}{۲}q_۱$$

حالا درصد تغییرات بار $q_۲$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\Delta q_۲}{q_۲}\times ۱۰۰=\frac{q'_۲-q_۲}{q_۲}\times ۱۰۰=\frac{(\frac{۵}{۲}-۴)q_۱}{۴q_۱}\times ۱۰۰=-\frac{۳}{۸}\times ۱۰۰=-۳۷/۵٪$$

علامت منفی نشان می‌دهد بار $q_۲$ کاهش یافته است.

۱۳۷۳ (۳) ابتدا شکل ساده‌ای از نیروهای وارد بر ذرّه‌های باردار رسم می‌کنیم:



حالا شرط تعادل هر بار را جداگانه می‌نویسیم. برای تعادل ذرهٔ باردار در نقطهٔ A:

$$\left.\begin{matrix}T_A\sin ۵۳°=m_Ag\\ T_A\cos ۵۳°=F\end{matrix}\right\}\Rightarrow \tan ۵۳°=\frac{m_Ag}{F}\Rightarrow F=\frac{m_Ag}{\tan ۵۳°}\quad (۱)$$

و امّا شرط تعادل در نقطهٔ B:

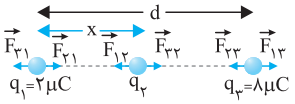
$$\left.\begin{matrix}T_B\sin ۳۷°=m_Bg\\ T_B\cos ۳۷°=F\end{matrix}\right\}\Rightarrow \tan ۳۷°=\frac{m_Bg}{F}\Rightarrow F=\frac{m_Bg}{\tan ۳۷°}\quad (۲)$$

از آنجا که نیروی کولنی بین دوبار باهم برابر است؛ پس از مقایسهٔ دو رابطهٔ (۱) و (۲) می‌توانیم بنویسیم:

$$(۱)=(۲)\Rightarrow \frac{m_A}{m_B}=\frac{\tan ۵۳°}{\tan ۳۷°}=\frac{\frac{۴}{۳}}{\frac{۳}{۴}}=\frac{۱۶}{۹}$$

۱۳۷۴ (۳) برای اینکه برایند نیروهای وارد بر هر بار صفر شود، باید $q_۲$ منفی باشد؛ پس نیروهای وارد بر بارها را رسم می‌کنیم:

برایند نیروهای وارد بر $q_۲$ صفر است؛ پس باید اندازهٔ نیرویی که $q_۱$ به $q_۲$ وارد می‌کند برابر با اندازهٔ نیرویی باشد که $q_۳$ به $q_۲$ وارد می‌کند:

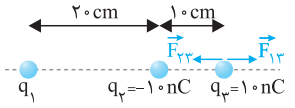


$$F_{۱۲}=F_{۳۲}\Rightarrow \frac{kq_۲\times ۲}{x^۲}=\frac{kq_۲\times ۸}{(d-x)^۲}\Rightarrow ۴x^۲=(d-x)^۲\Rightarrow ۲x=d-x\Rightarrow ۳x=d$$

همین طور برایند نیروهای وارد بر $q_۱$ نیز صفر است؛ پس اندازهٔ دو نیروی $q_{۳۱}$ و $q_{۲۱}$ را نیز با هم برابر قرار می‌دهیم:

$$F_{۲۱}=F_{۳۱}\Rightarrow \frac{kq_۱\times|q_۲|}{x^۲}=\frac{kq_۱\times ۸}{d^۲}\Rightarrow |q_۲|=۸\frac{x^۲}{d^۲}\xrightarrow{d=۳x}|q_۲|=۸\frac{x^۲}{۹x^۲}\Rightarrow |q_۲|=\frac{۸}{۹}\Rightarrow q_۲=-\frac{۸}{۹}\mu C$$

۱۳۷۵ (۱) در حالت اول برایند نیروهای وارد بر $q_۳$ صفر است؛ یعنی:



$$\vec{F}_{T_۳}=\vec{F}_{۱۳}+\vec{F}_{۲۳}=۰\Rightarrow \vec{F}_{۱۳}=-\vec{F}_{۲۳}$$

در حالت دوم که $q_۱$ دو برابر می‌شود، طبق فرمول $F=\frac{k|q_۱q_۳|}{r^۲}$، نیرویی که به $q_۳$ وارد می‌کند نیز دو برابر می‌شود؛ پس:

$$\vec{F}'_{۱۳}=۲\vec{F}_{۱۳}\xrightarrow{\vec{F}_{۱۳}=-\vec{F}_{۲۳}}\vec{F}'_{۱۳}=-۲\vec{F}_{۲۳}$$

حالا برایند نیروهای وارد بر $q_۳$ را در حالت دوم به‌دست می‌آوریم:

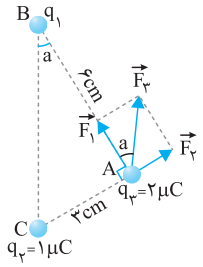
$$\vec{F}'_{T_۳}=\vec{F}'_{۱۳}+\vec{F}_{۲۳}=-۲\vec{F}_{۲۳}+\vec{F}_{۲۳}\Rightarrow F'_{T_۳}=-\vec{F}_{۲۳}$$

از علامت منفی، متوجه می‌شویم برایند نیروها در خلاف جهت $F_{۲۳}$ یعنی به سمت راست است و اندازهٔ آن را با استفاده از رابطه محاسبه می‌کنیم:

$$F_{۲۳}=\frac{k|q_۲q_۳|}{r^۲}=\frac{۹\times ۱۰^۹\times ۱۰۰\times ۱۰^{-۱۸}}{۱۰^{-۲}}\Rightarrow F'_{T_۳}=F_{۲۳}=۹\times ۱۰^{-۵}N$$ (اندازهٔ برایند نیروهای وارد بر $q_۳$)

۱۳۷۶ (۴) $F_۳$ برایند $F_۱$ و $F_۲$ است؛ پس $F_۱$ و $F_۲$ همان مؤلفه‌های حاصل از تجزیهٔ $F_۳$ بر روی اضلاع مثلث است. $F_۲=F_۳\sin\alpha$

از آنجا که نیروی $F_۳$ موازی خط واصل $q_۱$ و $q_۲$ است؛ بنابراین دو زاویهٔ α مشخص شده در شکل با هم برابرند.



$\sin\alpha$ را پیدا می‌کنیم:

$$\sin\alpha=\frac{AC}{BC}=\frac{۳}{\sqrt{۳^۲+۶^۲}}=\frac{۳}{۳\sqrt{۵}}=\frac{\sqrt{۵}}{۵}$$

$$F_۲=F_۳\times\frac{\sqrt{۵}}{۵}\Rightarrow \frac{kq_۲q_۳}{(AC)^۲}=F_۳\times\frac{\sqrt{۵}}{۵}\Rightarrow \frac{۹\times ۱۰^۹\times ۱\times ۱۰^{-۶}\times ۲\times ۱۰^{-۶}}{(۳\times ۱۰^{-۲})^۲}=F_۳\times\frac{\sqrt{۵}}{۵}$$

$$\Rightarrow F_۳=۲\times\frac{۵}{\sqrt{۵}}\times ۱۰=۲۰\sqrt{۵}N$$

۱۴۰۳ **۴** انرژی ذخیره شده در خازن همان گرمای منتقل شده به آب است که باعث افزایش دمای آب می‌شود. می‌دانیم هر cm^3 آب جرمی معادل $1g$ دارد؛ بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$U = Q \Rightarrow \frac{1}{2}CV^2 = mc\Delta\theta \Rightarrow \frac{1}{2}\times 200\times 10^{-6}\times 12^2 = 1\times 10^{-3}\times 4200\times \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta \simeq 3/4\times 10^{-3}K \simeq 3/4mK$$

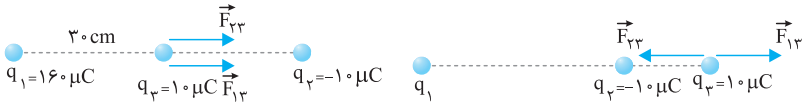
آزمون ۱

۱۴۰۴ **۳** می‌دانیم بار الکتریکی، مضرب صحیحی از بار الکترون است.

$$q = ne \Rightarrow 8\times 10^{-6} = n\times 1/6\times 10^{-19} \Rightarrow n = 5\times 10^{13}$$ الکترون

۱۴۰۵ **۲** اگر بار میله مثبت باشد، با نزدیک کردن میله به کلاهک الکتروسکوپ، بارهای منفی روی ورقه‌ها به طرف کلاهک حرکت می‌کنند و ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک می‌شوند اگر میله خنثی هم باشد، همین اتفاق می‌افتد.

۱۴۰۶ **۲** نیروی خالص وارد بر q_2 صفر است؛ یعنی F_{23} و F_{13} همدیگر را خنثی می‌کنند. ابتدا، q_1 را به‌دست می‌آوریم. دقت داشته باشید با توجه به شکل که نیروی F_{13} دافعه است؛ یعنی بار q_1 مثبت است.



$$F_{23} = F_{13} \Rightarrow k\frac{q_2q_3}{r_{23}^2} = k\frac{q_1q_3}{r_{13}^2} \Rightarrow q = 160\mu C$$

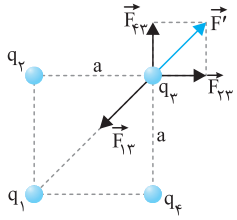
حالا جای q_2 و q_3 را عوض می‌کنیم و برایند نیروهای وارد بر q_3 را به‌دست می‌آوریم:

$$F_{23} = k\frac{q_2q_3}{r_{23}^2} = 9\times 10^9\times\frac{10\times 10^{-6}\times 10\times 10^{-6}}{(10\times 10^{-2})^2} = 90N \quad و \quad F_{13} = k\frac{q_1q_3}{r_{13}^2} = 9\times 10^9\times\frac{160\times 10^{-6}\times 10\times 10^{-6}}{(30\times 10^{-2})^2} = 160N$$

در این مرحله نیروی خالص وارد بر q_3 را به‌دست می‌آوریم:

$$F_T = 90 + 160 = 250N$$

۱۴۰۷ **۱** وقتی بار q_3 در تعادل است؛ یعنی برایند دو نیروی $\vec{F}_{23}$ و $\vec{F}_{43}$ که در شکل زیر بردار $\vec{F'}$ نامگذاری شده است: بردار نیروی $\vec{F}_{13}$ را خنثی می‌کند. بنابراین ابتدا F_{23} و F_{43} و برایند این دو نیرو، یعنی F' را به‌دست می‌آوریم:



$$F_{23} = k\frac{q_2q_3}{a^2} = \sqrt{2}\frac{kq^2}{a^2}$$
$$F_{43} = k\frac{q_4q_3}{a^2} = \sqrt{2}\frac{kq^2}{a^2}$$
$$\Rightarrow F' = \sqrt{F_{23}^2 + F_{43}^2} = 2\frac{kq^2}{a^2}$$

حالا F_{13} را با F' مساوی قرار می‌دهیم؛ چون برایند نیروهای وارد بر q_3 صفر است:

$$F_{13} = F' \Rightarrow k\frac{q_1q_3}{(a\sqrt{2})^2} = 2\frac{kq^2}{a^2} \Rightarrow q_1 = 4q$$

دقت کنید که علامت q_1 باید منفی باشد تا F_{13} و F' در خلاف جهت هم باشند.

۱۴۰۸ **۴** کافی است از فرمول $E = k\frac{q}{r^2}$ در دو حالت استفاده کنیم و رابطه‌ها را بر هم تقسیم کنیم:

$$\begin{cases} r_1 = 2m \\ r_2 = 3m \end{cases} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \Rightarrow \frac{E_1 - 250}{E_1} = (\frac{2}{3})^2 \Rightarrow E_1 = 450N/C$$

۱۴۰۹ **۳** برای حل این سؤال، از نسبت $\frac{E_2}{E_1}$ کمک می‌گیریم:

$$\frac{E_2}{E_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \Rightarrow \frac{4E}{9E} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{2}{3}$$

۱۴۱۰ **۳** برای حل این سؤال، از قضیهٔ کار و انرژی جنبشی استفاده می‌کنیم:

$$W_{\text{نیروی میدان الکتریکی}} = \Delta K \Rightarrow W_E = K_B - K_A \Rightarrow E|q|d\cos\theta = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$$

$$8\times 10^2\times 1/6\times 10^{-19}\times 10^{-1}\times\cos 0^\circ = \frac{1}{2}\times 9\times 10^{-31}\times v_B^2 \Rightarrow v_B = \frac{16}{3}\times 10^6 m/s$$

۱۴۱۱ (۱) از قضیهٔ کار و انرژی جنبشی استفاده می‌کنیم. تنها نیروی وارد بر بار، همان نیروی میدان الکتریکی است.

$$W_{\text{نیروی میدان الکتریکی}} = \Delta K \Rightarrow |q|Ed\cos\theta = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\Rightarrow 1/6\times10^{-19}\times2000\times d\times\cos180^\circ = -\frac{1}{2}\times1/6\times10^{-27}\times(10^5)^2 \Rightarrow d = 0/025m = 25mm$$

۱۴۱۲ (۲) ابتدا، میدان الکتریکی بین دو صفحه را به‌دست می‌آوریم:

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{8-(-8)}{4\times10^{-2}} = 400V/m$$

حالا فاصلهٔ نقطهٔ A تا صفحهٔ منفی را x می‌نامیم و آن را به‌دست می‌آوریم:

$$E = \frac{V_A - V_{\text{صفحهٔ منفی}}}{x} \Rightarrow 400 = \frac{-4-(-8)}{x} \Rightarrow x = \frac{1}{100}m = 1cm$$

۱۴۱۳ (۴) تراکم میدان در B بیشتر است، پس $E_B > E_A$ است. باتوجه به فرمول $F = Eq$ می‌فهمیم که F_B هم از F_A بزرگ‌تر است. از طرفی هرچقدر در جهت خطوط میدان حرکت کنیم، پتانسیل کاهش می‌یابد و این یعنی $V_B < V_A$ است.

۱۴۱۴ (۳) با توجه به اینکه در فلزات همهٔ بار در سطح خارجی فلز توزیع می‌شود تنها گزینهٔ ممکن (۳) است.

۱۴۱۵ (۴) ظرفیت خازن را در دو حالت با هم مقایسه می‌کنیم:

$$C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1}\times\frac{A_2}{A_1}\times\frac{d_1}{d_2} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 4/5\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{3} = \frac{3}{4}$$

۱۴۱۶ (۲) به محاسبهٔ مقابل به دقت توجه کنید:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 22 - 15 = 7V$$

حالا ظرفیت خازن به سادگی محاسبه می‌شود:

$$\begin{cases} Q_1 = CV_1 \\ Q_2 = CV_2 \end{cases} \Rightarrow Q_2 - Q_1 = C(V_2 - V_1) \Rightarrow \Delta Q = C\Delta V \Rightarrow C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{140}{7} = 20\mu F$$

۱۴۱۷ (۴) وقتی خازنی را از مولد جدا می‌کنیم، Q ثابت می‌ماند یعنی $Q_1 = Q_2$. از طرفی باتوجه به فرمول $C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d}$ به سادگی به‌دست می‌آوریم که $C_2 = \frac{5}{2}C_1$ می‌شود. حالا به محاسبهٔ زیر نگاه کنید:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{2}{5} = 0/4$$

$$\frac{\Delta V}{V_1}\times100 = \frac{0/4V_1 - V_1}{V_1}\times100 = -0/6\times100 = -60\%$$

یعنی V_2 برابر است با چهل درصد V_1 و این یعنی ۶۰ درصد کاهش ولتاژ.

۱۴۱۸ (۱) میدان الکتریکی در داخل یک جسم رسانای منزوی باردار، به سرعت صفر می‌شود.

آزمون ۲

۱۴۱۹ (۳) بر اثر این مالش، $32nC$ بار الکتریکی، جابه‌جا شده است.

$$q = ne \Rightarrow 32\times10^{-9} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = 2\times10^{11}$$

۱۴۲۰ (۲) اگر بار جسم، موافق بار الکتروسکوپ باشد، با نزدیک کردن جسم به کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ از کلاهک به سمت ورقه‌ها حرکت می‌کند و ورقه‌ها از هم دور می‌شوند.

۱۴۲۱ (۳) نیروی الکتریکی $\vec{F}$ برایند نیروهایی است که از طرف q_1 و q_2 بر q_A وارد می‌شود؛ یعنی $\vec{F}$ برایند $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ است. اگر بار q_2 را حذف کنیم، فقط q_1 باقی می‌ماند و تنها نیروی مؤثر بر q_A همان $\vec{F}_1$ است. یعنی $\frac{\vec{F}}{4}$ را می‌توانیم $\vec{F}_1$ فرض کنیم. از این مقایسه به سادگی می‌فهمیم که $\vec{F}_2$ هم باید $\frac{3}{4}\vec{F}$ باشد؛ چون $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}$ است.

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= k\frac{q_1q_A}{d^2} \\ F_2 &= k\frac{q_2q_A}{4d^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{q_1}{q_2}\times4 \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{q_1}{q_2}\times4 \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{12}$$

از آنجا که $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$، هم‌جهت هستند؛ پس q_1 و q_2 هم‌علامت و نسبت آن‌ها مثبت است.

۱۴۲۲ (۳) به گلولهٔ بالایی توجه می‌کنیم که در حال تعادل است. به این گلوله دو نیروی F و mg وارد می‌شود که همدیگر را خنثی می‌کنند.

$$F = mg \Rightarrow k\frac{qq}{r^2} = mg \Rightarrow 9\times10^9\times\frac{2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{r^2} = 20\times10^{-3}\times10 \Rightarrow r^2 = 0/18 \Rightarrow r = \sqrt{0/18} = 0/3\sqrt{2} = 0/42m = 42cm$$