

راهنمای پاسخ‌دهی
پرسش‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و مسئله‌های

فصل اول

فیزیک ۲
پایه یازدهم

چاپ اول

۱۳۹۶

سخنی با همکاران

همکاران گرامی و دبیران ارجمند، متمنی است هنگام مراجعه به این مجموعه، نکات زیر را در نظر داشته باشید.

۱- در نگارش این مجموعه فرض بر این بوده است که **مخاطب، دبیر فیزیک** است. لذا حساسیت‌ها و ظرایفی که به لحاظ تعلیم و تربیتی برای مخاطب قرار دادن دانش آموز در یک متن آموزشی ضرورت دارد، در این جا مورد نگاه نبوده است. مثلاً گاه در پاسخ یک پرسش، بحثی نسبتاً طولانی ارائه شده است که متناسب حوصله معلم است، نه دانش آموز. یا ممکن است در پاسخ یک سؤال، دو یا چند راه حل داده شده باشد که قطعاً عرضه همه این پاسخ‌ها به دانش آموز، سبب خستگی وی می‌گردد.

۲- قطعاً اساتید بزرگوار، پاسخ‌ها و راه‌حل‌های در خور دیگری نیز برای سؤال‌ها و مسائل دارند که ای بسا به ملاحظاتی، پسندیده‌تر از پاسخ‌ها و توضیحات این مجموعه باشد.

۳- تجربه تعامل تعلیم و تربیتی با دانش‌آموزان به این نتیجه گران‌بها می‌انجامد که پاسخ ناتمام و ناقصی که دانش‌آموز در زمینه تلاش و فعالیت علمی خود به یک پرسش می‌دهد، ارجمندتر از پاسخ تمام و کاملی است که معلم به او می‌دهد و او منفعلانه به ذهن می‌سپارد.

۴- این مجموعه براساس متن درسی کتاب رشته ریاضی چاپ ۱۳۹۶ فراهم شده است. با توجه به ساده‌سازی‌های انجام شده در متن درسی کتاب رشته تجربی، ضروری است دبیران بزرگوار، متناسب‌سازی‌های لازم را در مباحث این مجموعه، برای هم‌زبان شدن با دانش‌آموزان رشته تجربی، شخصاً عهده‌دار شوند.

از حسن توجه و نگاه مسؤولانه همکاران سپاسگزاریم.

تهیه و تنظیم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

ویراستار: محمدرضا شریف زاده اکباتانی

لطفاً نظرات و پیشنهادات خود را به khoshbin@talif.sch.ir یا Ahmadahmady@gmail.com ارسال کنید.

* تمام حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی است و هر گونه چاپ و تکثیر ممنوع است.

* سایت مورد تأیید گروه فیزیک جهت هر گونه دانلود و امور پشتیبانی مربوط به کتاب‌های فیزیک دوره متوسطه دوم:

Physics-dept.talif.sch.ir

فصل ۱

پرسش ۱-۱ (صفحه ۳)

بسته به این که روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن بر روی ظرف غذا از زُل پیچ آن جدا کرده یا مستقیماً روی ظرف غذا بکشیم، پاسخ‌ها متنوع خواهد بود. وقتی روکش پلاستیکی را روی ظرف غذا می‌کشیم بر اثر تماس نزدیک دو جسم، بار در فرایندی موسوم به *الکتریسیته‌دار شدن تماسی* بین دو سطح منتقل می‌شود. مثلاً ممکن است پوشش پلاستیکی، بخشی از الکترون‌های روی لبه را به سمت خود بکشد و آن بخش را باردار مثبت کند. آن‌گاه، پوشش که دارای بار منفی است و لبه که دارای بار مثبت است، یکدیگر را جذب خواهند کرد. البته *تماس نزدیک* در نواحی جداگانه کوچکی رخ می‌دهد. وقتی دو جسم را به یکدیگر مالش می‌دهیم، تعداد این نواحی تماس نزدیک زیادتر می‌شود و بنابراین، این جاذبه هم بیشتر خواهد شد که به این، *الکتریسیته‌دار شدن مالشی* می‌گویند. اگر روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن روی ظرف، از زُل پیچ آن جدا کرده باشیم، تکه‌هایی از آن در فرایندهای الکتریسیته‌دار شدن تماسی یا مالشی باردار می‌شوند. تکه‌های با الکترون اضافی، باردار منفی و تکه‌های با کاستی الکترون، باردار مثبت هستند. (در واقع همین امر باعث تا خوردن پوشش‌های پلاستیکی یا نوارچسب بر روی خود یا زُل پیچ آن می‌شود). آن‌گاه افزون بر آنچه که در بالا گفته شد، همان‌طور که در مبحث قطبش خواهید دید، بارهای قطبشی نیز ایجاد خواهد شد که این موجب جذب بیشتری می‌شود. افزون بر این، اگر جدایی بار ناچیزی در یک سطح رخ داده باشد، این می‌تواند موجب ایجاد جدایی بار مشابهی در سطح مقابل نیز شود. همان‌طور که خواهیم دید به این جدایی بار، دوقطبی الکتریکی گفته می‌شود و دوقطبی‌های الکتریکی روی دو سطح، همدیگر را بر اثر نیروی جاذبه بین مولکولی‌ای موسوم به *نیروی وان‌دروالس* جذب می‌کنند.

تمرین ۱-۱ (صفحه ۵)

عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است و بنابراین بار الکتریکی هسته اتم $Q_{\text{هسته}} = +92e = +92(1/60 \times 10^{-19}C) = 1/47 \times 10^{-17}C$ می‌شود. اتم اورانیم به همین تعداد الکترون دارد که مقدار آن منفی مقدار بالا می‌شود. بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) مجموع این دو بار و بنابراین صفر است.

فعالیت ۱-۱ (صفحه ۵)

در این فعالیت جالب است از دانش‌آموزان بخواهید که بکشند نی‌ها را از انتهای بالایی به هم تماس دهند. در آن صورت در خواهند یافت که نمی‌توانند آن‌ها را بیش‌تر از فاصله‌ای به هم نزدیک کنند.

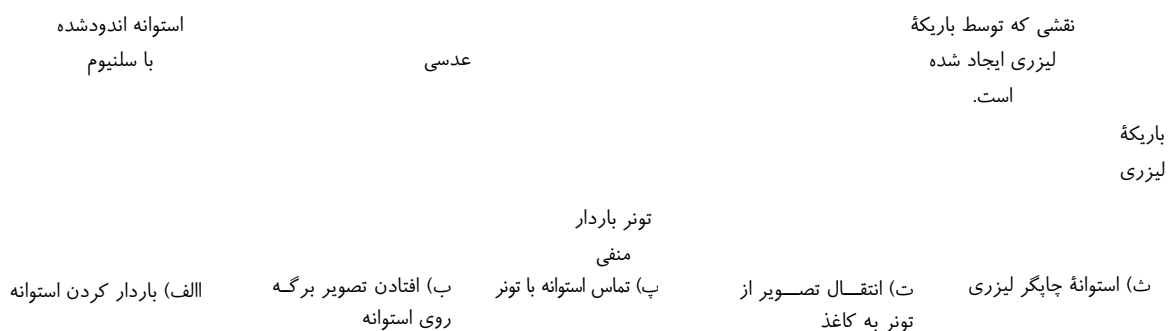
فعالیت ۲-۱ (صفحه ۷)

طرز کار دستگاه‌های فتوکپی (و چاپگرهای لیزری) بر اساس برخی اصول اولیه الکتریسیته ساکن است. یک استوانه آلومینیومی که با سلنیوم اندود شده است به وسیله یک الکتروود، باردار مثبت می‌شود. سپس استوانه در معرض تابش نوری قرار می‌گیرد که تصویری را از برگه‌ای که می‌خواهیم رونوشت آن را تهیه کنیم روی سطح استوانه ایجاد می‌کند. سلنیوم اصطلاحاً یک رسانای نوری (*photoconductor*) است؛ یعنی در نبود نور، نارسانا است، و در حضور نور، رسانا می‌شود. وقتی تصویر برگه موردنظر روی استوانه می‌افتد، بخش‌هایی از پوشش سلنیومی استوانه که نور می‌گیرد، رسانا می‌شود و با تماس با بدنه آلومینیومی استوانه بار مثبت خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب، تصویر برگه به صورت توزیعی از بار مثبت بر سطح استوانه نقش می‌بندد. پس از این مرحله، استوانه در تماس با پودر سیاه‌رنگی (موسوم به *تونر*) که دارای بار منفی شده است قرار می‌گیرد. نیروی جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی و بخش‌هایی از استوانه که دارای بار مثبت است سبب می‌شود این پودر بر سطح استوانه بنشیند و تصویری سیاه رنگ از برگه به وسیله تونر بر سطح آن ایجاد شود. اکنون یک برگه سفید که باردار

مثبت شده است و بار مثبت آن بیشتر از بار مثبت استوانه است، روی سطح استوانه می‌پیچد و به این ترتیب جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی که روی سطح استوانه قرار دارد و سطح باردار مثبت کاغذ سفید، موجب انتقال تصویر از استوانه به کاغذ می‌شود. گام آخر، عبور کاغذ (که اینک پودر تونر تصویری بر سطح آن ایجاد کرده است) از میان غلتک‌های داغ است. اکنون تونر بر اثر گرما کاملاً بر سطح کاغذ «تثبیت» می‌گردد و بدین ترتیب فرایند فتوکپی به پایان می‌رسد.

در چاپگر لیزری به جای آنکه تصویر موردنظر را به وسیله اسباب اپتیکی روی سطح استوانه ایجاد کنند، یک قلم لیزری، تصویر یا متن مورد نظر را که به صورت یک فایل در حافظه رایانه ذخیره شده است، روی سطح استوانه ایجاد می‌کند.

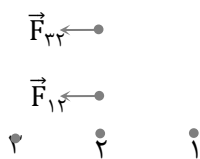
شکل زیر مرحله‌های ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را از (الف) تا (ث) نشان می‌دهد. در چاپگر لیزری، مرحله (ب) با مرحله (ث) جایگزین می‌شود.



پرسش ۱-۲ (صفحه ۸)

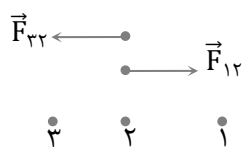
در تعیین نیروی خالص (برایند) توجه کنید که پس از مشخص کردن ذره موردنظر، نیروی ناشی از ذرات دیگر بر آن را طوری رسم می‌کنیم که ابتدای هر کدام از نیروها روی ذره موردنظر باشد. برای اینکه نیروها را مشخص کنیم، بارها را به ترتیب از سمت راست با عددهای ۱، ۲ و ۳ مشخص می‌کنیم.

الف) با رسم نیروها درمی‌یابیم که دو نیرو رو به سمت چپ بر بار میانی وارد می‌شود:



بنابراین برایند نیروی وارد بر ذره میانی رو به سمت چپ (در جهت \vec{I}) می‌شود.

ب) در این وضعیت، بار ذره ۱ منفی است. اکنون نیرویی که بار شماره ۱ بر بار میانی وارد می‌کند در خلاف جهت وضعیت الف است و بنابراین سوی نیروهای \vec{F}_{12} و \vec{F}_{13} بر خلاف جهت هم می‌شود.



ولی توجه کنید که چون فاصله ذره میانی از ذره‌های کناری برابر و بزرگی بارها نیز یکسان است، بنابراین نیروهای وارد بر بار میانی، همدیگر را خنثی می‌کند.

تمرین ۱-۲ (صفحه ۹)

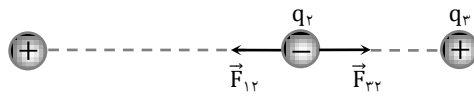
نیروی وارد بر بار q_2 ، برآیند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_3 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبه این نیرو، نیروی را که هر یک از بارهای q_1 و q_3 در غیاب دیگری بر بار q_2 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم.

فاصله بین بارهای q_1 و q_2 را با r_{12} و فاصله بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9/0 \times 10^{-9} \text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2/5 \times 10^{-6} \text{C})(1/0 \times 10^{-6} \text{C})}{(4/0 \cdot \text{m})^2} = 1/4 \times 10^{-3} \text{N}$$

$$F_{32} = k \frac{|q_3||q_2|}{r_{23}^2} = (9/0 \times 10^{-9} \text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(4/0 \times 10^{-6} \text{C})(1/0 \times 10^{-6} \text{C})}{(2/0 \cdot \text{m})^2} = 9/0 \times 10^{-3} \text{N}$$

نیرویی که بار q_1 بر بار q_2 وارد می‌کند و نیز نیرویی که بار q_3 بر بار q_2 وارد می‌کند، از نوع ریاضی (جاذبه) است.



مطابق شکل، این دو نیرو برخلاف جهت یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = F_{12}(-\vec{i}) + F_{32}(+\vec{i}) = (F_{32} - F_{12})\vec{i}$$

بنابراین، بزرگی \vec{F}_T برابر تفاضل بزرگی آنها است:

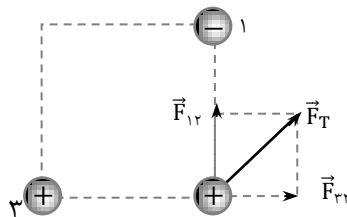
$$F_T = F_{32} - F_{12} = 9/0 \times 10^{-3} \text{N} - 1/4 \times 10^{-3} \text{N} = 7/6 \times 10^{-3} \text{N}$$

در واقع، بزرگی نیروی \vec{F}_T برابر $7/6 \times 10^{-3} \text{N}$ و جهت آن در سوی مثبت محور X است:

$$\vec{F}_T = (7/6 \times 10^{-3} \text{N})\vec{i}$$

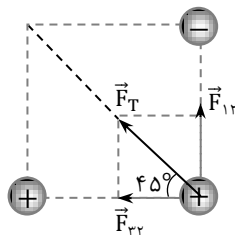
پرسش ۱-۳ (صفحه ۹)

همان‌طور که گفتیم برای تعیین نیروی برآیند، نخست باید ذره موردنظر را انتخاب کنیم و بردارهای نیرو را طوری رسم کنیم که ابتدای آنها بر ذره موردنظر باشد، در این صورت داریم:
الف) اگر بارها را شماره‌گذاری کنیم داریم:



که در آن $F_{12} = F_{32}$. بنابراین \vec{F}_T با جهت $+\vec{i}$ زاویه 45° می‌سازد.

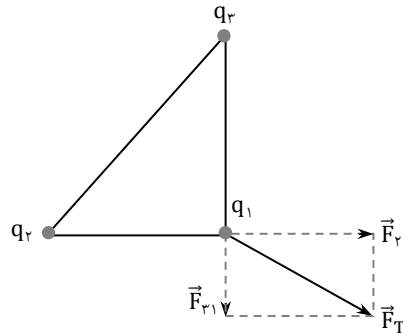
ب) اکنون علامت بار شماره ۳ منفی است و بنابراین سوی نیروی \vec{F}_{32} برمی‌گردد و شکلی مانند زیر داریم:



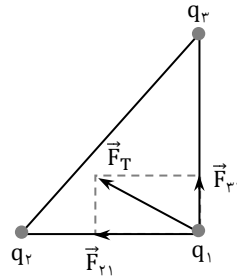
که در آن $F_{12} = F_{21}$. بنابراین اکنون \vec{F}_T با جهت $\vec{i} + \vec{j}$ زاویه 45° می‌سازد.

تمرین ۱-۳ (صفحه ۱۰)

الف) اگر علامت بار q_3 مثبت شود، سوی نیروی \vec{F}_{31} وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



ب) اگر علامت بار q_3 منفی شود، سوی نیروی \vec{F}_{31} وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



پ) خیر. زیرا اندازه نیروی برابر است با

$$F_T = \sqrt{F_{31}^2 + F_{21}^2}$$

که با توجه به اینکه مقدار F_{31} و F_{21} تغییری نمی‌کنند، بزرگی نیروی برابر می‌ماند.

تمرین ۱-۴ (صفحه ۱۴)

الف) بار پروتون $q = +e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است. بنابراین داریم:

$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5/3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 5/13 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

خوب است این میدان را با میدان‌های داده شده در جدول ۱-۲ (صفحه ۱۱) کتاب مقایسه کنید تا به بزرگی آن پی ببرید.

بزرگترین میدان داده شده مربوط به فروریزش الکتریکی در هواست که مرتبه بزرگی آن 10^5 بار کوچکتر از این پاسخ است.

ب) همان طور که در مثال پیش دیدیم، میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دو گراف در فاصله $1/5 \text{ m}$ از مرکز کلاهک برابر

است با

$$E_v = \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(1/5 \text{ m})^2} = 9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

این را باید با میدان حاصل از پروتون در فاصله نامشخص r برابر قرار دهیم و از آنجا r را پیدا کنیم:

$$E_p = \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{r^2} = 9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

و از آنجا که $r = 4/0 \times 10^{-7} \text{m}$ می‌شود. دقت کنید مرتبه بزرگی این فاصله، 10^4 بار بزرگتر از مرتبه بزرگی شعاع اتم هیدروژن در مدل بور است. بنابراین پاسخ ب نیز مانند پاسخ الف نشان‌دهنده بزرگی بسیار زیاد میدان هسته اتم در محل الکترون‌های اتم است.

تمرین ۱-۵ (صفحه ۱۶)

در نقطه O، میدان الکتریکی حاصل از هر دو بار با هم جمع می‌شود و جهت آن رو به سمت چپ خواهد بود. یعنی اگر بار آزمون را در نقطه O قرار دهیم، نیروهای وارد بر آن ناشی از بارهای q_1 و q_2 به سمت چپ خواهد بود و بنابراین میدان الکتریکی خالص در جهت $-\vec{i}$ است. چون بزرگی بارها یکسان و فاصله آنها تا نقطه O برابر است، بزرگی میدان‌ها با هم برابر است. بنابراین اندازه میدان کل، دو برابر اندازه هر یک از میدان‌ها است:

$$E_0 = 2E = 2k \frac{|q|}{r^2} = 2(9/0 \times 10^9 \text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2/0 \times 10^{-9} \text{C})}{(3/0 \times 10^{-2} \text{m})^2} = 4/0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

در نتیجه $\vec{E}_0 = (-4/0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$ می‌شود.

حال اگر بار آزمون را در نقطه M قرار دهیم، دو نیرو بر آن اثر می‌کند که برخلاف جهت هم هستند. چون اندازه بارها برابر ولی فاصله بار مثبت از نقطه M کوچک‌تر است، نتیجه می‌گیریم که جهت میدان الکتریکی در سوی مثبت محور X $(+\vec{i})$ می‌شود.

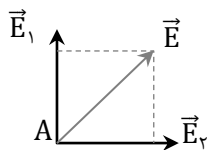
$$\begin{aligned} E_M &= k \frac{|q|}{r_1^2} - k \frac{|q|}{r_2^2} = k|q| \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \\ &= (9/0 \times 10^9 \text{N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) (2/0 \times 10^{-9} \text{C}) \left(\frac{1}{(3/0 \times 10^{-2} \text{m})^2} - \frac{1}{(9/0 \times 10^{-2} \text{m})^2} \right) \\ &= 17/784 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1/8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

در نتیجه:

$$\vec{E}_M = (1/8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$

تمرین ۱-۶ (صفحه ۱۷)

با گذشتن بار آزمون در نقطه A، جهت میدان برآیند در این نقطه را تعیین می‌کنیم.



$$\vec{E} = E_1 \vec{i} + E_2 \vec{j} = (5/0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i} + (5/0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{j}$$

و در نتیجه:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = 7/1 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

البته این نتیجه را می‌توانستیم براساس تقارن مسئله، با استفاده از پاسخ مثال ۱-۸ نیز به راحتی دریابیم.

فعالیت ۱-۳ (صفحه ۱۷)

خوب است در تکمیل این فعالیت، برای آن که طرح خطوط میدان را به صورت سه بُعدی ببینید، به جای بذر چمن از بریده‌های کوچک نخ استفاده کنید و آن‌ها را پیش از آزمایش در ظرف شیشه‌ای شفاف با عمق مناسب (مثلاً بالن آزمایشگاه) که حاوی روغن است کاملاً هم بزنید و با استفاده از یک مولد ولتاژ بالا، آزمایش مشابهی ترتیب دهید.

پرسش ۱-۴ (صفحه ۱۹)

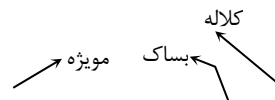
در هر نقطه فضا، یک میدان الکتریکی یکتا وجود دارد که همان میدان الکتریکی خالص (برایند) است و چون میدان الکتریکی در آن نقطه از فضا یکتا است، بنابراین میدان الکتریکی برایند دیگری در آنجا وجود ندارد که تقاطع ایجاد کند.

پرسش ۱-۵ (صفحه ۱۹)

نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی \vec{E} است، و بنابراین اگر نیروی دیگری به این بار اثر نکند، بار منفی در خلاف جهت میدان شتاب می‌گیرد. در هر سه نقطه، نیروی الکتریکی وارد بر بار $-q$ در خلاف جهت پیکان‌های خطوط میدان است.

فعالیت ۱-۴ (صفحه ۱۹)

زنبورهای عسل معمولاً در حین پرواز دارای بار مثبت می‌شوند و وقتی به گرده بدون باری روی بساک یک گل (شکل الف) می‌رسند که از لحاظ الکتریکی خنثی است، میدان الکتریکی آن‌ها روی گرده بارهای مثبت و منفی ایجاد می‌کند، به طوری که آن سمت گرده که به طرف زنبور است باردار منفی می‌شود و به این ترتیب گرده به سوی زنبور کشیده می‌شود (شکل ب). گرده‌ها روی مویزهای ریز زنبور قرار می‌گیرند و سپس وقتی زنبور در اطراف کلالة گل دیگری پرواز می‌کند، بارهای منفی را بر روی کلالة القا می‌کند. هرگاه نیروی الکتریکی وارد از کلالة بزرگتر از نیروی الکتریکی وارد از زنبور بر گرده باشد، گرده به سمت کلالة گل کشیده می‌شود (شکل پ) و گرده افشانی صورت می‌گیرد.



گرده	سطح باردار زنبور	کلالة	الکترون‌های جمع شده
الف) اجزای بساک و کلالة یک گل	ب) بر اثر حضور زنبور، روی گرده نزدیک بساک، بار القا شده است.	پ) الکترون‌هایی که در نوک کلالة جمع شده‌اند، گرده را جذب می‌کنند.	

تمرین ۱-۷ (صفحه ۲۱)

برای این که نیروی الکتریکی با وزن بادکنک موازنه شود باید نیروی الکتریکی در خلاف جهت وزن بادکنک به آن وارد شود و بزرگی آن برابر با وزن بادکنک باشد:

$$F_E = mg \Rightarrow qE = mg$$

و از آنجا

$$E = \frac{mg}{|q|} = \frac{(10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})}{2.0 \times 10^{-9} \text{ C}} = 4.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

با توجه به رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$ و منفی بودن q ، جهت میدان الکتریکی در خلاف نیروی الکتریکی و بنابراین مستقیماً رو به پایین است.

فعالیت ۱-۵ (صفحه ۲۱)

رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی یکی از کاربردهای مهم تخلیه الکتریکی است. این وسیله با جداسازی ذرات از گازهای حاصل از احتراق مواد سوختی، سبب کاهش آلودگی هوا می‌شود. به‌کارگیری این وسیله، به‌خصوص در نیروگاه‌های تولید برق که از زغال‌سنگ استفاده می‌کنند و دیگر صنایعی که مقادیر قابل توجهی دود تولید می‌کنند، مفید است. رسوب‌دهنده‌هایی که امروزه به کار گرفته می‌شوند می‌توانند حدود ۹۰ درصد خاکستر و بخار موجود در دود را کاهش دهند، ولی با این حال درصد قابل توجهی از ذرات سبک‌تر از رسوب‌دهنده می‌گریزند و وارد جو می‌شوند. رسوب‌دهنده‌ها اقسام متفاوتی دارند که در اینجا به چند نوع آن‌ها می‌پردازیم.

در رسوب‌دهنده‌ای که در شکل اول می‌بینید، ولتاژ بالایی (نوعاً از ۴۰kV تا ۱۰۰kV) بین یک سیم فلزی که از وسط دودکش آن می‌گذرد و دیواره دودکش برقرار می‌شود، در حالی که دیواره دودکش به زمین متصل است. پتانسیل سیم فلزی، منفی‌تر از پتانسیل دیواره است و لذا میدان الکتریکی‌ای به وجود می‌آید که جهت آن به سمت سیم است. در نزدیکی سیم، میدان الکتریکی چنان قوی است که می‌تواند سبب تخلیه الکتریکی در این فضا گردد و به این ترتیب یون‌های مثبت و منفی و تعدادی الکترون ایجاد می‌شود. الکترون‌ها و یون‌های منفی (از قبیل O^-) در خلاف جهت میدان الکتریکی، به سمت دیواره دودکش شتاب می‌گیرند. ذرات غبار موجود در دودی که از دودکش می‌گذرد با یون‌های منفی و الکترون‌ها برخورد کرده و با به دام انداختن آن‌ها باردار می‌شوند؛ چون بیشتر ذرات غبار باردارشده منفی هستند، این ذرات توسط میدان الکتریکی به سمت دیواره دودکش کشیده می‌شوند. با تکان دادن دودکش، ذرات باردارشده غبار چسبیده به دیواره پایین می‌ریزد و آنگاه از ته رسوب‌دهنده جمع‌آوری می‌شوند.

عایق

منبع ولتاژ بالا

هوای تمیز
خروجی

هوای کثیف ورودی

وزنه

رسوب

نوع دیگر رسوب‌دهنده‌ها در شکل دوم نشان داده شده است. در این رسوب‌دهنده، توری سیمی که به میزان زیادی باردار مثبت شده است بین تیغه‌های فلزی متصل به زمین قرار دارد، به‌گونه‌ای که تخلیه الکتریکی مدامی بین توری و این تیغه‌ها روی می‌دهد. این تخلیه، جریان پیوسته‌ای از یون‌ها را به همراه دارد که خود را به ذره‌های غبار در گازی که از دودکش بالا

می‌رود، متصل می‌کنند. ذره‌های باردار عبوری به سوی تیغه‌های متصل به زمین رانده می‌شوند و در آنجا رسوب می‌کنند. پس از مدتی، این تیغه‌ها را با زدن ضربه می‌تکانند و به این ترتیب، ذره‌ها را جدا می‌کنند.

پاک‌کننده هوای الکتروستاتیکی دستگاه مشابه دیگری از این دست به منظور ایجاد هوای مطبوع برای مبتلایان به آلرژی است. در این دستگاه، هوای آلوده نخست از میان یک شبکه توری با بار مثبت عبور داده می‌شود. ذرات آلودگی با برخورد با این شبکه باردار مثبت می‌شوند. سپس، هوا از شبکه توری دیگری که باردار منفی شده است عبور می‌کند. ذرات آلاینده که پیشتر هنگام برخورد با شبکه توری منفی می‌شوند و روی این شبکه رسوب می‌کنند و به این ترتیب هوای خروجی از دستگاه عاری از درصد زیادی از ذرات آلاینده است.

ذره‌های باردار مثبت روی تیغه‌های فلزی می‌نشینند

توری سیمی نازک باردار

تیغه‌های فلزی

دودکش

اتصال به زمین

تمرین ۱-۸ (صفحه ۲۳)

طبق قضیه کار-انرژی جنبشی داریم:

$$W_E = \Delta K$$

از طرفی رابطه ۸-۱، $W_E = -\Delta U_E$ است و بنابراین داریم:

$$-\Delta U_E = \frac{1}{2} m(v_B^2 - v_A^2) \Rightarrow \Delta U_E = -\frac{1}{2} m v_B^2$$

جهت میدان الکتریکی عوض شده است، و پروتون در جهت میدان (به طرف راست) شتاب می‌گیرد. تغییر انرژی پتانسیل آن برابر است با

$$\Delta U_E = -|q| E d \cos \theta$$

که در اینجا $\theta = 0^\circ$ است. بنابراین

$$\Delta U_E = -|q| E d$$

$$-\frac{1}{2} m v_B^2 = -|q| E d$$

و در نتیجه:

$$v_B = \sqrt{\frac{2|q|Ed}{m_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1/60 \times 10^{-19} \text{C})(2/0 \times 10^3 \text{N/C})(10 \times 10^{-2} \text{m})}{1/67 \times 10^{-27} \text{kg}}}$$

$$= 1/96 \times 10^5 \text{m/s} \approx 2/0 \times 10^5 \text{m/s}$$

البته این را می‌توانستیم بدون محاسبه و با توجه به پاسخ قسمت ب مثال ۱-۱۰ نیز حدس بزنیم.

تمرین ۱-۹ (صفحه ۲۵)

در متن درس اشاره شد که ΔV مستقل از نوع بار است و اینجا می‌خواهیم آن را نشان دهیم.

الف) رابطه‌های $\Delta V = \Delta U/q$ و $\Delta V = -|q| E d \cos \theta$ را در نظر بگیرید. اگر بار q مثبت باشد، θ همان زاویه میان میدان الکتریکی و جابه‌جایی بار q و در اینجا $\theta = 0^\circ$ است و بنابراین

$$\Delta V = -Ed$$

و اگر بار q منفی باشد، نیرو در خلاف جهت میدان اثر می‌کند و با توجه به اینکه جابه‌جایی هم‌سو با میدان است، در اینجا $\theta = \pi$ است و بنابراین

$$\Delta U = -|q|Ed \cos(\pi) = |q|Ed$$

که با توجه به منفی بودن q ، داریم $|q| = -q$ و در نتیجه $\Delta U = -qEd$ می‌شود. از طرفی $\Delta V = \Delta U/q$ است و بنابراین خواهیم داشت:

$$\Delta V = -Ed$$

پس در هر دو حالت $\Delta V = -Ed$ شد، که به معنی کاهش پتانسیل است. بدیهی است که با حرکت در خلاف جهت میدان، $\Delta V = +Ed$ می‌شود که به معنی افزایش پتانسیل است.

(ب) با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، $\theta = 90^\circ$ و در نتیجه $\Delta U = 0$ و از آنجا $\Delta V = 0$ می‌شود.

تمرین ۱-۱۰ (صفحه ۲۵)

در این حالت، چون پایانه مثبت را مرجع گرفته‌ایم، $V_+ = 0$ است. بنابراین

$$\Delta V = V_+ - V_- = 0 - V_- = 12V$$

و در نتیجه $V_- = -12V$ می‌شود. به عبارتی دیگر، پتانسیل پایانه منفی باتری $12V$ کمتر از پتانسیل پایانه مثبت آن است.

فعالیت ۱-۶ (صفحه ۲۶)

به طور اختصار می‌توان گفت که اساساً نورون، متشکل از یک جسم سلولی است که پیام‌های الکتریکی را از طریق اتصال‌هایی به نام سیناپس که روی دندریت‌ها قرار دارند، دریافت یا ارسال می‌کنند. اگر محرک به حد کافی قوی باشد، نورون یک سیگنال الکتریکی را

در امتداد تار به نام آکسون ارسال می‌کند. آکسون یا تار عصبی که قطر آن ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر است و طول آن ممکن است به یک متر برسد، سیگنال الکتریکی را به ماهیچه‌ها و نورون‌های دیگر می‌برد. در دو طرف سطح یا غشای هر نورون اختلاف پتانسیلی ناشی از وجود یون‌های منفی بیشتر در داخل غشا نسبت به خارج آن وجود دارد و اصطلاحاً به آن نورون قطبیده گفته می‌شود. پتانسیل داخل سلول عموماً ۶۰ تا ۹۰ میلی‌ولت، منفی‌تر از خارج آن است. این اختلاف پتانسیل، پتانسیل استراحت

اسیلوسکوپ

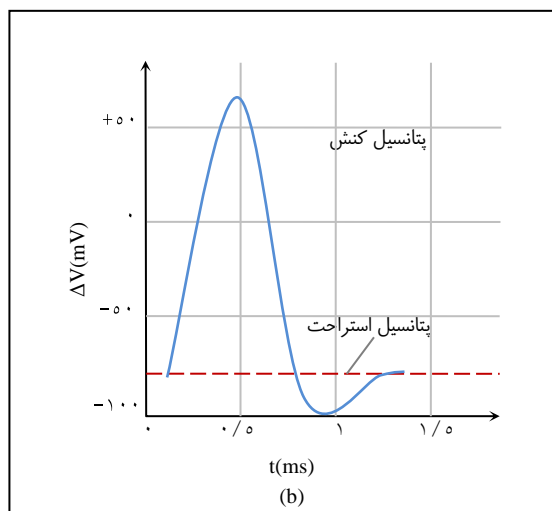
مولد تپ جریان

کاوه ورود جریان آکسون

کاوه اندازه‌گیری ولتاژ

نورون نامیده می‌شود. وقتی نورون تحریک می‌شود، در محل تحریک، تغییر لحظه‌ای بزرگی در پتانسیل استراحت رخ می‌دهد. این تغییر پتانسیل که پتانسیل کنش نام دارد، به صورت سیگنالی در امتداد آکسون منتشر می‌شود. تحریک می‌تواند از طریق عواملی از قبیل گرما، سرما، نور، صوت و بو، به وجود آید. اگر تحریک، الکتریکی باشد فقط در حدود 20 mV در دو طرف غشا لازم است تا پتانسیل کنش را راه بیندازد. پتانسیل کنش با سرعتی حدود 30 m/s امتداد آکسون منتشر می‌شود. در شکل اول تصویری نمایشی از چگونگی آشکارسازی پتانسیل کنش نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌کنید در سمت چپ تحریکی الکتریکی ایجاد

شده است که در سمت راست پتانسیل کنش حاصل از آن به صورت تابعی از زمان حاصل شده است. در شکل دوم اختلاف پتانسیل درون و بیرون غشای نورون در یک نقطه روی اکسون به صورت تابعی از زمان رسم شده است.



اختلاف پتانسیل درون و بیرون غشای نورون در یک نقطه روی اکسون به صورت تابعی از زمان

در این مورد مقاله‌ای تحت عنوان درآمدی بر فیزیولوژی اعضای در صفحه ۴۰ شماره ۶۲ مجله رشد آموزش فیزیک چاپ شده است که پس از آن می‌توان مقاله دیگری تحت عنوان مدل سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی را مطالعه نمود که در صفحه ۳۶ شماره ۷۷ همان مجله به چاپ رسیده است.

تمرین ۱-۱۱ (صفحه ۲۷)

چون بار $+q$ در خلاف جهت میدان جابه‌جا شده است و نیروی الکتریکی هم‌سو با میدان است، $\theta = 180^\circ$ و $W_E = F_E d \cos\theta$ منفی می‌شود. با توجه به اینکه $\Delta K = 0$ است، $W_{\text{خارجی}} = -W_E$ می‌شود و بنابراین کار نیروی دست مثبت است.

(ب) کار نیروی خارجی برای $\Delta K = 0$ برابر $q\Delta V$ است. بنابراین، چون کار نیروی خارجی مثبت شده است، و بار جابه‌جا شده نیز مثبت است، بار $+q$ به نقطه‌ای با پتانسیل بالاتر حرکت کرده است.

روش دیگر آن بود که نخست قسمت ب و سپس قسمت الف را پاسخ دهیم. در آن صورت با توجه به تمرین ۱-۹ می‌دانیم با حرکت بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی V افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه بار مثبت است و با استفاده از رابطه $W_{\text{خارجی}} = q\Delta V$ درمی‌یابیم کار نیروی دست مثبت است.

تبصره. توجه کنید حرکت بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی، مشابه با گرانش است که با حرکت در خلاف جهت میدان گرانشی، در آنجا پتانسیل گرانشی U زیاد می‌شود.

فعالیت ۱-۷ (صفحه ۲۹)

الف) قفس فاراده از موارد جالبی است که می‌توان دانش‌آموزان را تشویق کرد که با جست‌وجوی واژه «Faraday's cage» به مطالب و تصاویر جالبی دست یابند و آن‌ها را به کلاس ارائه کنند. در هر حال همان‌طور که در متن فعالیت آمده، قفس فارادی در واقع به انواع و اقسام مجموعه‌هایی گفته می‌شود که بر مبنای آزمایش فاراده موجب حفاظت الکتروستاتیکی می‌شوند. در

واقع همان طور که در درس مطرح شد اگر یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار دهیم، الکترون‌های آزاد رسانا طوری روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند که میدان ناشی از آن‌ها اثر میدان خارجی درون رسانا را خنثی و میدان خالص درون رسانا را صفر کنند. همچنین دیدیم بار خارجی روی جسم رسانا طوری روی آن توزیع می‌شود که میدان الکتریکی آن صفر شود.

همان طور که گفته شد از این فیزیک برای ساختن محافظ‌های الکتروستاتیکی استفاده می‌کنند. مثلاً فرض کنید می‌خواهیم یک دستگاه حساس الکترونیکی را از یک میدان الکتریکی نامطلوب حفظ کنیم. به این منظور دستگاه را درون یک جعبه رسانا قرار می‌دهیم یا آن را با ورقه‌ای نازک از ماده‌ای رسانا می‌پوشانیم. میدان الکتریکی خارجی، نحوه توزیع الکترون در پوشش رسانا را تغییر می‌دهد به طوری که میدان کل در هر نقطه درون این جعبه، صفر شود. البته توزیع جدید بار، شکل خطوط میدان در مجاورن آن را نیز تغییر می‌دهد. بنابراین، عملاً شکلی مانند شکل ۱-۳۱ کتاب خواهیم داشت، با این تفاوت که درون این شکل‌ها را خالی در نظر بگیرید تا بدین ترتیب، محلی برای ایجاد حفاظ ایجاد شود.

ب) چنین اتومبیلی درست مثل یک قفس فاراده، عمل می‌کند. بنابراین، اگر آذرخشی به اتومبیلی اصابت کند، بار روی سطح خارجی بدنه اتومبیل، باقی می‌ماند. (درمواقع اضطراری، موقع خروج از اتومبیلی که به هر دلیلی دچار اصطلاحاً برق‌گرفتگی شده است، توجه کنید یک دست بر بدنه و پا روی زمین نباشد، بلکه باید جفت پا به بیرون بپرید.) همچنین توجه کنید که اگر بدنه اتومبیل لاستیکی و یا سقف آن تاشو (و یا نارسانا) باشد، ممکن است هیچ محافظتی ایجاد نشود. هواپیماها نیز به همین ترتیب، برای سرنشینان خود محافظت ایجاد می‌کنند، اما با این وجود، هواپیماها آسیب‌پذیرتر از اتومبیل‌ها هستند.

ب) دانش‌آموزان باید بر مبنای اصولی که در قسمت الف بیان شد، به طراحی چنین وسایلی بپردازند یا با وسایل موجود مانند مایکروفر (در این مورد آزمایش‌های جالبی در اینترنت پیدا می‌شود)، تلفن همراه و ... این نظریه‌ها را محک بزنند. مثلاً تلفن همراه خود را در ظرفی پوشش فلزی سر بسته‌ای قرار دهند و به آن زنگ بزنند و ... در مولد واندوگراف نیز همین اصول به کار رفته و بار توسط یک قطعه رسانا از تسمه به روی کلاهک منتقل می‌شود و در نتیجه بار روی کلاهک و میدان اطراف آن به سرعت بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شود. با خود واندوگراف نیز می‌توان آزمایش‌های جالبی را طراحی کرد. مثلاً یکی از آزمایش‌های مشهور این است که نخست یک الکتروسکوپ توسط واندوگراف باردار کنیم و مشاهده کنیم عقبه آن منحرف می‌شود. بعد با قرار دادن همان الکتروسکوپ در درون یک قفس فلزی همین آزمایش را تکرار می‌کنیم و درمی‌یابیم این بار عقبه آن منحرف نمی‌شود.

همچنین می‌توان کاغذهای کوچک دوتا شده‌ای را روی توری قرار داد، طوری که یک تای کاغذ درون و تای دیگر آن بیرون توری قرار گیرد. خواهید دید پس از باردار کردن توری، فقط کاغذهای روی آن از توری فاصله می‌گیرند.

فعالیت ۱-۸ (صفحه ۳۰)

پس از رفت و برگشت‌های متوالی، گلوله‌ها در فاصله معینی از دو طرف دوک می‌ایستند به طوری که گلوله‌ای که با نوک تیز تماس پیدا کرده است در زاویه بیشتری نسبت به امتداد قائم قرار می‌گیرد که همان‌طور که در خوب است بدانید تخلیه هاله‌ای (صفحه ۳۱) اشاره کردیم نشان‌دهنده قوی‌تر بودن میدان الکتریکی در نقاط نوک تیز است. به عبارتی، چگالی سطحی بیشتر بارها در نوک تیز به میدان الکتریکی بیشتری می‌انجامد.

تبصره ۵. می‌دانیم بار الکتریکی گلوله‌ها در تماس با مولکول‌های هوا کم‌کم تخلیه می‌شود به تدریج به حالت اولیه (راستای قائم) برمی‌گردند. سپس گلوله‌ها دوباره با دوک برخورد کرده و باردار می‌شوند و همان مراحل تکرار می‌گردد. ولی گلوله‌ای که به سر نوک تیز تماس پیدا کرده است چون بار بسیار بیشتری دارد زمان بیشتری هم طول می‌کشد تا بارهای خود را در هوا تخلیه کند و به حالت قائم بازگردد و دوباره باردار و دور شود. اما گلوله‌ای که از قسمت پهن بار دریافت کرده، بارش کمتر است و زمان کمتری طول می‌کشد تا بی‌بار شود و به حالت قائم بازگردد. این فرایند آن قدر ادامه می‌یابد تا بار جسم دوکی کاملاً تخلیه شود.

فعالیت ۱-۹ (صفحه ۳۱)

هدف اصلی برقگیر این است که مسیری ساده برای انحراف ضربه یک آذرخش به سمت زمین را مهیا کند. بنابراین، برای آنکه برقگیر عمل کند باید به قسمت مرطوب و رسانای زیر سطح زمین، متصل گردد. برای عمل کردن برقگیر، میله آن باید از بالاترین نقطه ساختمان بالاتر باشد. در آن صورت، نشان داده شده است که برقگیر، محافظتی شبیه یک قیف وارونه ایجاد می‌کند که رأس آن در نوک برقگیر است و آذرخشی که وارد این مخروط فرضی می‌شود، به جای برخورد با ساختمان، با برقگیر برخورد می‌کند.

برخی بر این باورند که انتهای بالای برقگیر باید تیز باشد. این باور مبتنی بر این واقعیت است که یک نوک تیز میدان قوی‌تری نسبت به یک نوک پهن ایجاد می‌کند و بنابراین موجب محافظت بیشتری می‌شود. اما استدلال مغایر آن، این است که یک نوک تیز، یونیدگی مولکول‌های هوای اطراف برقگیر را افزایش می‌دهد که این خود باعث کاهش اثر حفاظتی برقگیر می‌شود. در هر حال آزمایش‌ها نشان داده است که غالباً آذرخش به نوکی نسبتاً پهن بیشتر از یک نوک تیز ضربه می‌زند. به این منظور آزمایش زیر را در نظر بگیرید که با یک اسباب آزمایشگاهی این رویداد را شبیه‌سازی می‌کند. نخست کلاهدک مولد وان دوگراف به تنهایی در نزدیکی گوی فلزی با دسته عایق قرار دارد که خود توسط سیمی به زمین مولد وان دوگراف متصل است. کلاهدک مولد شبیه یک ابر باردار و گوی فلزی شبیه رأس یک ساختمان بلند است. وقتی مولد روشن باشد، کلاهدک مولد هر چند ثانیه یک بار به گوی فلزی جرقه‌ای بزرگ می‌زند که هم صدای آن شنیده می‌شود و هم نور آن دیده می‌شود. این شبیه ضربه آذرخش به یک نوک پهن یا رأس یک ساختمان است.

در قسمت دوم آزمایش، میله نوک تیز L شکلی را که با سیم به زمین مولد وصل شده است، در بالای مولد قرار می‌دهیم. این میله نوک تیز L شکل، مشابه میله برق‌گیر است، در حضور میله نوک تیز، یک تخلیه بار تدریجی بین کلاهدک مولد و این میله رخ می‌دهد و دیگری خبری از جرقه‌های بین کلاهدک مولد و گوی فلزی نخواهد بود. در این حالت اگر فضای آزمایشگاه را تاریک کنیم، هاله روشنی در نزدیکی نوک تیز میله مشاهده خواهید کرد که نشانه تخلیه تدریجی بار است. جالب است که این

پدیده حتی در حالتی که میله نوک تیز در فاصله دورتری از کلاهک، نسبت به فاصله گوی فلزی تا کلاهک، باشد همچنان رخ خواهد داد. به عبارتی، میله نوک تیز، با تخلیه تدریجی، گوی را از برخورد جرقه محافظت کرده است.

پرسش ۱-۶ (صفحه ۳۶)

به این پرسش به دو صورت می توان پاسخ داد. یک روش، با توجه به طرح درس کتاب است و اینکه بگوییم چون ظرفیت خازن با حضور دی الکتریک افزایش می یابد، بنابراین طبق رابطه $V = Q/C$ ، با توجه به اینکه بار تغییر نکرده است، اختلاف پتانسیل باید کاهش یابد.

اما توضیح دقیق تر و علمی ماجرا آن است که همان طور که در متن درس اشاره شد، وقتی دی الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار می گیرد، مولکول های دو قطبی آن در جهت میدان الکتریکی همردیف می شوند و وقتی یک دی الکتریک غیرقطبی در این میدان قرار گیرد، مولکول های آن در راستای میدان قطبیده می شوند. چه در مورد دی الکتریک های قطبی و چه در مورد دی الکتریک های غیرقطبی، دو قطبی های مولکولی در فضای بین دو صفحه خازن میدانی الکتریکی ایجاد می کنند، به طوری که میدان الکتریکی حاصل از آن ها می کوشند میدان الکتریکی خارجی را تضعیف کنند. به عبارتی، میدان الکتریکی ناشی از بارهای قطبیده در خلاف جهت میدان الکتریکی خارجی است و بدین ترتیب برای خازنی که به باتری وصل نیست، میدان الکتریکی برآیند داخل دی الکتریک ضعیف تر از میدان الکتریکی اولیه می شود. به عبارتی، حضور دی الکتریک در فضای بین دو صفحه خازن، میدان الکتریکی اولیه را تضعیف می کند. بنابراین، وقتی خازن به باتری وصل نیست، میدان اولیه بین صفحه ها کاهش می یابد و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین صفحه ها نیز کاهش پیدا می کند. شکل زیر همردیف شدن مولکول های یک دی الکتریک قطبی را در میدان دو صفحه خازن نشان می دهد.

<p>(الف) مولکول های دو قطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی \vec{E} همردیف شده اند.</p>	<p>(ب) این همردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی الکتریک ایجاد می کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی</p>	<p>(پ) میدان الکتریکی \vec{E}' حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی \vec{E} است. میدان الکتریکی برآیند \vec{E} در جهت \vec{E} و کوچک تر از آن شده است.</p>
---	---	--

فعالیت ۱-۱۰ (صفحه ۳۷)

در این کیسه های هوا، حسگر کیسه هوا خازنی است که از دو صفحه فلزی کوچک و نزدیک به هم ساخته شده است که بارهای $+Q$ و $-Q$ دارند. وقتی اتومبیل ناگهان متوقف می شود، صفحه عقبی که سبک تر است به سمت صفحه سنگین تر جلویی حرکت می کند. این حرکت موجب تغییر ظرفیت خازن (نسبت Q به اختلاف پتانسیل V بین صفحه ها) می شود و یک مدار الکتریکی این تغییر را آشکارسازی کرده و کیسه های هوا را به کار می اندازد.

تمرین ۱-۱۲ (صفحه ۳۸)


با استفاده از رابطه $1 - 18$ داریم:

آبرخازن: این نوع خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال^۱ پر شده‌اند که خود درون نوعی الکتریک قرار گرفته‌اند. زغال‌ها پس از قرار گرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذپذیری به نام جداکننده از هم جدا شده‌اند بارهایی با علامت مخالف می‌گیرند. با توجه به نفوذپذیری جداکننده، یون‌های موجود در الکترولیت از غشای جداکننده عبور می‌کنند به طوری که یون‌های منفی در سمت زغال‌های باردار مثبت و یون‌های مثبت در سمت زغال‌های باردار منفی قرار می‌گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال- یون به مثابه خازنی با فاصله جدایی d است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصله جدایی صفحه‌های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال اسفنجی شکل است، به طوری که در مقایسه نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و بدین ترتیب مساحت A صفحه‌های این خازن نیز به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبه کیلو فاراد دارند که میلیون‌ها برابر ظرفیت خازن‌های معمولی است. یکی از ویژگی‌های این خازن‌ها آن است که خیلی سریع‌تر از باتری‌های شارژ‌شدنی، شارژ می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از باتری‌ها شارژ کرد. همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن‌ها در وسایل نقلیه الکتریکی می‌شود.

خازن تخت

آبرخازن

طرحی از ساختار یک آبر خازن در مقایسه با یک خازن تخت معمولی. به تفاوت d ها توجه کنید. در عمل این تفاوت به مراتب بیشتر است. d در یک آبر خازن از مرتبه نانومتر است.

خازن‌های متغیر: دی‌الکتریک این خازن‌ها معمولاً هواست در ساختمان آن‌ها دو نوع صفحه فلزی، یک دسته ثابت و دسته دیگر متحرک به کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته‌اند؛ ولی صفحه‌های متحرک روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل نیم‌دایره‌اند و با چرخیدن صفحه‌های متحرک، مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی به کار می‌رفته است. نماد مداری این خازن‌های به صورت  است.

^۱ Activated charcoal

پرسش و تمرین‌های فصل ۱

۱- این تمرین مروری است بر آنچه در کتاب علوم تجربی پایه هشتم تدریس شده و خوب است دانش‌آموزان به مرور آن مطالب تشویق شوند.

الف) میله پلاستیکی یا میله شیشه‌ای باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم و با فاصله گرفتن صفحات آن، به باردار بودن میله‌ها پی می‌بریم.

ب) نخست مثلاً توسط یک میله پلاستیکی باردار الکتروسکوپ را از طریق تماس میله با کلاهک آن باردار می‌کنیم. حال اگر به کلاهک الکتروسکوپ باردار، میله رسانا را (در حالی که آن را با دست خود گرفته‌ایم) تماس دهیم الکتروسکوپ تخلیه می‌شود، ولی میله عایق نمی‌توان الکتروسکوپ را تخلیه کند.

پ) اکنون باید میله باردار شیشه‌ای یا پلاستیکی را به الکتروسکوپ باردار شده نزدیک کنیم. اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار منفی شده باشد با نزدیک شدن میله باردار منفی صفحه‌های آن بیشتر فاصله می‌گیرند، در حالی که نزدیک شدن میله باردار مثبت صفحات را به هم نزدیک می‌کند و اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار مثبت شده باشد، برعکس.

(الف) (ب)

۲- الف) بار الکتریکی در پارچه پشمی به همان اندازه، ولی با علامت مثبت می‌شود.

ب) با توجه به اینکه $q = ne$ است، از این جا می‌توانیم تعداد n الکترون‌های منتقل شده را بیابیم:

$$n = \frac{12/8 \times 10^{-9} \text{C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{C}} = 8/00 \times 10^{10}$$

۳- الف) بار الکتریکی اتم کربن خنثی، صفر است، ولی هسته اتم کربن ۶ پروتون دارد و بنابراین بار آن برابر $+6e$ می‌شود که در آن $e = 1/60 \times 10^{-19} \text{C}$ است: $q = 6(1/60 \times 10^{-19} \text{C}) = 9/60 \times 10^{-19} \text{C}$.

ب) بار اتم کربن یک بار یونیده $+1e$ است.

۴- چون اندازه گوی‌ها با هم برابر است و هر دو رسانا هستند، پس از تماس گوی‌ها بارهای یکسانی در آن‌ها ظاهر می‌شود.

بنابراین پس از تماس گوی‌ها داریم

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4/0 \cdot nC - 6/0 \cdot nC}{2} = -1/0 \cdot nC$$

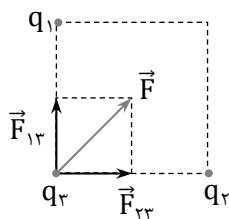
و در نتیجه نیروی بین دو گوی چنین می‌شود:

$$\begin{aligned}
 F &= k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q|^2}{r^2} \\
 &= \left(9/0 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}\right) \frac{(1/0 \times 10^{-9} \text{C})^2}{(0/30 \text{m})^2} \\
 &= 1/0 \times 10^{-7} \text{N}
 \end{aligned}$$

همان‌طور که گفتیم، پس از تماس، بار گوی‌ها یکسان می‌شود و بنابراین همدیگر را دفع می‌کنند. یعنی نیرو، رانشی است.

۵- نخست، نیروی وارد بر بار q_p را رسم می‌کنیم. از آن‌جا داریم

$$\vec{F} = F_{p3}\vec{i} + F_{p2}\vec{j}$$



که با توجه به اینکه $q_1 = q_2$ و فاصله بارها از q_p یکسان است، $F_{p3} = F_{p2}$ است و از قانون کولن داریم:

$$\begin{aligned}
 F_{p3} = F_{p2} &= k \frac{|q_p||q_r|}{r_{pr}^2} \\
 &= \left(9/0 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}\right) \frac{(\delta \times 10^{-6} \text{C})(0/2 \times 10^{-6} \text{C})}{(3 \text{m})^2} \\
 &= 0/001 \text{N} = 1 \text{mN}
 \end{aligned}$$

در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_p چنین می‌شود:

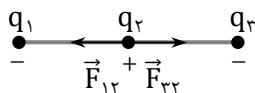
$$\vec{F} = (1 \text{mN})\vec{i} + (1 \text{mN})\vec{j}$$

می‌توانیم بزرگی این نیرو را نیز محاسبه کنیم

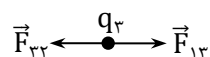
$$F = \sqrt{(0/001 \text{N})^2 + (0/001 \text{N})^2} = 1/41 \times 10^{-3} \text{N} \approx 1 \text{mN}$$

توجه کنید چون داده‌های مسئله فقط با یک رقم معنی‌دار داده شده‌اند، پاسخ نهایی نیز باید با یک رقم معنی‌دار، به صورت $F = 1 \text{mN}$ ، گزارش شود.

۶- نیروهای وارد بر بار q_p مانند شکل زیر می‌شود:



همان‌طور که می‌بینیم \vec{F}_{12} در خلاف جهت \vec{F}_{32} است و چون بارهای q_1 و q_3 و فاصله آن‌ها از q_p یکسان است، بنابراین $F_{12} = F_{32}$ ، و در نتیجه نیروی خالص وارد بر q_p برابر صفر می‌شود. اما در مورد q_p داریم:



دوباره نیروها در خلاف جهت هم هستند، ولی چون فاصله بارهای q_3 و q_2 کمتر از فاصله بارهای q_1 و q_2 است و همچنین $|q_1| > |q_2|$ ، است $|\vec{F}_{23}| > |\vec{F}_{12}|$ خواهد بود و نیروی برآیند در خلاف جهت مثبت محور X وارد می‌شود. بزرگی این نیروها با استفاده از قانون کولن برابر است با

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(\Delta/0 \times 10^{-9}C)(4/0 \times 10^{-9}C)}{(0/08 \cdot m)^2} = 2/8 \times 10^{-5} N$$

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(4/0 \times 10^{-9}C)(4/0 \times 10^{-9}C)}{(0/16m)^2} = \Delta/62 \times 10^{-6} N$$

بنابراین \vec{F} چنین می‌شود:

$$F \approx (\Delta/62 \times 10^{-6} N)\vec{i} - (2/8 \times 10^{-5} N)\vec{i} \approx 2/2 \times 10^{-5} (-\vec{i})$$

✓- الف) از برابر قرار دادن بزرگی نیروی الکتریکی دافعه کولنی و نیروی وزن که در خلاف جهت هم‌اند داریم:



$$mg = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$q = \sqrt{\frac{mgr^2}{k}} \quad \text{و از آنجا}$$

$$= \sqrt{\frac{(2/5 \times 10^{-3} kg)(9/8 \frac{N}{kg})(0/01m)^2}{9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}}} = 1/65 \times 10^{-8} C \approx 16 nC$$

ب) با استفاده از رابطه $q = ne$ داریم:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1/65 \times 10^{-8} C}{1/60 \times 10^{-19} C} \approx 10^{11} \text{ الکترون}$$

خوب است توجه کنید پاسخ‌های به‌دست آمده در این مسئله فقط تخمین‌هایی از مقادیر واقعی هستند؛ زیرا همان‌طور که در متن درس بیان کردیم شرط استفاده از قانون کولن آن است که فاصله بین دو جسم باردار، خیلی بزرگتر از ابعاد هریک از دو جسم باشد و گوی‌هایی که بتوانند بار $16 nC$ را روی خود نگه دارند باید شعاعی در حدود چند سانتی‌متر داشته باشند تا هوای پیرامون‌شان دستخوش فرو ریزش نگردد. وقتی این گوی‌ها در فاصله $1 cm$ از هم باشند، شرط ذره‌ای بودن برآورده نمی‌شود.

Ⓐ- با توجه به یکنواخت بودن میدان الکتریکی و با توجه به اینکه $\vec{F} = q\vec{E}$ است، نیروی وارد بر ذره در هر دو نقطه برابر است.

۹- الف) هر پروتون را می‌توان به صورت یک ذره باردار در نظر گرفت. بنابراین بزرگی نیروی دافعه الکتروستاتیکی وارد بر یکی، از سوی دیگری با قانون کولن داده می‌شود:

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

$$= (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(4/0 \times 10^{-15} \text{ m})^2}$$

$$= 14/4 \text{ N} \approx 14 \text{ N}$$

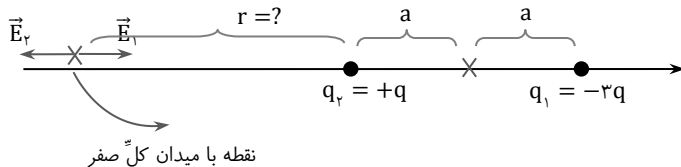
ب) هسته شامل ۲۶ پروتون است. بنابراین $q_{\text{هسته}} = 26e$ و داریم:

$$E = k \frac{q_{\text{هسته}}}{R^2}$$

$$= (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{26(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1/0 \times 10^{-10} \text{ m})^2}$$

$$= 3/744 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 3/7 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

۱۰- توجه کنید برای بررسی این موضوع باید بار آزمون را در سه نقطه سمت چپ $+q$ ، در حدواسط $+q$ و $-3q$ ، و در سمت راست $-3q$ قرار دهیم. اگر بار آزمون را در سمت راست $-3q$ یا در حدواسط بارهای $+q$ و $-3q$ قرار دهیم، امکان ایجاد تعادل، و صفر شدن میدان الکتریکی وجود ندارد؛ چرا که اگر بار آزمون (مثبت) را در سمت راست $-3q$ قرار دهیم یک نیروی دافعه از سوی $+q$ و یک نیروی جاذبه از سوی $-3q$ دریافت می‌کند. اما نیروی جاذبه حاصل از بار $-3q$ به دلیل آنکه ناشی از اندازه بار بزرگ‌تری است و نیز در فاصله کم‌تری از بار $+q$ قرار دارد، امکان ندارد با نیروی دافعه حاصل از $+q$ به تعادل درآید و خنثی شود. اما در خطّ واصل بارهای $+q$ و $-3q$ ، سوی نیروهای وارد از بارهای $+q$ و $-3q$ در یک جهت است و اصلاً حالتی متصور نیست که این دو نیرو، همدیگر را خنثی کنند. تنها می‌ماند سمت چپ بار $+q$. در این سمت، نیروی دافعه حاصل از بار $+q$ و نیروی جاذبه حاصل از بار $-3q$ برخلاف جهت یکدیگرند، اما برخلاف وضعیتی که در سمت راست بار $-3q$ هستیم، هر دو پارامتر بزرگی بار و اندازه فاصله، به نفع یک نیرو چربش ندارد. در حالی که بار $+q$ کوچک‌تر است، اما در عوض فاصله آن هم کم‌تر است و در حالی که فاصله $-3q$ زیاد است، اما در عوض بزرگی بار آن هم زیاد است. می‌توانیم محل دقیق صفر شدن میدان کل را نیز به دست آوریم. همان‌طور که دیدیم، میدان کل در سمت چپ بار $+q$ می‌تواند صفر باشد. با توجه به اینکه میدان‌های \vec{E}_1 و \vec{E}_2 هم‌اندازه و در خلاف سوی یکدیگرند، خواهیم داشت:



$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{|q_1|}{r_1^2} = k \frac{|q_2|}{r_2^2}$$

$$k \frac{q}{(r+2a)^2} = k \frac{3q}{r^2}$$

و در نتیجه

$$\frac{\sqrt{3}}{r+2a} = \frac{1}{r}$$

و از آنجا

$$r = \frac{2}{\sqrt{3}-1} a \approx (\sqrt{3} + 1)a$$

$$\approx 2/\sqrt{3}a$$

یعنی نقطه با میدان کل صفر روی محور X، در سمت چپ بار +q، و در فاصله $r = (\sqrt{3} + 1)a$ ، از بار +q واقع است. تبصره. ما سه حالت روی محور را در قسمت الف بررسی کردیم، اگر بار آزمون را در هر نقطه‌ای غیر از محور شکل قرار دهیم و خطوط میدان را رسم کنیم، در خواهیم یافت که در هر نقطه یک میدان برآیند غیر صفر خواهیم داشت و امکان ندارد میدان الکتریکی صفر شود.

البته در کتاب‌های پیشرفته‌تر، پایداری تعادل بار آزمون در نقطه میدان صفر نیز بررسی می‌شود. به این ترتیب که آیا با جابه‌جا کردن بار آزمون از نقطه با میدان صفر، آیا بار دوباره به محل خود (نقطه تعادل) بازمی‌گردد یا خیر. ثابت می‌شود که در حالت کلی، در نقطه با میدان الکتریکی صفر، و صرفاً با حضور نیروهای کولنی، تعادل پایدار نداریم و از این واقعیت به عنوان قضیه Earnshaw یاد می‌شود، به عبارتی، قضیه Earnshaw در حالت کلی بیان می‌دارد که در الکتروستاتیک تعادل پایدار نداریم.

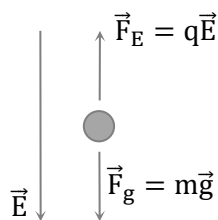
(ب) جهت نیروهای وارد بر بار آزمون واقع بر مبدأ هر دو در سوی مثبت محور X است و بنابراین، بزرگی میدان‌های الکتریکی در نقطه O با هم جمع می‌شود:

$$E = k \frac{q}{a^2} \vec{i} + k \frac{2q}{a^2} \vec{i}$$

$$= 4k \frac{q}{a^2} \vec{i}$$

بنابراین، بزرگی میدان الکتریکی برآیند در مبدا مختصات $E = 4k \frac{q}{a^2}$ ، و جهت در سوی مثبت محور X است.

۱۱- چون نیروی گرانشی رو به پایین بر ذره اثر می‌کند، نیروی الکتریکی باید در خلاف جهت آن و رو به بالا باشد. می‌دانیم نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی است. بنابراین نوع بار باید حتماً منفی باشد و شکلی مانند زیر داریم.



از شرط تعادل نیروها داریم

$$|q|E = mg$$

$$|q| = \frac{mg}{E} = \frac{(2/0 \times 10^{-3})(10 \frac{N}{kg})}{(5/0 \times 10^5 \frac{N}{C})}$$

$$= 4/0 \times 10^{-8} C = 40 nC$$

۱۲- از تقارن شکل واضح است که همه میدان‌های حاصل از بارهای روی دو مربع همدیگر را دوبره دو خنثی می‌کند، به جز دو باری که در وسط دو ضلع سمت چپ و راست مربع بزرگ قرار دارند. در این صورت، میدان الکتریکی در نقطه P، برآیند میدان‌های حاصل از میدان این دو بار می‌شود. توجه کنید برای بررسی جهت میدان، باید بار آزمون (مثبت) را در نقطه P قرار

دهیم. بار آزمون توسط هر دو بار جذب می‌شود، اما چون بار سمت چپ بزرگ‌تر است، جهت میدان برآیند به‌سوی آن است. بنابراین، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}\vec{E}_p &= k\frac{q}{d^2}(-\vec{i}) + k\frac{q}{d^2}(\vec{i}) \\ &= \frac{kq}{d^2}(-\vec{i})\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه P برابر با $E_p = k\frac{q}{d^2}$ و جهت رو به سمت چپ است.

۱۳- از متن درس آموختیم که خطوط میدان الکتریکی در جهت نیروی وارد بر بار آزمون هستند و بنابراین برای بار مثبت، رو به خارج و برای بار منفی، رو به داخل می‌شود. پس بار q_1 مثبت و بار q_2 منفی است. همچنین آموختیم در هر ناحیه که میدان قوی‌تر باشد، خطوط میدان الکتریکی فشرده‌ترند. بنابراین، با توجه به فشردگی بیشتر خطوط میدان الکتریکی در نزدیکی بار q_1 ، درمی‌یابیم بزرگی بار q_1 بیشتر است. این را می‌توان از تعداد خطوط میدان خروجی از بار q_1 و ورودی به بار q_2 نیز دریافت. به عبارتی، هرچه تعداد خطوط خروجی از یک بار مثبت (یا ورودی به یک بار منفی) بیش‌تر باشد، به معنی بزرگ‌تر بودن، اندازه آن بار است.

۱۴- با توجه به آنچه از متن درس آموختیم، درمی‌یابیم همهٔ موارد غیر از مورد (ت) نادرست‌اند. در ادامه، دلایل ارائه می‌شود. شکل الف:

یکی از موارد نادرست در این شکل آن است که برای هر دو بار مثبت و منفی، خطوط میدان را رو به بیرون گرفته است. در حالی که می‌دانیم برای بار منفی باید خطوط میدان رو به داخل باشد.

شکل ب:

یکی از موارد نادرست در این شکل آن است که خطوط میدان، در نقاط غیرواقع بر خط واصل دو بار، جهت میدان برآیند را به‌درستی نشان نمی‌دهند، یعنی خطوط میدان آغاز شده از بار مثبت، فقط جهت میدان ناشی از بار مثبت را نشان می‌دهند، و خطوط میدان ختم شده به بار منفی، فقط جهت میدان ناشی از بار منفی را نشان می‌دهند.

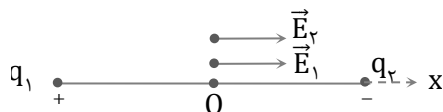
شکل پ:

خطای این شکل، در نادرستی جهت خطوط میدان است. در این شکل، خطوط از بار منفی آغاز و به بار مثبت ختم شده‌اند، که درست نیست.

شکل ت:

این شکل صحیح است. در این شکل، خطوط میدان دو قطبی الکتریکی را می‌بیند. شکل ۱- ۱۸، کتاب، نمایش سه بعدی همین خطوط را نشان می‌دهد. همچنین در پرسش ۱- ۵، کتاب، رسم دو بعدی این خطوط را دیدید. در فعالیت ۱- ۳ کتاب نیز، طرحی واقعی از خطوط میدان دو قطبی الکتریکی را مشاهده کردید.

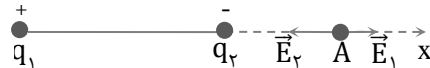
۱۵- الف) با قرار دادن بار آزمون در نقطه O درمی‌یابیم که میدان‌های حاصل از بارهای q_1 و q_2 در یک جهت (سوی \vec{i}) هستند.



بنابراین در نقطه O داریم:

$$\begin{aligned}\vec{E}_O &= \vec{E}_1 + \vec{E}_r = 2\vec{E}_1 = 2k\frac{q_1}{r^2}\vec{i} \\ &= 2(9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0/030 \text{ m})^2} \vec{i} \\ &= (2/0 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه O برابر با $2/0 \times 10^4 \text{ N/C}$ و جهت آن به طرف راست ($+\vec{i}$) است. در نقطه A، میدانها در خلاف جهت یکدیگرند و بنابراین بزرگی میدانها از کم می شود.



$$\vec{E}_A = \vec{E}_r + \vec{E}_1$$

که چون q_1 به نقطه A نزدیکتر است $E_r > E_1$ می شود و میدان الکتریکی برآیند در جهت $-\vec{i}$ خواهد بود:

$$\begin{aligned}\vec{E}_A &= (E_r - E_1)(-\vec{i}) \\ &= \left(\frac{kq}{r_r^2} - \frac{kq}{r_1^2}\right)(-\vec{i}) \\ &= (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{(0/030 \text{ m})^2} - \frac{1}{(0/090 \text{ m})^2}\right)(-\vec{i}) \\ &= 8/9 \times 10^3 \text{ N/C} (-\vec{i})\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه A برابر $8/9 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، جهت آن به طرف چپ ($-\vec{i}$) است.

(ب) خیر. در پاسخ پرسش ۱۰ استدلال کردیم که برای دو بار نقطه‌ای ناهمنام، نقطه‌ای که در آن میدان الکتریکی برآیند صفر باشد، خارج از فاصله بین دو بار، و در طرف بار با اندازه کوچکتر است. با توجه به این که در این مسئله، اندازه دو بار مساوی است، مرور آن استدلال به شما نشان می دهد چنین نقطه‌ای در فضای پیرامون این دو بار وجود ندارد، که میدان خالص در آن صفر باشد.

۱۶- الف) نیرو از رابطه $F_E = |q|E$ به دست می آید. بنابراین چون میدان، یکنواخت است نیروی الکتریکی وارد بر بار q در تمام نقاط مسیر برابر است با

$$F_E = (50 \times 10^{-9} \text{ C})(8/0 \times 10^5 \text{ N/C}) = 4/0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

(ب) کار نیروی الکتریکی از رابطه $W = |q|Ed \cos\theta$ به دست می آید. بنابراین در مسیر AB که $\theta = 90^\circ$ است $W_{AB} = 0$ می شود، ولی در مسیر BC جابه‌جایی در خلاف جهت نیروی الکتریکی و $\theta = 180^\circ$ است داریم:

$$\begin{aligned}W_{BC} &= -|q|Ed \\ &= -(50 \times 10^{-9} \text{ C})(8/0 \times 10^5 \text{ N/C})(0/40 \text{ m}) \\ &= -0/016 \text{ J}\end{aligned}$$

کار نیروی الکتریکی در مسیر ABC برابر با حاصل جمع کار نیروی الکتریکی در مسیرهای AB و BC است، و بنابراین برابر همان $-0/016 \text{ J}$ می شود.

(پ) می دانیم $\Delta U_E = -W_E$ است و بنابراین $\Delta U_E = 0/016 \text{ J}$ می شود.

۱۷- الف) چون بار آزمون در خلاف جهت میدان جابه‌جا شده است و نیروی الکتریکی وارد به میدان همسو با میدان است، $\theta = 180^\circ$ و در نتیجه کار نیروی الکتریکی طبق رابطه $W_E = |q|Ed \cos\theta$ ، مقداری منفی می شود.

ب) چون $\Delta K = 0$ است، مجموع کار نیروی خارجی (W_{ext}) و کار نیروی الکتریکی (W_E) برابر صفر است و بنابراین کار نیروی خارجی، مثبت است.

پ) طبق رابطه $\Delta U = -W_E$ چون $W_E < 0$ شده است، $\Delta U > 0$ می‌شود. پس انرژی پتانسیل زیاد می‌شود.

ت) با توجه به رابطه $\Delta V = \Delta U_E/q$ و مثبت بودن ΔU و q ، ΔV نیز مثبت می‌شود. از طرفی $\Delta V = V_B - V_A$ است. چون $\Delta V > 0$ است، بنابراین پتانسیل B از پتانسیل A بیش‌تر است.

تبصره. روش دیگر حل چنین مسائلی است که بگوییم وقتی بار مثبت را برخلاف جهت میدان الکتریکی حرکت می‌دهیم، انرژی پتانسیل گرانشی زیاد می‌شود. این اظهارنظر در تشابه با گرانش است که وقتی در خلاف جهت میدان گرانشی حرکت کنیم، انرژی پتانسیل زیاد می‌شود. این اظهارنظر در تشابه با گرانش است که وقتی در خلاف جهت میدان گرانشی حرکت کنیم، انرژی پتانسیل گرانشی زیاد می‌شود. افزایش انرژی پتانسیل (برای بار مثبت) و با توجه به رابطه $v = \frac{U_E}{q}$ ، به معنی افزایش پتانسیل است. می‌دانیم به ازای $\Delta K = 0$ انرژی پتانسیل به کار نیروی خارجی مثبت می‌انجامد و با توجه به این‌که $W_{\text{ext}} = -W_E$ می‌شود، کار میدان الکتریکی منفی است.

یک پرسش تکمیلی که می‌توان برای این پرسش مطرح کرد این است که بار را در مسیرهای غیرمستقیمی از A به B نزدیک کرد و دوباره همین پرسش‌ها را مطرح کرد.

۱۸- در شکل الف، در پیرامون همهٔ نقاط مسیر A تا B، خطوط میدان متراکم‌تر از دو شکل دیگر است و بنابراین میدان الکتریکی قوی‌تر و نیروی وارد به پروتون در این حالت بیش‌تر از بقیهٔ حالت‌ها است و با توجه به این‌که $\vec{a} = \vec{F}/m$ است، شتاب پروتون نیز بیشتر می‌شود. بنابراین، سرعت نهایی پروتون نیز در جابه‌جایی یکسان، بیش‌تر می‌شود. البته خوب بود مسئله ترتیب سرعت‌ها را نیز می‌پرسید. در این صورت، سرعت پروتون در نقطهٔ B برای آرایش (ب) بیش‌تر از آرایش (پ) می‌شد، زیرا فاصلهٔ خطوط میدان همهٔ نقاط مسیر در شکل پ، در مقایسه با دو شکل دیگر از همهٔ بیشتر است که این به معنی ضعیف‌تر بودن میدان در مقایسه با دو شکل دیگر است. (در حل چنین مسائلی توجه کنید که خطوط میدان در همهٔ شکل‌ها با مقیاس یکسانی رسم شده باشند).

۱۹- با استفاده از رابطه $|\Delta V| = Ed$ ، میدان الکتریکی را محاسبه می‌کنیم:

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{100V}{2/0.0 \times 10^{-2}m} = 5/0.0 \times 10^3 V/m$$

در متن درس اشاره کردیم که با حرکت در سوی خطوط میدان، از پتانسیل الکتریکی بیش‌تر به سمت پتانسیل الکتریکی کم‌تر می‌رویم. همچنین دیدیم خطوط میدان از بارهای مثبت آغاز و به بارهای منفی ختم می‌شود. بنابراین، صفحهٔ باردار مثبت در پتانسیل بالاتری نسبت به صفحهٔ منفی قرار دارد.

۲۰- الف) با استفاده از رابطه $\Delta U = q\Delta V$ داریم:

$$\begin{aligned} \Delta U &= q(V_2 - V_1) \\ &= (-4.0 \times 10^{-9}C)(-10V - (-40V)) = -1/2 \times 10^{-6}J = -1/2 \mu J \end{aligned}$$

چون $\Delta U < 0$ شده است، پس انرژی پتانسیل الکتریکی بار q کاهش یافته است.

ب) چون از انرژی پتانسیل الکتریکی بار کاسته شده است و بار آزادانه حرکت می‌کند، بنابراین از پایستگی انرژی نتیجه می‌گیریم که بر انرژی جنبشی بار افزوده می‌شود و لحظه به لحظه سرعت آن زیاد می‌شود.

۲۱- در متن درس دیدیم وقتی یک رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، بارهای الکتریکی روی سطح رسانا به گونه‌ای القا می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود. بنابراین، با نزدیک کردن کره به آونگ باردار، روی کره بارهای مثبت و منفی مشابه شکل زیر القا می‌شود، به طوری که سطح نزدیک به آن دارای بار منفی و سطح دور از آن، دارای بار مثبت می‌گردد. اما توجه کنید بارهای منفی به آونگ نزدیک‌ترند، پس نیروی جاذبه وارد به آونگ بیش‌تر از نیروی دافعه وارد بر آن می‌شود و کره، آونگ را جذب می‌کند. اگر فاصله کره از آونگ کم باشد، آونگ با کره تماس پیدا می‌کند. اکنون اگر گلوله آونگ هم رسانا باشد، کره و آونگ یک جسم رسانا را تشکیل می‌دهند که باید کل بار روی سطح آن‌ها پخش شود تا میدان الکتریکی خالص داخل آن صفر باشد. پس به بیانی ساده، آونگ بارهای منفی کره را خنثی می‌کند و آونگ و کره هر دو دارای بار مثبت می‌شوند و بنابراین آونگ از کره دفع می‌گردد.

۲۲- این پدیده نیز بر اثر القا صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیومی بدون بار مثل یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحه پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند. بسته به اینکه بار صفحه پلاستیکی، مثبت یا منفی باشد، در سطح مقابل آن در براده‌ها، بار منفی یا مثبت القا می‌شود که این با توجه به توضیحی که در پاسخ پرسش ۲۱ ارائه شد، موجب جذب براده‌ها به صفحه پلاستیکی می‌شود.

۲۳- با فرض آنکه بار q به یکنواخت روی شش وجه مکعبی ماهواره توزیع شده باشد، روی هر وجه آن باری به اندازه $q/6$ قرار می‌گیرد. بنابراین، چگالی سطحی بار چنین می‌شود:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{q/6}{a^2} = \frac{(2/0 \times 10^{-9} C)/6}{(0.4 \text{ m})^2} = 2/0 \times 10^{-9} \frac{C}{m^2} \approx 2/1 \times 10^{-9} \frac{C}{m^2}$$

۲۴- ظرفیت خازن فقط به شکل هندسی خازن (و جنس عایق آن) نه به بار اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها بستگی دارد. بنابراین الف) و ب) هیچ تأثیری بر ظرفیت خازن ندارند.

۲۵- بار خازن از رابطه $Q = CV$ به دست می‌آید. با توجه به اینکه ظرفیت خازن ثابت است، بنابراین برای نمو (تغییر) Q داریم:

$$\Delta Q = C \Delta V = C(V_2 - V_1)$$

و از آنجا

$$C = \frac{\Delta Q}{V_2 - V_1} = \frac{15 \times 10^{-6} C}{4.7 - 2.8 V} = 1/25 \times 10^{-6} F \approx 1/2 \mu F$$

۲۶- وقتی دی الکتریکی قطبی مانند آب در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف شوند، به طوری که سر منفی مولکول‌ها در جهت مقابل پیکانه خطوط میدان الکتریکی، و سر مثبت مولکول‌ها در همان جهت پیکانه خطوط میدان الکتریکی قرار گیرند. بنابراین وقتی آب در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، مولکول‌های دوقطبی با میدان هم‌سو می‌شوند و مثلاً اگر بادکنک بار منفی پیدا کرده باشد، سر مثبت مولکول‌های دوقطبی در برابر آن قرار می‌گیرد. بادکنک منفی، سر مثبت هر مولکول را جذب و سر منفی همان مولکول را دفع می‌کند. با

توجه به مقایسه فاصله سرهای مثبت و منفی هر مولکول تا بادکنک، نیروی جاذبه قوی تر از نیروی دافعه و این باعث جذب آن به طرف بادکنک می شود.

۲۷- برای مولکول های دوقطبی موجود در کاغذ (مثل مولکول های آب)، پاسخ همان پاسخ پرسش ۲۶ است. برای مولکول های غیرمولکول های غیرقطبی موجود در کاغذ، همان طور که شکل نشان می دهد، وقتی در میدان الکتریکی خارجی قرار می گیرند، مولکول ها بر اثر القا، قطبیده می شوند و اصطلاحاً مولکول قطبیده می شود. میدان الکتریکی باعث می شود مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا شوند، به طوری که سر منفی آن ها در اینجا در مقابل بار مثبت شیشه قرار گیرد و بدین ترتیب جذب آن شود.

۲۸- از ظرفیت یک خازن تخت، مساحت صفحه های A می آن را به دست می آوریم:

$$A = \frac{Cd}{\epsilon} = \frac{(1/0 \cdot F)(1/0 \times 10^{-3} \text{m})}{(8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{\text{m}})} = 1/1 \times 10^8 \text{m}^2$$

توجه کنید این مساحت، متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً ۱۰ km است. حجم چنین خازنی دست کم برابر $Ad = 1/1 \times 10^5 \text{m}^3$ است، یعنی مکعبی به ضلع تقریبی ۵۰ m. بنابراین امکان ساختن چنین خازنی به طریق معمول ناممکن و یا دست کم غیرمعقول است.

جالب است بدانید یکی از شوخی ها رایج در قدیم این بود که برخی از اساتید به دانشجویان خود می گفتند: «برو از آزمایشگاه یک خازن ۱F بیاور!» البته امروزه می توان خازن های یک فارادی یا حتی بزرگتری را به ضلع فقط چند سانتی متر ساخت. شگرد آن این است که فضای میان صفحه ها با مواد مناسبی پر شود. مثلاً آبر خازن ها که در فعالیت ۱-۱۱ به آن پرداختیم، از این دست است.

۲۹- توجه کنید که در این مسئله، خازن همچنان به باتری بسته شده است و بنابراین اختلاف پتانسیل بین صفحه های آن

تغییری نمی کند. پس گزینه (ب) نادرست است. با دو برابر کردن فاصله بین صفحه ها، ظرفیت خازن طبق رابطه $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ نصف می شود و بنابراین گزینه (پ) نیز نادرست است. با توجه به اینکه ظرفیت خازن کاهش می یابد، در حالی که اختلاف پتانسیل ثابت است، بار خازن طبق رابطه $Q = CV$ کاهش پیدا می کند و بنابراین گزینه (ت) نیز نادرست است. تنها گزینه درست، گزینه (الف) است، چرا که طبق رابطه $|\Delta V| = Ed$ ، با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل ثابت است و فاصله صفحه ها دو برابر می شود، E نصف می شود.

۳۰- با استفاده از رابطه های $C = kC$ و $C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$ ، داریم:

$$C = k\epsilon \cdot \frac{A}{d} = (4/9)(8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{\text{m}}) \frac{(1/0 \cdot \text{m})^2}{(0/500 \times 10^{-3} \text{m})} = 8/67 \times 10^{-8} F \approx 87 \text{nF}$$

۳۱- جرقه حاصل بزرگتر می شود. این انرژی از کاری حاصل می شود که با افزایش فاصله صفحات خازن (بر علیه جاذبه الکتریکی صفحه ها) توسط ما ایجاد شده است. روش دیگر آن است که بگوییم ظرفیت خازن کم شده است، ولی بار تغییر نکرده است. طبق رابطه $V = \frac{Q}{C}$ ، این به معنی افزایش اختلاف پتانسیل است. افزایش ولتاژ، خود به معنی افزایش اختلاف

انرژی پتانسیل الکتریکی است. این را به طور مستقیم از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ نیز می‌توانستیم دریابیم. پس هنگام تخلیه خازن، جرقه پرنرژی‌تر و بزرگتری خواهیم داشت.

۳۲- با توجه به اینکه بار و ظرفیت خازن در مسئله دخالت دارند از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ برای انرژی خازن استفاده می‌کنیم. اما پیش از آن بهتر است نگاهی به مفهوم این مسئله بیندازیم. اگر خازن در ابتدا بدون بار باشد، تصور آن ساده‌تر است. مثلاً تصور کنید با استفاده از یک «موچین سحرآمیز» الکترون‌ها را از یک صفحه خازن برداشته و به نوبت به صفحه دیگر منتقل می‌کنیم. بر اثر این کار میدانی الکتریکی بین صفحه‌ها برقرار می‌شود و جالب است که این میدان در جهتی است که با انتقال بیشتر بار مخالفت می‌کند. بنابراین، وقتی بار بر روی صفحه‌های خازن بیشتر و بیشتر می‌شود، مجبورید برای انتقال بارهای بیشتر، به طور مدام کارهای بیشتری انجام دهید. البته در عمل می‌دانید که این کار توسط باتری صورت می‌گیرد. بنابراین، ما در اینجا مسئله‌ای کاملاً ذهنی داریم و عملاً داریم فرض می‌کنیم که با یک موچین سحرآمیز بارها را حرکت می‌دهیم و البته لحظه‌ای بینابینی در حین این روند را در نظر گرفته‌ایم، یعنی پس از اینکه موچین سحرآمیز با باردار کردن صفحه‌ها، میدان الکتریکی ایجاد کرده است و داریم به لحظه‌ای توجه می‌کنیم که موچین در حال بردن $+3/0 \text{ mC}$ بار از صفحه منفی به صفحه مثبت است.

بنابراین، اگر بار صفحه‌ها را در پیش از این لحظه Q در نظر بگیریم، پس از لحظه موردنظر بار به $Q + \Delta Q$ تبدیل شده است. در نتیجه، تغییر انرژی پتانسیل با استفاده از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ چنین می‌شود:

$$\Delta U = \frac{(Q+\Delta Q)^2}{2C} - \frac{Q^2}{2C} = \frac{\Delta Q^2 + 2Q\Delta Q}{2C} = \frac{(3/0 \times 10^{-3} \text{ C})^2 + 2q(3/0 \times 10^{-3} \text{ C})}{2(12 \times 10^{-6} \text{ F})} = 0/375 + Q(0/25 \times 10^3) = 8$$

و در نتیجه $Q = 3/05 \times 10^{-3} \text{ C} \approx 3/1 \text{ mC}$ می‌شود.

تبصره. خوب است از دیدگاه ریاضی نیز نشان دهیم چرا کار این «موچین سحرآمیز» برابر افزایش انرژی پتانسیل خازن است. در لحظه شروع جابه‌جایی بار، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن $\frac{Q}{C}$ و در پایان جابه‌جایی $(Q + \Delta Q)/C$ است. با توجه به این که اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن تابعی درجه اول از بار خازن است ($V = \frac{Q}{C}$)، می‌توان نتیجه گرفت که جابه‌جایی بار ΔQ تحت اختلاف پتانسیل متوسط \bar{V} صورت گرفته است که برابر میانگین مقادیر اولیه و نهایی پتانسیل است که برابر نصف مجموع دو مقدار $\frac{Q}{C}$ و $(Q + \Delta Q)/C$ می‌شود. در آن صورت، پتانسیل متوسط \bar{V} برابر $(2Q + \Delta Q)/2C$ به دست می‌آید که ضرب آن در ΔQ ، همان کار نیروی خارجی در این جابه‌جایی بار را به دست می‌دهد. از آنجا در خواهیم یافت که $W = \bar{V} \Delta Q$ برابر مقدار محاسبه شده در بالا برای ΔU است. یعنی کار نیروی خارجی برابر افزایش انرژی پتانسیل خازن شده است.