مقدمهٔ ناشر

بچه‌تر که بودم، فکر می‌کردم هر چه‌قدر یک کتاب سخت‌تر و پیچیده‌تر نوشته شده باشد، حتماً حرف خاص‌تری دارد که ما نمی‌فهمیم! یعنی یک نگاه کلیشه‌ای وجود داشت که اگر کتابی را درست و حسابی نفهمیدی، حتماً خیلی هوشمندانه و سطح بالا نوشته شده است! اما هر چه‌قدر بزرگ‌تر شدم، فهمیدم که اتفاقاً این‌جور کتاب‌ها، چندان هم هوشمندانه نیستند، چون اصلاً اگر هوشمندانه نوشته می‌شدند، آن‌قدر سخت نمی‌شدند! برای همین وقتی هم‌سن شما بودم، دنبال کتاب‌های ساده می‌رفتم و از سادگی‌اش لذت می‌بردم. مثلاً همین بیت از آقای سعدی را ببینید، در عین حال که ساده است، کلی معنا دارد:

هر که عیب دگران پیش تو آورد و شمرد بی‌گمان عیب تو پیش دگران خواهد برد[1]

آن روزها گذشت و گذشت تا این‌که یک روز، خودم شدم مسئول تولید یک سری کتاب به اسم آموزش شگفت‌انگیز! کتاب‌هایی که در عین ساده و جذاب بودن، باید همه‌چیز را کامل آموزش می‌دادند. خب برای تولید این کتاب‌ها، نیاز به آدم‌هایی داشتم که فقط ساده و جذاب بنویسند، همین! اما مشکل دقیقاً همین‌جا بود که ساده‌نوشتن، کار ساده‌ای نبود اصلاً! از طرفی فیزیک هم از آن درس‌هایی بود که به خودیِ خود، مفاهیمش سخت و دشوار است. برای همین، پیداکردن کسی که بتواند این مفاهیم سخت را ساده بنویسد، کار ساده‌ای نبود. زمان دبیرستان ما، یکی از اون کتاب‌هایی که بیان ساده و در عین حال جذابی داشت و من همیشه از خواندنش لذت می‌بردم، کتاب‌های فیزیک فرید شهریاری بود. برای همین یک روز با ایشان تماس گرفتم، ولی متأسفانه جواب ندادند. البته این را می‌دانستم که قبل‌ترها از طرف انتشارات صحبت‌هایی با آقای شهریاری شده بود و نشده بود که بشود! باز با این حال چند روز بعد، با کورسوی امیدی دوباره این پیام را فرستادم:

... و این چت‌ها و مکالمات ادامه پیدا کرد تا این‌که آقای شهریاری آمدند خیلی سبز! 😊 خب تا قبل از این تماس، آقای شهریاری را فقط در حد نوشته‌هایشان در کتاب می‌شناختم و به خاطر همین، خیلی دوستش داشتم. اما وقتی آقای شهریاری را از نزدیک دیدم، فهمیدم که جذاب‌بودن کتاب‌هایشان، بی‌دلیل نیست و خودشان هم دوست‌داشتنی هستند.

الان از چاپ این کتاب خیلی خوشحالم و واقعاً در پوست خودم نمی‌گنجم. کاش دوباره من هم هم‌سن شما می‌شدم و این کتاب را درست و حسابی می‌خواندم! سپاس فراوان از آقای شهریاری عزیز؛ اول به خاطر ادب و تواضعشون و بعد برای نوشتن این کتاب! ممنون از خانم فاطمه جان‌محمدی که حواسش به همه‌چی بود و مدیریت پروژه کتاب را به خوبی جلو برد. یک تشکر ویژه هم از بچه‌های واحد تولید و گرافیک که عاشقانه کار کردند تا این کتاب خوشگل الان دست شما باشد.

۱- یه لحظه یادم رفت دارم مقدمهٔ کتاب فیزیک می‌نویسم! راستی این بیت زیبا رو هم دکتر بقائی بهم گفت. ممنونم دکتر جان!

مقدمهٔ مؤلف

به دنیای الکتریسیته و مغناطیس خوش آمدید! دنیایی که در آن نام نوابغی چون بنیامین فرانکلین، مایکل فاراده و نیکلا تسلا بدرخشد، قطعاً دنیای شگفت‌انگیزی است! جالب است که پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی، سال‌ها پیش از میلاد مسیح توسط بشر مشاهده شده بودند؛ اما گویی بشر آن‌ها را تا سدهٔ هفدهم پس از میلاد به فراموشی سپرده بود. تازه از این زمان بود که الکتریسیته، توجه بشر را به خود جلب کرد و از آن زمان تا کنون، الکتریسیته و مغناطیس آن قدر با زندگی بشر در آمیخته‌اند که زیستن بدون آن‌ها اصلاً قابل تصور نیست! کافی است دقایقی به فکر فرو روید و ببینید الکتریسیته و مغناطیس در کجاهای زندگی شما کاربرد دارند. تازه بعضی از این کاربردها را ممکن است اکنون نشناسید و پس از خواندن این کتاب، با آن‌ها آشنا شوید.

کتاب فیزیک سال یازدهم، تنها کتاب فیزیک دورهٔ دوم متوسطه است که از وحدت موضوع برخوردار است. بر خلاف فیزیک سال دهم و دوازدهم که در آن‌ها از هر دری، سخنی است (!)، سرتاسر فیزیک یازدهم به بررسی الکتریسیته و مغناطیس اختصاص یافته است. بد نیست همین‌جا اشاره‌ای مختصر به ساختار این کتاب داشته باشیم. هر فصل این کتاب، ابتدا با آموزش مفهومی آغاز می‌شود و برای این منظور از درس‌نامه‌ها استفاده می‌شود. تمام سعی من بر این بوده که با خواندن درس نامه‌ها، دانش‌آموز خود را در یک کلاس تصور کند. از آن جایی که براساس تجربهٔ بیش از سه دهه تدریس خود، تا حد زیادی می‌دانم که دانش‌آموزان حین یادگیری درس با چه پرسش‌هایی مواجه می‌شوند، آن‌ها را از زبان دانش‌آموزانی که در کلاس خیالی ما حضور دارند، مطرح کرده‌ام. یادگیری فیزیک بدون حل مثال ممکن نیست و به همین دلیل، درس‌نامه‌ها با مثال‌هایی در آمیخته‌اند که آن‌ها را «منوتو» نامیده ایم. «منوتو» یک زوج مسئله است که اولی را خودم حل می‌کنم و خوانندهٔ کتاب پس از اطمینان از درک توضیحات من، باید خودش دست به کار شود و حل دومی را در همین کتاب بنویسد. به این ترتیب، یادگیری مفهومی فیزیک به کامل‌ترین شکل ممکن صورت می‌پذیرد.

پس از درس‌نامه‌ها، نوبت به نمونه سؤالات تشریحی و پس از آن، بانک تست می‌رسد و پاسخ‌های اَبَرتشریحی آن! شک نیست که برای به دست آوردن تسلط و سرعت عمل کافی برای موفقیت در کنکور، داوطلب به تعداد زیادی تست نیاز دارد. این نیاز با بانک تست کاملاً براورده می شود و من معتقدم نیاز به هیچ منبع تکمیلی برای حل تست بیشتر نیست. بانک تست به تعداد کافی تست دارد و توزیع سطح دشواری این تست‌ها، یک توزیع منطقی است. این سطح دشواری را ما طبق معمول به چهار گروه ساده، متوسط، متوسط + و پیشرفته تقسیم کرده‌ایم. پاسخ تست‌ها هم همان‌گونه که از عنوان «اَبَر تشریحی» بر می‌آید، به کامل‌ترین شکل ممکن نوشته شده‌اند. توجه کنید که برای رسیدن به سطح آمادگی لازم برای کنکور، یک بار حل کردن تست‌های بانک تست کافی نیست و به جای آن که به فکر تهیهٔ منابع دیگر باشید، بهتر است به فکر تکرار حل همین تست‌ها باشید.

حتماً شما هم شنیده‌اید که طراح سوالات کنکور، گاهی عیناً از تمرین‌های کتاب درسی استفاده می‌کند. به همین دلیل در لابه‌لای بانک تست، تست‌هایی را می‌بینید که با عنوان «آشتی با کتاب درسی» مشخص شده‌اند. من همهٔ متن، مثال‌ها و تمرین‌های کتاب را برایتان به صورت تست در آورده‌ام. حتی فعالیت‌ها و فن‌آوری و کاربردها هم از دست من در امان نمانده‌اند و آن‌ها را هم در میان تست‌های «آشتی با کتاب درسی» خواهید دید! به این ترتیب با داشتن این کتاب، به هیچ وجه نیازی نیست نگران خواندن کتاب درسی یا حل تمرین‌های آن باشید.

سعی کرده‌ام بسیاری از تست‌های بانک تست تا حد ممکن تست‌هایی جدید و غیر تکراری باشند تا خوانندهٔ کتاب بتواند به خوبی موقعیت خود را در برخورد با تست‌های جدید محک بزند.

من عادت دارم گاه و بی گاه در اینترنت نظرات در مورد کتاب‌های خودم را جستجو کنم و به این ترتیب از نقاط ضعف و قوت کتاب‌های خودم از دید خوانندگان آگاه شوم. یکی از چیزهایی که در توصیف کتاب‌های شگفت‌انگیز فیزیک زیاد می بینم، این است که این کتاب‌ها دقیقاً در چارچوب کتاب درسی و کنکور تألیف شده‌اند و در آن‌ها از زیاده‌گویی به شدت پرهیز شده است! متأسفانه بسیار دیده‌ام که برخی از کتاب های کمک آموزشی، مطالبی را که مدت‌ها است از کتاب‌های درسی حذف شده‌اند، همچنان ارائه می‌دهند و این موضوع سبب می‌شود فکر داوطلب در جلسهٔ کنکور به جاهایی برود که نباید می‌رفت! در این مورد در فصل دوم همین کتاب نمونه‌هایی آورده‌ام که ببینید چگونه داشتن معلومات اضافه، سبب دردسر در کنکور می‌شود.

فهرست

فصل ۱: الکتریسیتهٔ ساکن

درس اول: بار الکتریکی و نیروهای الکترواستاتیکی ۹
درس دوم: اصل برهم‌نهی نیروهای الکترواستاتیکی ۱۸
درس سوم: میدان الکتریکی ۲۳
درس چهارم: اختلاف پتانسیل الکتریکی ۳۲
درس پنجم: خازن ۴۶
تمرین‌های تشریحی ۵۵
بانک تست درس اول ۶۱
بانک تست درس دوم ۶۶
بانک تست درس سوم ۷۳
بانک تست درس چهارم ۸۸
بانک تست درس پنجم ۹۸
پاسخ‌نامهٔ تمرین‌های تشریحی ۱۰۶
پاسخ‌نامهٔ ابر تشریحی ۱۱۲

فصل ۲: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

درس اول: جریان و مقاومت الکتریکی ۱۹۲
درس دوم: نیروی محرکهٔ الکتریکی ۲۰۳
درس سوم: ترکیب مقاومت‌ها ۲۱۰
تمرین‌های تشریحی ۲۲۷
بانک تست درس اول ۲۳۱
بانک تست درس دوم ۲۳۹
بانک تست درس سوم ۲۴۳
پاسخ‌نامهٔ تمرین‌های تشریحی ۲۸۵
پاسخ‌نامهٔ ابر تشریحی ۲۸۹

فصل ۳: مغناطیس

درس اول: مفهوم‌های مقدماتی ۳۹۰

درس دوم: منشأ میدان مغناطیسی ۳۹۶

درس سوم: نیروهای مغناطیسی ۴۰۲

تمرین‌های تشریحی ۴۰۸

بانک تست درس اول ۴۱۱

بانک تست درس دوم ۴۱۴

بانک تست درس سوم ۴۲۲

پاسخ‌نامهٔ تمرین‌های تشریحی ۴۳۸

پاسخ‌نامهٔ ابر تشریحی ۴۴۰

فصل ۴: القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

القای الکترومغناطیسی ۴۷۵

تمرین‌های تشریحی ۴۸۶

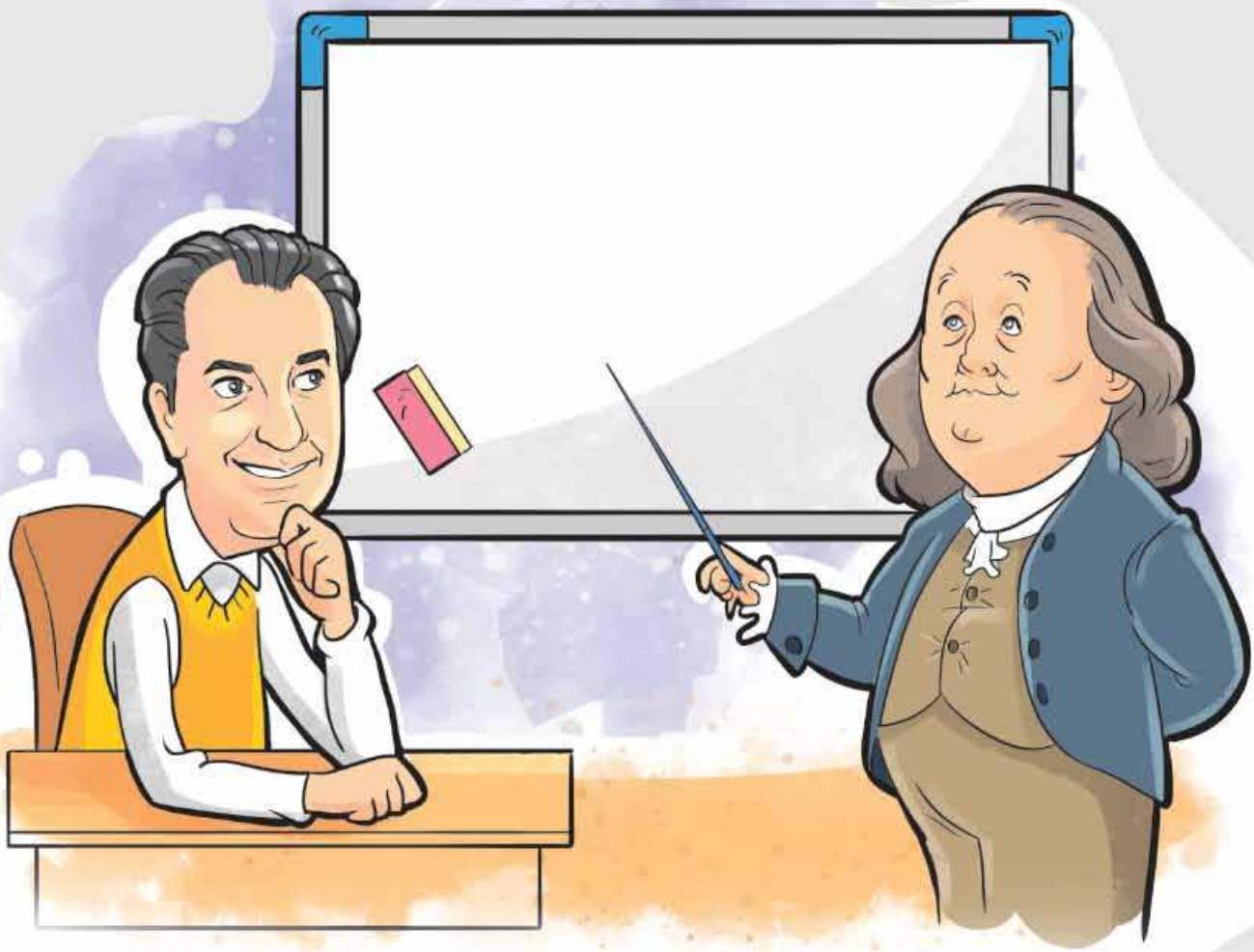
بانک تست درس اول ۴۸۸

پاسخ‌نامهٔ تمرین‌های تشریحی ۵۰۵

پاسخ‌نامهٔ ابر تشریحی ۵۰۷

پاسخ‌نامهٔ «تو»ها ۵۲۸

پاسخ‌نامهٔ کلیدی ۵۳۷



الکتریسیتهٔ ساکن

فصل اول

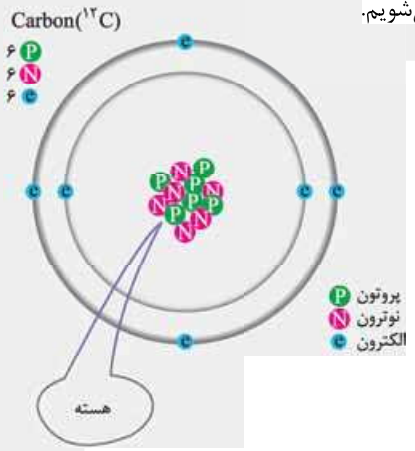
اگر موضوعی را به من «بگویی»، فراموشش خواهم کرد؛ اگر آن را به من «تدریس کنی»، آن را به خاطر خواهم سپرد؛ اگر من را با آن «درگیر» کنی، آن را خواهم آموخت.

بنیامین فرانکلین (فیزیکدان آمریکایی سدهٔ هجدهم میلادی)

آموزش مفهومی

درس اول: بار الکتریکی و نیروهای الکترواستاتیکی

به شگفت‌انگیزترین کتاب فیزیک ۲ خوش آمدید! قرار است در فیزیک یازدهم به بررسی موضوعاتی در مورد الکتریسیته و مغناطیس بپردازیم. کار خود را با یادآوری یکی دو مفهوم مقدماتی آغاز می‌کنیم و سپس وارد مفاهیم پیشرفته‌تر می‌شویم.



حتماً همگی به یاد دارید که اتم‌های همهٔ مواد، از دو جزء باردار به نام «پروتون» و «الکترون» تشکیل شده است. بار الکترون و پروتون، گرچه از نظر مقدار، یکسان است؛ از نظر نوع، مانند هم نیست، برای نخستین بار، یک دانشمند آمریکایی به نام «بنیامین فرانکلین» *(که بعداً باهاش بیشتر آشناتون می‌کنم!)*، پیشنهاد کرد که دو نوع مختلف بار، با علامت‌های ریاضی مثبت و منفی نشان داده شوند. در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها (یعنی بارهای منفی)، با تعداد پروتون‌ها (یعنی بارهای مثبت)، مساوی است و به همین دلیل، جمع جبری بار اتم صفر می‌شود. (لابد می‌دانید که «جمع جبری»، یعنی جمع، با در نظر گرفتن علامت جبری مثبت و منفی!) اگر به طریقی، این برابری تعداد پروتون و الکترون را بر هم زنیم، می‌گوییم که اتم باردار شده است. اگر اتم، تعدادی الکترون اضافه دریافت کرده باشد، می‌گوییم بار منفی دارد و اگر تعدادی از الکترون‌هایش را از دست داده باشد، می‌گوییم بار مثبت دارد.

ببخشین! ما یادمونه که اتم نمی‌تونست پروتون از دست بده یا بگیره؛ اما دلیلشو یادمون نمیاد!

یادتان باشد که تعداد پروتون‌ها، ماهیت اتم را از نظر شیمیایی مشخص می‌کند و اگر قرار باشد تعداد پروتون‌ها تغییر کند، باید نوع (جنس) ماده هم تغییر کند؛ مثلاً اتم کربن، اگر یک پروتونش را از دست بدهد، به اتم بور تبدیل می‌شود! واقعیت دیگری که وجود دارد، این است که با وجود برابری قدرمطلق بار پروتون و الکترون، جرم پروتون بسیار بیشتر از الکترون است و هم‌چنین، در هستهٔ اتم و دور از دسترس (نسبت به الکترون) است. این‌ها، واقعیت‌هایی است که به ما اطمینان می‌دهد که در همهٔ رویدادهای الکتریکی، این، الکترون‌ها هستند که مبادله می‌گردند.

پس بهتره مقدار بار الکتریکی‌ای رو که یه الکترون داره، به عنوان «یکا»ی بار در نظر بگیریم!

راستشو بخواین، فیزیکدانا این کارو نکردن! اونا به دلایلی که جای بحث‌اش این‌جا نیست، یکای دیگه‌ای برای بار الکتریکی انتخاب کردن که تعریف دقیقشو توو فصل بعد بهتون میگم! فعلاً فقط بدانید که یکای بار در SI، «کولن» نام دارد و با حرف انگلیسی C نشان داده می‌شود. قدرمطلق بار الکترون را با نماد e نشان می‌دهیم و مقدار آن، برحسب همین یکای کولن، برابر است با:

$$e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$$

ما که نمی‌فهمیم! ... یعنی یک کولن، می‌شه چقد بار الکتریکی؟ ... زیاده؟! ... کمه؟ ...

واقعیت این است که یک کولن، بار الکتریکی بزرگی است! بار عظیمی که در یک آذرخش از ابر به زمین انتقال می‌یابد، در حدود ۱۰ کولن است، اما، غالباً، بارهای الکتریکی‌ای که ما در این فصل با آن‌ها سروکار داریم، از مرتبهٔ میکروکولن (یعنی 10^{-6} کولن) و نانوکولن (یعنی 10^{-9} کولن) است که آن‌ها را به ترتیب، با نمادهای μC و nC نشان می‌دهیم. به عنوان یک مثال از زندگی روزمره، وقتی یک شانهٔ پلاستیکی را با موهای خشک سرتان مالش می‌دهید، مرتبهٔ بزرگی بار الکتریکی آن، نانوکولن است.

نکتهٔ مهمی که در مورد بار الکتریکی یک جسم باید مورد توجه قرار گیرد، «اصل کوانتیده‌بودن بار» است.

این‌که گفتین، یعنی چی؟؟

واژهٔ کوانتوم، یک واژهٔ یونانی است که معنی‌اش، دانه یا ذره است. منظور از کوانتیده‌بودن یک کمیت، در حقیقت، دانه‌دانه بودن آن کمیت است! خیلی ساده است! اگر بتوانید برای کمیتی، یک کوچک‌ترین مقدار ممکن (البته به‌جز صفر)، پیدا کنید، گفته می‌شود که آن کمیت، «کوانتیده» است و به آن کوچک‌ترین مقدار، «کوانتوم» می‌گویند. به عنوان یک مثال روزمره، به کمیت «پول» توجه کنید. برای این‌که ببینید، پول کوانتیده است یا خیر، کافی است به این فکر کنید که آیا می‌توان برای پول، یک کوچک‌ترین مقدار، در نظر گرفت؟! ... ممکن است به دلیل بی‌ارزش بودنش، آن را ندیده باشید! کوچک‌ترین مقدار پول، «۱ ریال» است! از «۱ ریال» کوچک‌تر نداریم! به همین دلیل، وقتی موجودی کارت بانکیتان را می‌گیرید، مقدار آن، می‌تواند مثلاً ۱۲۵۶۴۸ ریال باشد؛ اما ممکن نیست چیزی مثل ۱۲۵۶۴۸/۴ ریال باشد! می‌توان گفت که «۱ ریال»، کوانتوم پول در کشور ما است.

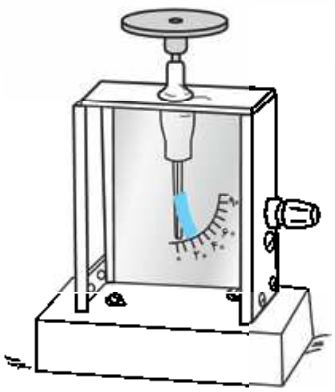
حالا که فهمیدید منظور از کوانتیده‌بودن یک کمیت چیست، به «اصل کوانتیده‌بودن بار» برمی‌گردیم! توجه کنید که یک جسم بر اثر از دست دادن و یا گرفتن تعداد درستی الکترون، باردار می‌شود؛ بنابراین، بار یک جسم باید مضرب درستی از بار الکترون باشد. منظورم از مضرب «درست»، این است که مثلاً، بار یک جسم نمی‌تواند ۲/۴ بار یک الکترون باشد؛ چون باری کوچک‌تر از بار الکترون وجود ندارد! بار یک جسم می‌تواند ۲ برابر بار یک الکترون و یا ۳ برابر آن باشد: اما نه ۲/۴ برابر آن! به طور کلی، اگر بار الکتریکی یک جسم باردار را با نماد q نشان دهیم، می‌توان نوشت:

$$q = \pm ne \qquad n = 0,1,2,\dots$$

علامت « − » را زمانی می‌گذاریم که جسم، تعداد n الکترون اضافه، دریافت کرده باشد و علامت « + » هم مربوط به حالتی است که جسم، تعداد n الکترون خود را از دست داده باشد. البته به زودی می‌بینید که گاهی در رابطه‌هایی که می‌نویسیم، فقط مقدار بار اهمیت دارد؛ که در این صورت، دیگر علامت‌های مثبت و منفی را نمی‌گذاریم:

$$|q| = ne$$

برای این‌که بفهمیم بار یه جسم چه‌قدره، ابزار خاصی وجود داره؟



بله! این ابزار را در علوم سال هشتم دیده بودید! (*نمی‌خواد چیزی بگید! ... می‌دونم هیچی یادتون نمیاد!*) این ابزار، «الکتروسکوپ» (یا «برق‌نما») نام دارد و شکل آن، به صورت روبه‌رو است. با الکتروسکوپ، می‌توان وجود بار، نوع بار و اندازهٔ آن را تعیین کرد. در این مورد، در همین فصل (البته در یکی از درس‌های بعدی)، بیشتر صحبت خواهیم کرد. فعلاً می‌خواهیم به حل مثال‌هایی در مورد محاسبهٔ بار الکتریکی بپردازیم. مثال‌هایی که ما در درس‌نامه‌های این کتاب مطرح می‌کنیم، «منوتو» نام دارند! دلیل این نام‌گذاری هم این است که مثال‌ها را به صورت زوج‌هایی می‌آوریم که روش حل مشابهی دارند. نخستین مثال را خودم به طور کامل برایتان توضیح می‌دهم و پس از آن، انتظار دارم خودتان از عهدهٔ حل مثال بعدی برآیید. (البته برای این‌که از درستی حل دومین مثال در هر منوتو مطمئن شوید، پاسخ آن‌ها را برایتان در انتهای کتاب گذاشته‌ام.)

منوتو ۱

من **عدد اتمی کربن برابر با $Z = 6$ است. به ترتیب از راست به چپ بار الکتریکی هستهٔ اتم کربن و بار الکتریکی اتم کربن در حالت خنثی برابر با چند کولن است؟ ($e = 1/6\times10^{-19}\ C$)**

۱) $9/6\times10^{-19}$، صفر ۲) صفر، $9/6\times10^{-19}$ ۳) صفر، صفر ۴) $9/6\times10^{-13}$، صفر

پاسخ امیدوارم از درس شیمی به یاد داشته باشید که منظور از عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است؛ در این صورت می‌توان بار هسته را به راحتی محاسبه کرد:

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

همین چند دقیقهٔ پیش گفتیم که بار خالص اتم صفر است؛ چرا که درست به تعداد پروتون‌ها در هسته، الکترون نیز در اطراف هسته وجود دارد.

گزینهٔ ۱

-

حالا نوبت شما است! لطفاً یک مداد بردارید و تست زیر را در همین کتاب حل کنید:

تو **چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $+1\ \mu C$ شود؟ ($e = 1/6\times10^{-19}\ C$)** *(ریاضی ۹۵)*

۱) $1/6\times10^{6}$ ۲) $1/6\times10^{12}$ ۳) $6/25\times10^{6}$ ۴) $6/25\times10^{12}$

.....

در همین درس، می‌خواهم یک روش رایج، برای باردارکردن اجسام را هم یادآوری کنم. این روش، «مالش» نام دارد که در آن، تعدادی از الکترون‌های یک جسم، از آن جدا شده و به جسم دیگر می‌روند. برای آن‌که بفهمیم در این روش، کدام جسم تعدادی از الکترون‌هایش را از دست می‌دهد و کدام‌یک این الکترون‌ها را می‌گیرد، می‌توان از شکل سمت چپ این صفحه استفاده کرد. (*لازم نیست حفظش کنید!*) به چنین لیستی از مواد، «سری الکتریسیتهٔ مالشی» و یا «تریبوالکتریک» می‌گویند. یادتان باشد که هنگام مالش دو ماده از این سری، همیشه الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر به مادهٔ پایین‌تر منتقل می‌شوند؛ به عبارتی، مواد پایین‌تر، الکترون‌خواه‌ترند!

به عنوان یک نمونه، فرض کنید در شکل روبه‌رو، یک میلهٔ شیشه‌ای را با یک پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. لطفاً به جایگاه شیشه و پشم در سری تریبوالکتریک توجه کنید!

می‌بینید که شیشه، بالاتر از پشم است؛ به همین دلیل، تعدادی از الکترون‌های شیشه به پارچهٔ پشمی منتقل می‌شوند و شیشه دارای بار مثبت و پارچهٔ پشمی، دارای بار منفی می‌شود و البته، جمع جبری بار این دو صفر است. این صفربودن جمع جبری بارهای دو جسم، بیانگر اصل دیگری به نام «اصل پایستگی بار» است؛ بنا بر این اصل، در یک «دستگاه منزوی» (یعنی دستگاهی که با محیط اطراف خود، مبادلهٔ باری نداشته باشد)، مجموع جبری همهٔ بارها ثابت است.

برای این‌که بتوانید این اصل را با مثال شیشه و پارچهٔ پشمی مطابقت دهید، ابتدا باید «دستگاه منزوی» خود را مشخص کنیم! اگر مجموعهٔ «میلهٔ شیشه‌ای + پارچهٔ پشمی» را به عنوان دستگاه در نظر بگیریم، چون این مجموعه با هوای اطراف و همین‌طور با دست ما، باری مبادله نمی‌کند، دستگاهی منزوی است و پیش از مالش شیشه با پارچه، بار خالص هر دو صفر است و پس از مالش، هر چه شیشه بار مثبت به دست آورد، پارچه هم به همان اندازه، بار منفی پیدا خواهد کرد. می‌بینید که هم‌چنان، جمع جبری بارهای این دو جسم صفر است.

ضد اگه میلهٔ شیشه‌ای رو تنهایی به عنوان «دستگاه» انتخاب می‌کردیم که دیگه حرف شما درست نبود! اولش بار میلهٔ شیشه‌ایمون صفر بود؛ ولی بعد از مالش، یه مقدار مثبت می‌شد!

توجه کنید که دستگاه شما (یعنی میلهٔ شیشه‌ای به تنهایی)، چون با پارچه (که در این صورت در حکم «محیط» است)، مبادلهٔ بار دارد، دیگر «منزوی» نیست؛ در حالی که اصل پایستگی بار، فقط برای دستگاه‌های منزوی، معتبر است.

این درس را با یکی دو نمونهٔ تریبوالکتریک دیگر ادامه می‌دهیم:

در شکل روبه‌رو، یک میلهٔ پلاستیکی را با یک پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، باید به سری تریبوالکتریک نگاه کنید و به من بگویید که بار میله و پارچه، چه خواهد بود. به عنوان یک مثال دیگر، در شکل زیری، با یک میلهٔ چوبی، گربه‌ای را ماساژ می‌دهیم! بار چوب و گربه را هم برای من تعیین کنید. بعد از این‌که خودتان به این دو پرسش، پاسخی دادید، می‌توانید به شکل‌های زیر نگاه کنید و از درستی پاسختان مطمئن شوید!

وقت آن رسیده است که کم‌کم وارد موضوعات جدی‌تر این فصل شویم و در مورد نیروهایی که اجسام باردار به یکدیگر وارد می‌کنند، صحبتی داشته باشیم.

احتمالاً به یاد دارید که در فیزیک، به «کشیدن» یا «هل‌دادن»، «نیرو» می‌گفتیم. بیشتر نیروهایی که در زندگی روزمره با آن‌ها سروکار داریم، بر اثر «تماس» دو جسم، پدید می‌آیند؛ مثلاً شما برای نیرو واردکردن به در یک فروشگاه، باید دست خود را با آن تماس دهید تا بتوانید همانند شکل‌های روبه‌رو، در را بکشید و یا هل دهید و وارد فروشگاه شوید.

کشیدن

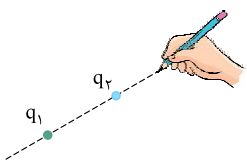
هُل دادن

دو جسم باردار هم می‌توانند یکدیگر را بکشند یا هل دهند؛ اما موضوع جالب این است که برای این منظور، نیازی نیست با هم تماس یابند! حتماً همگی می‌دانید که بارهای الکتریکی همنام، یکدیگر را دفع می‌کنند (هل می‌دهند) و بارهای ناهمنام، یکدیگر را می‌ربایند (جذب می‌کنند). در درس بعد، در مورد این‌که نیروهای الکتریکی، بدون تماس از طرف یک جسم باردار به جسم باردار دیگر وارد می‌شوند، بیشتر صحبت می‌کنیم. فعلاً می‌توانیم تصور کنیم که از یک جسم باردار، چیزی مثل یک «غول چراغ جادو» (که البته نامرئی هم هست!)، خارج می‌شود و جسم باردار دیگر را می‌کشد و یا هل می‌دهد. تصور این غول خیالی، باعث می‌شود جهت نیروها را بهتر درک کنید! در شکل روبه‌رو، می‌بینید که چگونه بار سمت چپ، با استفاده از غول خود (!)، بار سمت راست را هل می‌دهد؛ البته با توجه به قانون سوم نیوتون (کنش و واکنش)، بار سمت راست هم، همانند شکل زیری، غول خود را به سراغ بار سمت چپ می‌فرستد تا آن را با نیرویی به همان اندازه و در خلاف جهت، هل دهد!

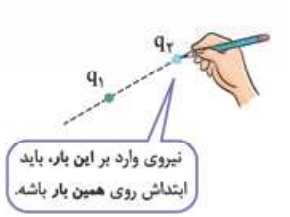
به دو شکل بعدی هم خوب نگاه کنید! در این دو شکل، هر یک از بارها، غول خود را به سراغ دیگری فرستاده و آن را به طرف خود می‌کشد و این، یعنی رابیش (جاذبه)! به نیرویی که بارهای الکتریکی به هم وارد می‌کنند، «نیروهای الکترواستاتیکی (یا الکتریکی)» گفته می‌شود. («استاتیک» به معنی «ساکن» است و «الکترواستاتیک»، یعنی همان «الکتریسیتهٔ ساکن»!)

چیزی که در این درس، اهمیت زیادی برایمان دارد، یادگیری رسم درست نیروهای الکترواستاتیکی است. اجسام باردار مورد توجه ما در این‌جا، باید اندازهٔ کوچکی نسبت به فاصله‌شان از بار دیگر داشته باشند؛ در این صورت، از اندازهٔ جسم باردار چشم‌پوشی می‌کنیم و آن را یک «ذره» در نظر می‌گیریم. یک ذرهٔ باردار را «بار نقطه‌ای» نیز می‌نامیم. وقتی می‌خواهید نیرویی را که یک بار نقطه‌ای، به بار نقطه‌ای دیگر وارد می‌کند، رسم کنید، یادتان بماند که:

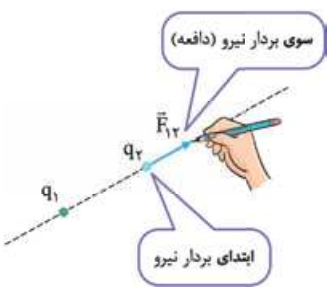
۱ «راستای» این نیرو، هم‌راستا با خطی است که دو بار را به هم وصل می‌کند. *(بد نیست از همون اول، دو بار الکتریکیو با یه خط‌پین به هم وصل کنین و این خط‌پینو کمی ادامه هم بدین!)* به عنوان مثال، فرض کنید می‌خواهیم در شکل روبه‌رو، نیرویی را که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 به یکدیگر وارد می‌کنند، رسم کنیم. می‌بینید که ابتدا، خط واصل دو بار را با نقطه‌چین رسم کرده‌ایم.



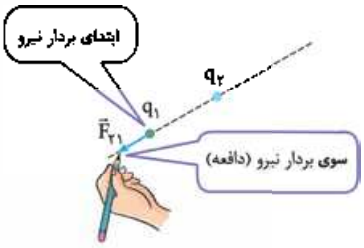
۲ برای رسم یک نیرو، اولین چیزی که اهمیت دارد، این است که «این نیرو، به کدام بار وارد می‌شود». یادتان باشد که ابتدای بردار نیرویی که رسم می‌کنید، باید درست روی همین بار باشد. به عنوان نمونه، اگر می‌خواهید نیروی وارد بر بار q_2 را رسم کنید، باید ابتدا نوک مداد را همانند شکل روبه‌رو، روی همین بار قرار دهید.



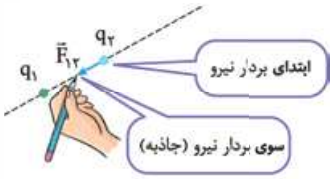
۳ و بالأخره برای رسم نیرو، باید به «همنام» یا «ناهمنام» بودن بارها توجه کنید. اگر بارها همنام باشند و شما بخواهید نیروی وارد بر بار q_2 را رسم کنید، می‌توانید در ذهن خود مجسم کنید که غول چراغ جادو، از بار q_1 بیرون آمده و همانند شکل روبه‌رو، بار q_2 را هل می‌دهد. *(البته دیگه غوله رو توو این شکل نشون ندادیم!)* نیرویی را که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند، با نماد $\vec{F}_{12}$ نشان می‌دهیم. یادتان باشد که $\vec{F}_{12}$ باید در راستای خط واصل دو بار باشد و سوی آن *(یا همون فلش اون)*، دافعه *(یا همون هل‌دادن)* را نشان دهد. در شکل بعدی، نیرویی را که بار q_2 به بار q_1 وارد می‌کند هم نشان داده‌ام $(\vec{F}_{21})$. به ابتدا و سوی این نیرو، خوب دقت کنید!



در صورتی که بارها ناهمنام باشند و شما باز هم بخواهید نیروی وارد بر بار q_2 را رسم کنید، دوباره ابتدای بردار نیرو باید روی همان بار q_2 باشد؛ فقط همان‌گونه که در شکل بعدی می‌بینید، این دفعه، سوی بردار نیرو، حکایت از جذب بار q_2 به سوی بار q_1 دارد.



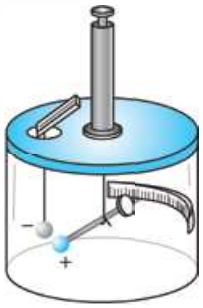
خودتان نیروی وارد بر بار q_1 را هم در این حالت، روی شکل روبه‌رو رسم کنید.



حالا باید توجه‌تان را به یک موضوع دیگر جلب کنم! در قرن هجدهم میلادی یک افسر فرانسوی به نام «**کولن**» که در بخش مهندسی ارتش فرانسه مشغول به کار بود و هم‌زمان، به فعالیت‌های علمی نیز می‌پرداخت، در مورد «پیچش» و نیروی پدیدآمده بر اثر آن، تحقیقات مفصلی انجام داد.

مطمئن‌ام که اغلب شما، تجربهٔ نشان داده‌شده در شکل روبه‌رو را داشته‌اید! وقتی دو سر یک خط‌کش پلاستیکی را در دست گرفته و یک سرش را کمی پیچانده‌اید، حس کرده‌اید که خط‌کش، برای بازگشت به حالت اولیه‌اش تلاش می‌کند(!) و به همین منظور، به دست شما نیرو وارد می‌کند. البته تحقیقات کولن، بیشتر در مورد نیروی حاصل از پیچش چیزهایی مثل یک نخ یا سیم بود.

حالا اینا چه ربطی به الکتریسیته داره؟!!



کولن برای اندازه‌گیری نیرویی که یک بار الکتریکی به بار دیگر وارد می‌کند، از ابزاری به شکل روبه‌رو استفاده کرد. این ابزار را «ترازوی پیچشی» می‌نامند. چنان‌که در این شکل می‌بینید، گلوله‌ای با بار مثبت به یک سر میله‌ای افقی متصل شده است. این میلهٔ افقی، از یک رشته سیم آویزان است. گلولهٔ دیگری با بار منفی را از نخی آویزان کرده و از حفره‌ای که در بالا وجود دارد، به داخل محفظه می‌برند.

ربایشی که این گلوله به گلولهٔ مثبت وارد می‌کند، سبب پیچش سیم متصل به میلهٔ افقی می‌شود و این پیچش آن‌قدر ادامه می‌یابد تا بار مثبت به تعادل برسد. در این حال، به کمک درجه‌بندی ابزار، زاویهٔ چرخش را اندازه می‌گیرند و از روی زاویهٔ پیچش، نیرویی را که به بار مثبت وارد شده است، محاسبه می‌کنند. (البته روش این محاسبه‌ها در حد ما نیست!) کولن با چنین آزمایشی، توانست یک فرمول برای محاسبهٔ اندازهٔ نیروی الکترواستاتیکی به دست آورد. بنا بر «قانون کولن»، اندازهٔ نیروی الکترواستاتیکی‌ای که هر یک از دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 به یکدیگر وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب قدرمطلق بارها (یعنی $|q_1||q_2|$) متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها (یعنی r^2)، نسبت وارون دارد. این موضوع را می‌توان در یک فرمول خلاصه کرد:

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

گفتیم که با توجه به قانون سوم نیوتون، نیرویی که دو بار الکتریکی به هم وارد می‌کنند، کنش و واکنش‌اند و به همین دلیل، اندازهٔ برابری دارند؛ از این‌رو، رابطهٔ بالا، هم می‌تواند بزرگی نیرویی را که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند، نشان دهد و هم، بزرگی نیرویی را که بار q_2 به بار q_1 وارد می‌کند.

نگفتین منظور از k چیه!... احتمالاً باید یه چیز ثابت باشه!

همین‌طور است! به k در قانون کولن، «ثابت الکترواستاتیکی» و یا «ثابت کولن» گفته می‌شود. پیش از هر چیز، به من بگویید که به نظر شما، یکای k چیست؟

مگه k، یه ضریب ثابت نیست؟!... فکر می‌کنم واحدی (یکایی) نداره!

تمرین‌های تشریحی

درس اول

اگه کنکوری هستین، حتماً این قسمت رو بخونین.

شما داوطلب کنکورین یا هنوز یه سالی مونده داوطلب کنکور بشین؟! کسانی که کتاب‌های شگفت‌انگیز فیزیک رو می‌خونن، دو دسته‌اند. یه دسته بچه‌های سال یازدهم هستن که فعلاً دغدغهٔ اصلی‌شون امتحان‌های مدرسه است و کنکور براشون اولویت بعدیه. دستهٔ دوم، داوطلبای کنکور هستن که سال دوازدهم هستند یا فارغ‌التحصیلن و در هر صورت، امتحان‌های تشریحی سال یازدهم براشون صرفاً یه خاطرهٔ مربوط به گذشته است و فقط به کنکور فکر می‌کنن. ممکنه این گروه از خوانندگان کتاب از این قسمت زیاد خوششون نیاد و بگن تمرین‌های «تشریحی» به چه درد ما می‌خوره. می‌فهام همین‌جا، یک بار برای همیشه تکلیف این دسته از خوانندگان کتابمون رو مشخص کنم. (اگه یه دانش‌آموز معصوم یازدهمی هستین، می‌تونین ادامهٔ توضیحاتم رو نخونین و تمرین‌ها رو شروع کنیم؛ فقط این رو هم بدونین که بیشتر تمرین‌های این قسمت، برگرفته از سؤالای امتحانی در سال‌های مختلف هستن.) دیگه همه می‌دونن که برای موفقیت تو آزمون‌های تستی، بعد از درک مفهومی فیزیک، شدیداً به سرعت عمل و تسلط نیازمندیم و چی بهتر از تمرین تشریحی برای شروع کار؟ اگه شما هم از بچه‌هایی هستین که از کُندی خودتون شکایت دارین، بهترین کار اینه که با تمرین‌های تشریحی شروع کنین. اما اگه دچار کمبود وقت هستین و نمی‌رسین هم تمرین‌های تشریحی و هم تمرین‌های تستی رو پاسخ بدین، می‌تونین از این بخش بگذرین و یه راست برین سراغ تست‌ها. این موضوع برای همهٔ فصل‌های این کتاب صدق می‌کنه و حتی می‌تونین تمرین‌های تشریحی رو به صورت انتخابی برای فصل‌هایی که فکر می‌کنین بیشتر توش مشکل دارین، پاسخ بدین.

۱- درستی یا نادرستی هر یک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید. (جلوی هر کدام بنویسید «درست» یا «نادرست».)

۱-۱) نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی دارد.

۱-۲) یکای بار الکتریکی در SI، برابر با بار بنیادی است.

۱-۳) در یک اتم خنثی، بار الکتریکی خالص هسته صفر است.

۲- در هر یک از موارد زیر، عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید و آن را در انتهای هر مورد بنویسید.

۲-۱) در سری الکتریسیتهٔ مالشی، مواد براساس (رسانش الکتریکی ـ الکترون‌خواهی) قرار می‌گیرند.

۲-۲) برای تحقیق قانون کولن از (ترازوی پیچشی ـ الکتروسکوپ) استفاده می‌شود.

۲-۳) اگر قدرمطلق دو بار برابر نباشد، اندازهٔ نیروی الکتریکی‌ای که به یکدیگر وارد می‌کنند، (یکسان ـ غیر یکسان) است.

۳- در هر یک از موارد زیر، جاهای خالی را با عبارت‌های مناسب پر کنید.

۳-۱) اندازهٔ نیرویی که دو بار نقطه‌ای به یکدیگر وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب ..... متناسب است و با مربع ..... دو بار نسبت وارون دارد.

۳-۲) طبق اصل .....، بار الکتریکی یک جسم، مضرب درستی از بار یک الکترون است.

۳-۳) طبق اصل .....، جمع جبری بار الکتریکی در یک دستگاه ..... پایسته است.

۳- به هر یک از پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۳-۱) قانون کولن چه می‌گوید؟

۳-۲) اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی چه می‌گوید؟

۳-۳) اصل پایستگی بار الکتریکی چه می‌گوید؟

۴- با توجه به سری تریبوالکتریک مقابل، به سؤالات زیر پاسخ کوتاه دهید.

+
A
B
C
D
−

الف) اگر جسم A را با جسم B و هم‌چنین جسم C را با جسم D مالش دهیم، پس از مالش، دو جسم A و C یکدیگر را می‌رانند یا می‌ربایند؟

ب) اگر شرایط ظاهری دو جسم مانند هم باشد و بخواهیم بیشترین مقدار بار را در اثر مالش ایجاد کنیم، کدام دو جسم را باید با هم مالش دهیم؟

۵- اگر بخواهیم اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار ۴ برابر شود، باید فاصلهٔ بین دو بار چند برابر شود؟

۶- دو بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام در اختیار داریم. اگر ۲۵ درصد از یکی را برداشته و به دیگری بدهیم و دو بار را در نصف فاصلهٔ قبلی از هم قرار دهیم، اندازهٔ نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

درس دوم

۷- درستی یا نادرستی هر یک از عبارت‌های زیر را مشخص کنید. (جلوی هر کدام بنویسید «درست» یا «نادرست».)

۷-۱) اگر به بار الکتریکی (۱)، از دو طرف دو بار (۲) و (۳) نیروی الکتریکی وارد شود، نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار (۱) همواره برابر $\vec{F}_{21}+\vec{F}_{31}$ است.

۷-۲) اگر یک بار الکتریکی در حال تعادل الکترواستاتیکی باشد، نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر است.

۷-۳) اگر به یک بار الکتریکی دو نیروی الکتریکی هم‌اندازهٔ F وارد شود، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن حتماً برابر 2F است.

بانک تست ـ درس اول

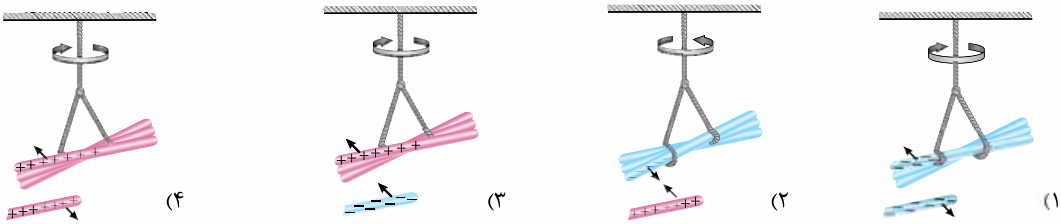
به بانک تست خوش آمدید! لطفاً قبل از آغاز کار، به توضیحاتی که می‌دهم، خوب دقت کنید. تست‌های مربوط به هر درس این کتاب، به سه قسمت تقسیم شده‌اند. کسانی که می‌خواهند یک فعالیت ورزشی را آغاز کنند، باید ابتدا خود را گرم کنند. برای تست‌زدن نیز به گرم‌کردن خود نیاز داریم! به همین دلیل، نخستین قسمت از تست‌ها را «دست‌گرمی» نامیده‌ایم. تست‌های این قسمت، تست‌هایی ساده و روان هستند که در صورت درک درست مطالب آموزش داده شده، باید بتوانید آن‌ها را به راحتی پاسخ دهید. پس از تست‌های دست‌گرمی، نوبت به «تمرین» می‌رسد. تست‌های این قسمت اغلب نیاز به کار و تفکر بیشتری نسبت به قسمت دست‌گرمی دارند. یادتان باشد که برای هر دو قسمت دست‌گرمی و تمرین، نیازی به «زمان‌گیری» نیست و بهتر است هر قدر می‌توانید روی آن‌ها وقت بگذارید و سعی کنید خودتان آن‌ها را حل کنید. پس از کار روی هر تست (چه خودتان آن را حل کردید، چه موفق به حل آن نشدید)، باید به پاسخ‌های اَبَرتشریحی این کتاب مراجعه کنید و آن‌ها را به دقت بخوانید. پس از دو قسمت دست‌گرمی و تمرین، نوبت به «آزمون» می‌رسد. تست‌های این قسمت را باید در مدت‌زمانی محدود که در ابتدای آزمون به شما می‌گویم پاسخ دهید. همان‌گونه که می‌بینید، همه‌چیز برای افزایش توانمندی تستی شما در نظر گرفته شده است! *منتظر چی هستین؟! همین الان می‌تونین شروع کنین! موفق باشین!*

توجه **در تست‌های این بخش در صورتی‌که به ثابت کولن و بار بنیادی نیاز داشتید و مقدار آن‌ها داده نشده بود، ثابت کولن را برابر $k = 9\times10^{9}\ Nm^2/C^2$ و بار بنیادی را برابر $1/6\times10^{-19}\ C$ در نظر بگیرید.**

دست‌گرمی

۱- یک میلهٔ باردار از طناب سبکی آویزان است و میلهٔ باردار دیگری را به آرامی به آن نزدیک می‌کنیم. در کدام گزینه نیروی وارد بر یک سرِ میله‌ها درست نشان داده نشده است؟

آشنایی با کتاب درسی



۱) ۲) ۳) ۴)

۲- شکل روبه‌رو چند ماده را در سری الکتریسیتهٔ مالشی نشان می‌دهد. وقتی یک گربه خود را به شیشهٔ یک پنجره می‌مالد، بار الکتریکی ایجادشده در شیشه مانند کدام گزینه است؟

آشنایی با کتاب درسی

انتهای مثبتِ سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سُرب
انتهای منفیِ سری

۱) بار ایجادشده در یک پارچهٔ پشمی که با موی انسان مالش داده می‌شود.

۲) بار ایجادشده در نایلونی که با سرب مالش داده شده است.

۳) بار ایجادشده در یک پارچهٔ پشمی که به شیشه مالش داده شده است.

۴) بار ایجادشده در موی گربه‌ای که به نایلون مالیده شده است.

۳- در یک آذرخش نوعی، باری که به زمین منتقل می‌شود از کدام مرتبه است؟

آشنایی با کتاب درسی

۱) 10^{-6} کولن ۲) 10^{-9} کولن ۳) 10^{-3} کولن ۴) ۱۰ کولن

۴- براساس اصل کوانتیده‌بودن بار، کدام گزینه در مورد بار الکتریکی مشاهده‌شدهٔ یک دستگاه منزوی درست است؟

آشنایی با کتاب درسی

۱) در SI همیشه با عددی صحیح بیان می‌شود.

۲) همیشه مضرب درستی از بار بنیادی است.

۳) مجموع جبری ثابتی دارد.

۴) هر سه گزینهٔ قبل درست‌اند.

۵- یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-12/8\ nC$ می‌شود. پارچهٔ پشمی ..... الکترون ..... است.

آشنایی با کتاب درسی

۱) 8×10^{10}، دریافت کرده ۲) 8×10^{10}، از دست داده ۳) 8×10^{19}، دریافت کرده ۴) 8×10^{19}، از دست داده

۶- عدد اتمی اورانیوم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم اورانیوم چند کولن است؟

آشنایی با کتاب درسی

۱) $1/625\times10^{-17}$ ۲) 92×10^{-19} ۳) $1/6\times10^{-19}$ ۴) $1/472\times10^{-17}$

۷- بار الکتریکی هستهٔ اتم کربن ($_{6}^{12}C$) چند میکروکولن بیشتر از بار اتم هلیم ($_{2}^{4}He$) است؟

آشنایی با کتاب درسی

۱) $9/6\times10^{-19}$ ۲) $6/4\times10^{-13}$ ۳) $6/4\times10^{-19}$ ۴) $9/6\times10^{-13}$

۸- دو بار نقطه‌ای q و $2q$ به فاصلهٔ d از یکدیگر قرار دارند. اگر بار q بر بار $2q$ نیروی $\vec{F}$ را وارد کند. بار $2q$ بر بار q چه نیرویی وارد خواهد کرد؟

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

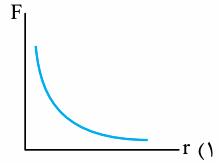
۹- در هستهٔ هلیم، دو پروتون به فاصلهٔ تقریبی $2/4\times10^{-15}\ m$ از هم قرار دارند. اندازهٔ نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟

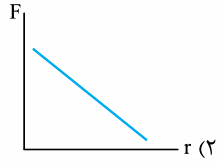
۱) ۲۰ ۲) ۱۶ ۳) ۴۰ ۴) ۸۰

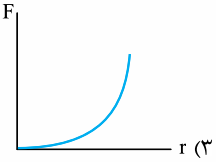
آشنایی با کتاب درسی

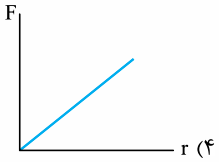
تمرین

۱۰- کدام‌یک از نمودارهای زیر، تغییرات اندازهٔ نیروی کولنی (F) وارد بر هر یک از دو بار الکتریکی نقطه‌ای را برحسب فاصلهٔ آن‌ها (r) درست نشان می‌دهد؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۱۱- دو بار نقطه‌ای که در فاصله‌ای از هم نگه داشته شده‌اند، به یکدیگر نیروی الکتریکی‌ای به اندازهٔ $\vec{F}$ وارد می‌کنند. اگر اندازهٔ هر بار را ۲ برابر و فاصلهٔ بین بارها را $\frac{1}{2}$ برابر کنیم، اندازهٔ نیرویی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، برابر کدام گزینه می‌شود؟

آشنایی با کتاب درسی

۱) $8F$ ۲) $16F$ ۳) F ۴) $\frac{F}{4}$

۱۲- دو ذره با بارهای q_1 و q_2 در فاصلهٔ معینی از یکدیگر ثابت شده‌اند و بر هم نیروی F را وارد می‌کنند. فاصلهٔ این دو بار الکتریکی را چند درصد کاهش دهیم تا بر هم نیروی $4F$ را وارد کنند؟

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۷۵ ۴) ۱۰۰

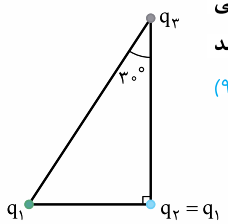
۱۳- اگر فاصلهٔ بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای را ۲۰ درصد افزایش دهیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها، تقریباً چند درصد کاهش می‌یابد؟ (سراسری ۱۴۰۱)

۱) ۴۰ ۲) ۳۰ ۳) ۲۵ ۴) ۱۵

۱۴- اگر اندازهٔ بار هر یک از دو بار الکتریکی نقطه‌ای را ۳ برابر کنیم و فاصلهٔ بین آن‌ها را نیز ۳ برابر کنیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟ (ریاضی ۹۸)

۱) $\frac{1}{3}$ ۲) ۱ ۳) ۳ ۴) ۹

۱۵- سه ذرهٔ باردار در سه رأس یک مثلث قائم‌الزاویه قرار دارند، بزرگی نیروی الکتریکی بار q_1 بر q_2 وارد می‌کند F_1 و بزرگی نیروی الکتریکی که q_2 به q_3 وارد می‌کند. F_2 است، در صورتی‌که $F_1 = F_2$ باشد. بزرگی نیرویی که q_1 به q_3 وارد می‌کند، چند برابر F_1 است؟ (خارج ریاضی ۹۸)



۱) $\frac{3}{4}$ ۲) ۱ ۳) $\frac{4}{3}$ ۴) $\frac{3}{2}$

۱۶- دو ذره با بارهای مساوی، در فاصلهٔ $3/2\times10^{-3}\ m$ از یکدیگر، روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، نگه داشته شده‌اند. اگر هم‌زمان، دو ذره را رها سازیم، به محض رهاشدن، اندازهٔ شتاب ذرهٔ اول، $7\ m/s^2$ و اندازهٔ شتاب ذرهٔ دوم، $9\ m/s^2$ می‌شود، اگر جرم ذرهٔ اول، $6/3\times10^{-8}\ kg$ باشد، جرم ذرهٔ دوم و بار هر ذره، برابر کدام گزینه است؟

۱) $6/9\times10^{-7}\ kg$ و $6/24\times10^{-11}\ C$ ۲) $4/9\times10^{-8}\ kg$ و $2/24\times10^{-11}\ C$

۳) $4/9\times10^{-8}\ kg$ و $6/24\times10^{-11}\ C$ ۴) $6/9\times10^{-8}\ kg$ و $2/24\times10^{-11}\ C$

۱۷- دو کرهٔ کوچک هر یک با بار $+2$ میکروکولن، در فاصلهٔ ۲ سانتی‌متر از هم قرار دارند. چند میکروکولن بار، باید از یک کره برداشته و به کرهٔ دیگر اضافه کنیم تا نیروی الکتریکی وارد بر هر بار ۴۵ نیوتون شود؟

۱) ۲ ۲) ۱ ۳) $\sqrt{2}$ ۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۱۸- دو بار نقطه‌ای q در فاصلهٔ r، نیروی F را به هم وارد می‌کنند، چند درصد از یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم، تا وقتی فاصلهٔ دو بار ۲۵ درصد افزایش یابد، نیرویی که به هم وارد می‌کنند، ۵۲ درصد کاهش یابد؟ (خارج تجربی ۹۷)

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۴۰ ۴) ۷۵

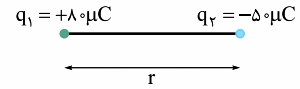
۱۹- نیرویی که دو بار نقطه‌ای $+q$ در فاصلهٔ r به یکدیگر وارد می‌کنند. برابر $F = 640\ N$ است. اگر بار ۲ میکروکولن از یکی کم کرده و همان مقدار را به دیگری اضافه کنیم. نیروی جدید در همان فاصله برابر ۶۰۰ نیوتون می‌شود. بار q چند میکروکولن بوده است؟ (ریاضی ۷۸)

۱) ۱۲ ۲) ۸ ۳) ۶ ۴) ۴

۲۰- دو بار هم‌اندازه و غیرهمنام، در فاصلهٔ معینی از هم نگه داشته شده‌اند و به یکدیگر نیروی F وارد می‌کنند. اگر نیمی از بار یکی را برداشته و به دیگری بدهیم. در همان فاصله، نیرویی که بارها به یکدیگر وارد می‌کنند، برابر می‌شود با:

۱) F　　۲) $\frac{F}{۴}$　　۳) $\frac{۳F}{۴}$　　۴) $\frac{۳F}{۲}$

۲۱- مطابق شکل زیر، دو بار الکتریکی در فاصلهٔ r، نیروی جاذبهٔ F بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر با ثابت‌بودن فاصله، ۲۵ درصد از بار $q_۱$ را به $q_۲$ انتقال دهیم، نیروی جاذبه بین دو بار چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟ (خارج تجربی ۹۸)



۱) ۲۵، کاهش　　۲) ۲۵، افزایش
۳) ۵۵، کاهش　　۴) ۵۵، افزایش

۲۲- دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_۱ = ۲\ \mu C$ و $q_۲ = -۲\ \mu C$، به فاصلهٔ r از یکدیگر قرار دارند، اگر نصف یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم و دو بار را به فاصلهٔ $\frac{r}{۲}$ از هم قرار دهیم. اندازهٔ نیرویی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، در مقایسه با حالت قبل چند برابر می‌شود؟ (خارج تجربی ۸۷)

۱) ۱　　۲) ۳　　۳) $\frac{۱}{۴}$　　۴) $\frac{۱}{۱۶}$

۲۳- دو گلولهٔ فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، از فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، نیروی جاذبهٔ ۴ نیوتون بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر کدام ۳+ میکروکولن خواهد شد. بار اولیهٔ گلوله‌ها برحسب میکروکولن کدام است؟ (ریاضی ۹۴)

۱) ۱۲ و ۶-　　۲) ۱۰ و ۴-　　۳) ۹ و ۳-　　۴) ۸ و ۲-

۲۴- دو کرهٔ فلزی خیلی کوچک و مشابه، دارای بار الکتریکی ناهمنام $q_۱ > ۰$ و $|q_۲| > q_۱$ هستند و در فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری هم قرار دارند و بر هم نیروی الکتریکی ۰/۹ N وارد می‌کنند. اگر کره‌ها را به هم تماس دهیم و دوباره به همان فاصلهٔ قبلی از هم دور کنیم، نیروی الکتریکی ۱/۶ نیوتون به هم وارد می‌کنند. $q_۱$ چند میکروکولن است؟ $(k = ۹\times۱۰^۹\ N.m^۲/C^۲)$ (خارج تجربی ۹۹)

۱) ۱　　۲) ۲　　۳) ۱۰　　۴) ۲۰

۲۵- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان با بارهای $q_۱ = ۴\ nC$ و $q_۲ = -۶\ nC$ بر محور x، به ترتیب در مبدأ مختصات و در مکان $x = ۳۰\ cm$ نگه داشته شده‌اند. این دو کره را با هم تماس می‌دهیم و سپس در همان مکان‌های قبلی قرار می‌دهیم. اندازهٔ نیروی الکتریکی وارد بر هر گوی چند نیوتون تغییر می‌کند؟ آشنایی با کتاب درسی

۱) $-۲/۵\times۱۰^{-۶}$　　۲) $۲/۳\times۱۰^{-۶}$　　۳) $۲/۵\times۱۰^{-۶}$　　۴) $-۲/۳\times۱۰^{-۶}$

۲۶- دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_۱$ و $q_۲ = ۲q_۱$ در فاصلهٔ r از هم قرار دارند و به هم نیروی دافعه وارد می‌کنند. چند درصد از بار $q_۲$ را به $q_۱$ منتقل کنیم تا در همان فاصله، نیروی دافعهٔ بین بارهای الکتریکی بیشینه شود؟ (خارج ریاضی ۹۵)

۱) ۱۵　　۲) ۲۵　　۳) ۴۰　　۴) ۵۰

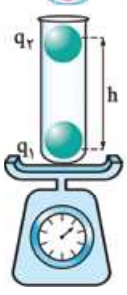
۲۷- دو کرهٔ فلزی مشابه که روی پایه‌های عایقی قرار دارند. دارای بار الکتریکی هستند. اندازهٔ نیروی الکتریکی بین این دو کره با فاصلهٔ d، برابر F است. اگر دو کره را به هم تماس داده و دوباره در همان فاصله قرار دهیم. اندازهٔ نیرو برابر F' می‌شود. کدام رابطه بین F و F' برقرار است؟ (ریاضی ۷۶)

۱) $F > F'$　　۲) $F < F'$
۳) $F = F'$　　۴) بسته به شرایط، هر کدام ممکن است صحیح باشد.

۲۸- در شکل مقابل، دو گوی مشابه به جرم ۳/۶ g و بار یکسان q+ در فاصلهٔ ۱ cm از هم قرار دارند؛ به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چه‌قدر است؟ آشنایی با کتاب درسی

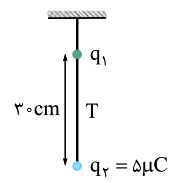
۱) $۱/۲۵\times۱۰^{۱۱}$　　۲) $۱/۲۵\times۱۰^{۸}$
۳) $۲/۵\times۱۰^{۱۱}$　　۴) $۲/۵\times۱۰^{۸}$

۲۹- یک لولهٔ شیشه‌ای قائم به جرم ناچیز و دو گلولهٔ کوچک هر یک به جرم ۱۰ g و بار ۲ μC، مطابق شکل روبه‌رو بر روی یک ترازوی فنری قرار دارند. اگر گلوله‌ها در حال تعادل باشند، فاصلهٔ h چند متر است و ترازوی فنری چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ $(k = ۹\times۱۰^۹\ Nm^۲/C^۲$ ، $g = ۱۰\ N/kg$ و از تمامی اصطکاک‌ها صرف نظر شود.)



۱) ۰/۶ ، ۰/۱
۲) ۰/۶ ، ۰/۱۰۶
۳) ۰/۶ ، ۰/۲
۴) ۰/۶ ، ۰/۲۰۶

۳۰- مطابق شکل مقابل، دو گلولهٔ کوچک باردار با بارهای همنام که جرم هر کدام ۳۰۰ g است با نخ سبکی به هم متصل‌اند و در حال تعادل قرار دارند. اگر اندازهٔ نیروی کشش نخ بین دو گلوله ۴ N باشد، اندازهٔ بار $q_۱$ چند میکروکولن است؟ $(k = ۹\times۱۰^۹\ N.m^۲/C^۲$ ، $g = ۱۰\ N/kg)$

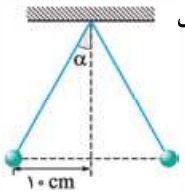


۱) ۱　　۲) ۲
۳) ۴　　۴) ۵

۳۱- دو گلولهٔ کوچک هم‌جرم، یکی دارای بار q و دیگری دارای بار $2q$ را به انتهای دو نخ با طول‌های مساوی بسته و انتهای دیگر نخ‌ها را از یک نقطه می‌آویزیم. زاویهٔ انحراف دو گلوله از وضعیت تعادل را که به ترتیب α و β می‌گیریم، چه رابطه‌ای با هم دارند؟ (ریاضی ۷۸)

۱) $\alpha = \beta$ ۲) $\beta = 2\alpha$ ۳) $\tan\beta = 2\tan\alpha$ ۴) $2\alpha > \beta > \alpha$

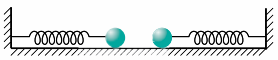
۳۲- دو گلولهٔ مشابه با بار یکسان هر یک به جرم ۲۴ گرم، توسط نخ‌هایی سبک به طول ۲۶ سانتی‌متر آویزان شده‌اند و مطابق شکل در حالت تعادل قرار دارند. بار هر گلوله چند میکروکولن است؟



۱) $\frac{1}{9}$ ۲) $\frac{2}{3}$
۳) ۳ ۴) ۹

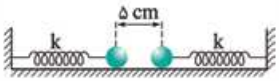
من رو ببخشین که وسط تست‌ها مزاحمتون می‌شم! فقط می‌خواستم بگم که برای حل تست بعدی به فرمولی برای فنر احتیاج دارین که در فیزیک دوازدهم می‌خونین. اگر این فرمول رو نمی‌دونین، بد نیست پس از خوندن صورت تست زیر، به سراغ حل تشریحی اون برین و بعد از یادگرفتن فرمول مورد نظر، تست بعدی رو که مشابه این تسته، خودتون حل کنین.

۳۳- در شکل زیر، ثابت هر یک از فنرها $100\ N/m$ می‌باشد و دو گلولهٔ خنثی و مشابه در حال تعادل، فاصله‌ای برابر $10\ cm$ از یکدیگر دارند. اگر به گلوله‌ها بار الکتریکی یکسان بدهیم، در فاصلهٔ $30\ cm$ از یکدیگر ثابت می‌مانند. اندازهٔ بار هر یک از گلوله‌ها چند میکروکولن است؟ ($k = 9\times10^9\ N.m^2/C^2$ و اصطکاک بین گلوله‌ها و سطح افقی ناچیز است.)



۱) ۱۰ ۲) ۵ ۳) ۲۰ ۴) ۴۰

۳۴- دو گلولهٔ مشابه، به دو فنر مشابه متصل شده و روی سطح افقی بدون اصطکاکی قرار دارند. وقتی فنرها طول عادی خود را دارند. فاصلهٔ دو گلوله از هم ۵ سانتی‌متر است. اگر به هر گلوله بار ۲+ میکروکولن بدهیم. فاصلهٔ آن‌ها از هم ۲ برابر می‌شود. ثابت هر فنر چند نیوتون بر متر است؟



۱) ۱۴۴ ۲) ۲۴۵
۳) ۷۲ ۴) ۲۸۸

آزمون

121-A | **فیزیک** | **صفحه ۶۴**

۳۵- در شکل روبه‌رو با توجه به نیرویی که دو میلهٔ باردار به یکدیگر وارد کرده‌اند و سری الکتریسیتهٔ مالشی داده‌شده در کنار این شکل، میلهٔ آویخته از طناب سبک می‌تواند کدام گزینه باشد؟

۱) میله‌ای چوبی که با کهربا مالش داده شده است.
۲) میله‌ای شیشه‌ای که با موی گربه مالش داده شده است.
۳) میله‌ای پلاستیکی که با پارچهٔ پشمی مالش داده شده است.
۴) میله‌ای سربی که با پوست انسان مالش داده شده است.

۳۶- اگر پس از راه‌رفتن بر روی فرش و دست‌دادن با دوستتان، با انتقال باری در حدود $1\ nC$ به او شوک خفیفی وارد کنید، چند الکترون بین شما و دوستتان انتقال یافته است؟

۱) $1/6\times10^9$ ۲) $6/25\times10^{10}$ ۳) $6/25\times10^9$ ۴) $1/6\times10^{10}$

۳۷- جو زمین پیوسته توسط پروتون‌هایی که از فضا بر زمین می‌بارند، بمباران می‌شود. اگر این پروتون‌ها همگی از جو زمین می گذشتند و به سطح زمین می‌رسیدند، هر متر مربع از سطح زمین در هر ثانیه ۱۵۰۰ پروتون دریافت می‌کرد. در این صورت، کل سطح سیارهٔ ما با چه آهنگی (برحسب میلی‌کولن بر ثانیه) باردار می‌شد؟ (شعاع زمین را $6000\ km$ فرض کنید؛ همچنین، بار الکترون $1/6\times10^{-19}\ C$ و $\pi = 3$ است.)

۱) ۲۵/۹۲ ۲) ۵۱/۸۴ ۳) ۱۰۳/۶۸ ۵) ۲۰۴/۲۴

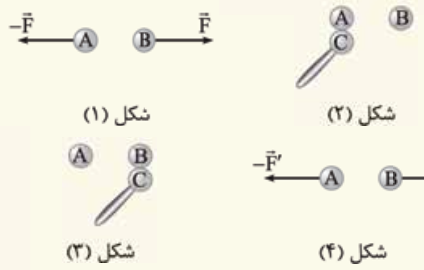
۳۸- دو بار الکتریکی نقطه‌ای ناهمنام q_1 و q_2 در فاصلهٔ d از یکدیگر قرار دارند و با نیروی الکتریکی F یکدیگر را جذب می‌کنند. اگر این دو بار را به اندازهٔ x به یکدیگر نزدیک کنیم، اندازهٔ نیروی جاذبهٔ بین آن‌ها $\frac{5}{4}F$ افزایش می‌یابد. حاصل $\frac{x}{d}$ کدام است؟

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) $\frac{1}{3}$ ۳) $\frac{1}{4}$ ۴) $\frac{1}{9}$

۳۹- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان با بارهای $q_1 = 4\,nC$ و $q_2 = -6\,nC$ بر محور x، به ترتیب در مبدأ مختصات و در مکان $x = 30\,cm$ نگه داشته شده‌اند. این دو کره را با هم تماس می‌دهیم و سپس در همان مکان‌های قبلی قرار می‌دهیم. تغییر بردار نیروی الکتریکی وارد بر بار q_2 (برحسب نیوتون) کدام است؟

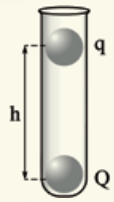
۱) $-2/3\times10^{-6}\,\vec{i}$ ۲) $-2/5\times10^{-6}\,\vec{i}$ ۳) $2/5\times10^{-6}\,\vec{i}$ ۴) $2/3\times10^{-6}\,\vec{i}$

۴۰- دو کرهٔ فلزی A و B بارهای الکتریکی یکسانی دارند و وقتی همانند شکل (۱) در فاصلهٔ معینی از یکدیگر نگه داشته می‌شوند، هر یک به دیگری نیرویی به اندازهٔ F وارد می‌کند. کرهٔ رسانای بدون بار C را که هم‌اندازه با دو کرهٔ A و B است و به دستهٔ عایقی متصل است، ابتدا همانند شکل (۲) با کرهٔ A و سپس همانند شکل (۳) با کرهٔ B تماس می‌دهیم و جدا می‌کنیم. در شکل (۴)، دو کرهٔ A و B در همان فاصلهٔ اولیه از هم قرار دارند و به یکدیگر نیرویی به اندازهٔ F' وارد می‌کنند. نسبت $\frac{F'}{F}$ کدام است؟



۱) $\frac{1}{4}$ ۲) $\frac{1}{8}$ ۳) $\frac{3}{4}$ ۴) $\frac{3}{8}$

۴۱- در شکل زیر، بار الکتریکی $Q+$ در ته یک لولهٔ آزمایش قرار دارد و بار $q+$ به وزن W در ارتفاع h، معلق و در حال تعادل است. ارتفاع h برابر کدام گزینه است؟ (k ثابت کولن است.)

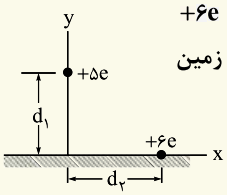


۱) $\frac{kqQ}{W}$ ۲) $\sqrt{\frac{kqQ}{2W}}$ ۳) $\sqrt{\frac{kqQ}{W}}$ ۴) $\sqrt{\frac{2kqQ}{W}}$

۴۲- دو گلولهٔ مشابه با بار الکتریکی همنام، توسط دو نخ هم طول از یک نقطه آویزان‌اند و در حالت تعادل، فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر برابر r است. اگر بار هر یک از دو گلوله ۲ برابر شود، فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر .....

۱) تغییری نمی‌کند. ۲) ۲ برابر می‌شود. ۳) کم‌تر از ۲ برابر می‌شود. ۴) بیشتر از ۲ برابر می‌شود..

۴۳- همانند شکل روبه‌رو، بار نقطه‌ای $5e+$ در فاصلهٔ $d_1 = 48\,mm$ بالای سطح زمین نگه داشته شده است و بار نقطه‌ای $6e+$ بر سطح زمین در فاصلهٔ افقی $d_2 = 64\,mm+$ از بار اول قرار دارد. مؤلفهٔ افقی نیروی الکتریکی وارد بر باری که بر سطح زمین قرار دارد، چند نیوتون است؟ ($e = 1/6\times10^{-19}\,C$)



۱) $8/64\times10^{-25}$ ۲) $1/08\times10^{-25}$ ۳) $8/64\times10^{-24}$ ۴) $1/08\times10^{-24}$

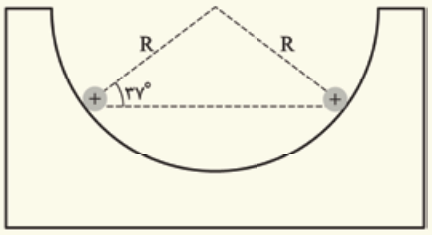
۴۴- دو گلولهٔ فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، از فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، نیروی جاذبهٔ ۱۶ N بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر کدام $3\,\mu C+$ خواهد شد. بار اولیهٔ گلوله‌ها برحسب میکروکولن، کدام است؟ ($k = 9\times10^9\,N.m^2/C^2$)

۱) ۲۰ و ۸− ۲) ۱۰ و ۱۶− ۳) ۱۶ و ۱۰− ۴) ۸ و ۲۰−

۴۵- دو بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند. اگر نیمی از بار یکی را برداشته و به دیگری بدهیم و فاصلهٔ دو بار از یکدیگر را نصف کنیم، اندازهٔ نیروی الکتریکی‌ای که بارها به هم وارد می‌کنند، چند برابر می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) $\frac{1}{2}$ ۴) $\frac{3}{4}$

۴۶- دو گلولهٔ کوچک و مشابه به جرم $270\,g$، دارای بارهای الکتریکی مساوی‌اند و همانند شکل روبه‌رو در یک سطح بدون اصطکاک که به شکل نیم‌کره‌ای به شعاع $10\,cm$ است، در حال تعادل‌اند و خط واصل آن‌ها، افقی است. بار هر یک از گلوله‌ها چند میکروکولن است؟ ($k = 9\times10^9\,N.m^2/C^2, g = 10\,N/kg, \sin37^\circ = 0/6$)



۱) ۰/۳۲ ۲) ۳/۲ ۳) ۰/۱۶ ۴) ۱/۶

۴۷- دو ذره با بارهای $q+$ و $4q+$ در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند و به یکدیگر نیروی الکتریکی F وارد می‌کنند. مقداری از بار یکی را به دیگری منتقل می‌کنیم؛ به گونه‌ای که در همان فاصلهٔ قبلی، اندازهٔ نیروی الکتریکی‌ای که به یکدیگر وارد می‌کنند، بیشینه می‌شود. اندازهٔ این نیرو برابر کدام گزینه است؟

۱) $\frac{25}{16}F$ ۲) $\frac{25}{4}F$ ۳) $\frac{5}{2}F$ ۴) $\frac{5}{4}F$

پاسخ‌نامهٔ تمرین‌های تشریحی

۱-۱) درست **۱-۲)** نادرست

۱-۳) نادرست (مواظب باشید «هسته» را با «اتم» اشتباه نگیرید! اتم، خنثی است، اما هسته دارای بار مثبت است.)

۲-۱) الکترون‌خواهی **۲-۲)** ترازوی پیچشی **۲-۳)** یکسان (قانون سوم نیوتون را فراموش نکنید!)

۳-۱) اندازهٔ نیرویی که دو بار نقطه‌ای به یکدیگر وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب اندازهٔ بارها متناسب است و با مربع فاصلهٔ دو بار نسبت وارون دارد.

۳-۲) طبق اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی، بار الکتریکی یک جسم، مضرب درستی از بار یک الکترون است.

۳-۳) طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، جمع جبری بار الکتریکی در یک دستگاه منزوی پایسته است.

۴- الف) بر اثر مالش جسم A و B، جسم A دارای بار مثبت و جسم B دارای بار منفی خواهد شد. مالش جسم C و D هم سبب می‌شود جسم C دارای بار مثبت و جسم D دارای بار منفی شود. به این ترتیب چون A و C دارای بار مثبت می‌شوند، یکدیگر را می‌رانند.

ب) جسم A و D، چون بیشترین فاصله را از هم در سری دارند.

۵- نیروی الکتریکی با مربع فاصله، نسبت وارون دارد؛ پس باید فاصله را نصف کرد.

۶- اگر بارها را ابتدا $+q$ و $-q$ فرض کنیم، ۲۵ درصد یکی از بارها (مثلاً بار مثبت)، برابر $+\frac{۱}{۴}q$ می‌شود که وقتی آن را از بار مثبت برداریم، مقدار این بار برابر $+q-\frac{۱}{۴}q=+\frac{۳}{۴}q$ می‌شود. وقتی بار $+\frac{۱}{۴}q$ را به بار منفی بدهیم، این بار برابر می‌شود با: $-q+\frac{۱}{۴}q=-\frac{۳}{۴}q$

اکنون می‌توان نوشت:

$$\frac{F'}{F}=\frac{k\frac{(\frac{۳}{۴}q)(\frac{۳}{۴}q)}{(\frac{r}{۲})^۲}}{k\frac{qq}{r^۲}}=\frac{۹}{۴}$$

۷-۱) درست (به علامت بردار در بالای نیروها توجه کنید!)

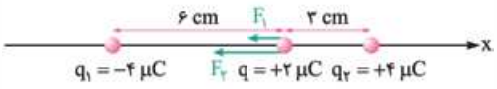
۷-۲) درست

۷-۳) نادرست (در این حالت بزرگی نیروی خالص برابر $\sqrt{۲}F$ است.)

۸- الف) از آن‌جایی که بار $q_۱$، بار $q_۳$ را جذب می‌کند، باید بار $q_۲$ آن را دفع کند تا امکان صفرشدن نیروی برایند باشد؛ به این ترتیب بار $q_۲$ باید منفی باشد.

ب) چون بار $q_۱$ نسبت به بار $q_۲$، در فاصلهٔ دورتری از بار $q_۳$ قرار دارد، باید بار $q_۱$ بیشتر از قدرمطلق بار $q_۲$ باشد تا اندازهٔ نیروهایی که این دو بار به بار $q_۳$ وارد می‌کنند، بتوانند هم‌اندازه باشند تا برایندشان صفر شود.

۹- با توجه به شکل، می‌توان نوشت:

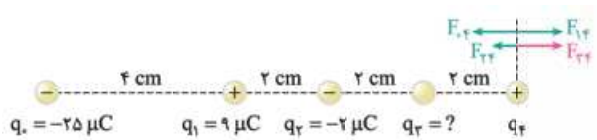


$$F_۱=k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}=۹\times۱۰^۹\times\frac{۴\times۱۰^{-۶}\times۲\times۱۰^{-۶}}{(۰/۰۶)^۲}=۲۰\ N$$

$$F_۲=۹\times۱۰^۹\times\frac{۴\times۱۰^{-۶}\times۲\times۱۰^{-۶}}{(۰/۰۳)^۲}=۸۰\ N$$

$$F_T=F_۱+F_۲=۲۰+۸۰=۱۰۰\ N$$

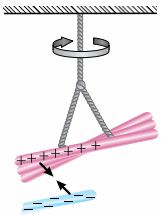
۱۰- یادتان باشد که وقتی می‌خواهیم یک بار در حال تعادل الکتریکی باشد، علامت خود آن بار اهمیتی ندارد و در شکل زیر، آن را مثبت فرض کرده‌ایم. در این شکل نیروهای وارد بر بار $q_۴$ را می‌بینید؛ البته فعلاً به نیروی $F_{۳۴}$ کاری نداشته باشید! ابتدا اندازهٔ دو نیرو را به کمک قانون کولن محاسبه می‌کنیم:



$$F_{۰۴}=k\frac{|q_۰||q_۴|}{r^۲}=۹\times۱۰^۹\times\frac{۲۵\times۱۰^{-۶}\times q_۴}{(۰/۱)^۲}=۲۲/۵\times۱۰^۶q_۴$$

$$F_{۱۴}=۹\times۱۰^۹\times\frac{۹\times۱۰^{-۶}q_۴}{(۰/۰۶)^۲}=۲۲/۵\times۱۰^۶q_۴$$

۱- گزینهٔ ۳ یادتان باشد که طبق قانون سوم نیوتون (کنش ـ واکنش)، نیروهایی که دو جسم به یکدیگر وارد می‌کنند، همیشه در خلاف جهت یکدیگرند؛ به این ترتیب گزینهٔ (۳) باید به صورت روبه‌رو اصلاح شود.



۲- گزینهٔ ۲ ابتدا به صورت تست توجه کنید! چون شیشه در سری الکتریسیتهٔ مالشی بالاتر از موی گربه قرار دارد. وقتی گربه‌ای خود را به شیشه می‌مالد، شیشه بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند. اکنون باید ببینیم در کدام گزینه بار ایجادشده در جسمی که نام برده شده مثبت است. در گزینهٔ (۱) چون پارچهٔ پشمی در سری الکتریسیتهٔ مالشی پایین‌تر از موی انسان است، بار ایجادشده در آن منفی است، در گزینهٔ (۲)، چون نایلون در سری بالاتر از سرب است، بار آن مثبت خواهد شد و همین گزینه درست است. بررسی دو گزینهٔ دیگر را هم به خودتان می‌سپاریم!

۳- گزینهٔ ۴ یکی از اهداف فیزیک، به دست آوردن یک دید کمی از دنیای اطراف است ...

یعنی باید همهٔ مقدارهای عددی را حفظ کنیم؟!

همه را نه! ... اما بعضی‌ها را که به ما دیدی از یکاها می‌دهند، باید به خاطر داشته باشید؛ البته در چنین تست‌هایی از گزینه‌های نزدیک به هم استفاده نمی‌شود. باید بدانید که باری که در یک آذرخش به زمین منتقل می‌شود بار بزرگی است و به همین دلیل، گزینه‌های (۱) تا (۳) نمی‌توانند درست باشند.

۴- گزینهٔ ۲ کوانتیده‌بودن یک کمیت لزوماً به این معنی نیست که مقدار آن کمیت، فقط می‌تواند با عددی صحیح بیان شود؛ به عنوان نمونه بار الکترون (بار بنیادی) برابر $1/6\times10^{-19}$ C است که اگر آن را به صورت ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱۶ C بنویسیم(!) به خوبی می‌بینید که با یک عدد صحیح بیان نمی‌شود. کوانتیده‌بودن بار، چنان که گفته بودیم به این معنی است که بار الکتریکی همیشه مضرب صحیحی از بار بنیادی است؛ یعنی در رابطهٔ $q=\pm ne$ باید همیشه n یک عدد صحیح باشد. در مورد گزینهٔ (۳) باید توجه کنید که این گزینه بیانگر اصل پایستگی بار است؛ نه اصل کوانتیده‌بودن بار!

۵- گزینهٔ ۲ آشکار است که چون بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی منفی شده است، حتماً این میله تعدادی الکترون اضافی دریافت کرده است؛ در نتیجه پارچهٔ پشمی باید همین تعداد الکترون از دست داده باشد. برای محاسبهٔ این تعداد، کافی است به صورت زیر بنویسیم:

$$|q|=ne \Rightarrow n=\frac{|q|}{e}=\frac{12/8\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}}=8\times10^{10}$$

۶- گزینهٔ ۴ با توجه به این‌که منظور از عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است، می‌توان بار هسته را به راحتی محاسبه کرد:

$$q=+ne=+Ze=92\times1/6\times10^{-19}\ C=1/472\times10^{-17}\ C$$

۷- گزینهٔ ۴ بار هستهٔ اتم کربن را می‌توان مثل تست قبل محاسبه کرد:

$$q=ne=6\times1/6\times10^{-19}=9/6\times10^{-19}\ C=9/6\times10^{-19}\ \cancel{C}\times\frac{1\ \mu C}{10^{-6}\ \cancel{C}}\Rightarrow q=9/6\times10^{-13}\ \mu C$$

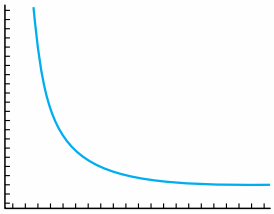
امیدوارم توجه کرده باشید که در مورد هلیم، از بار اتم صحبت شده است؛ نه بار هسته! *(با این‌طور تست‌ها، فقط می‌خواهم دقت شما رو در خواندنِ واژه به واژهٔ تست‌های فیزیک بالا ببرم!)* می‌دانید که اتم به هر تعداد که پروتون در هسته‌اش دارد، به همان تعداد هم الکترون دارد و به همین دلیل خنثی است و بار الکتریکی‌اش صفر است.

۸- گزینهٔ ۴ همه می‌دانند که با توجه به قانون سوم نیوتون (کنش و واکنش)، نیرویی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، همیشه هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگر است. چون در صورت تست در بالای F نماد بردار گذاشته شده است (یعنی $\vec{F}$)، برای بیان جهت قرینهٔ دو نیرو، باید یک علامت منفی در پشت نیروی وارد بر بار دیگر گذاشت و آن را به صورت $-\vec{F}$ نوشت.

۹- گزینهٔ ۳ با توجه به این‌که بار هر پروتون از نظر اندازه برابر با بار الکترون (بار بنیادی) است، می‌توان نوشت:

$$F=k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}=9\times10^9\times\frac{(1/6\times10^{-19})(1/6\times10^{-19})}{(2/4\times10^{-15})^2}=40\ N$$

۱۰- گزینهٔ ۱ یادتان باشد که وقتی کمیتی با مربع کمیتی دیگر نسبت وارون دارد، نموداری که ارتباط این دو کمیت را نشان می‌دهد، شکلی کلی به صورت روبه‌رو دارد.



۱۱- گزینهٔ ۲ همه می‌دانید که براساس قانون کولن، اندازهٔ نیروی الکتریکی‌ای که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، با حاصل‌ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت وارون دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که اندازهٔ نیرو $\frac{۲\times۲}{(\frac{۱}{۲})^۲}=۱۶$ برابر خواهد شد.

۱۲- گزینهٔ ۲ اندازهٔ نیروی الکتریکی با مربع فاصلهٔ دو بار نسبت وارون دارد؛ به این ترتیب اگر اندازهٔ نیرو در دو حالت را با F و F' و فاصلهٔ دو بار را در دو حالت با r و r' نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{F'}{F}=\frac{r^۲}{r'^۲}$$

وقتی در مورد اندازهٔ کمیتی از واژهٔ «درصد» استفاده می‌شود، مقدار اولیهٔ آن کمیت را برابر ۱۰۰ واحد فرض می‌کنیم و از نسبت اندازه‌ها در دو حالت کمک می‌گیریم.

در این تست، چون در مورد فاصلهٔ دو بار از واژهٔ درصد استفاده شده است، فاصلهٔ اولیهٔ دو بار را می‌توان ۱۰۰ واحد فرض کرد:

$$\frac{۴F}{F}=\frac{(۱۰۰)^۲}{r'^۲}\Rightarrow r'=۵۰$$

می‌بینید که فاصلهٔ دو بار که ابتدا برابر ۱۰۰ واحد فرض شده بود، اکنون به ۵۰ واحد رسیده است؛ یعنی ۵۰ درصد کاهش یافته است.

۱۳- گزینهٔ ۲ باز هم مثل تست قبل، از نسبت نیروها در دو حالت استفاده می‌کنیم. چون فاصلهٔ بین دو بار را ۲۰ درصد افزایش داده‌ایم، اگر مقدار اولیهٔ آن را ۱۰۰ واحد فرض کنیم، مقدار ثانویه‌اش به ۱۲۰ = ۲۰ + ۱۰۰ واحد می‌رسد. چون در مورد نیروی الکتریکی هم از واژهٔ درصد استفاده شده است، مقدار اولیهٔ نیرو را هم ۱۰۰ واحد می‌گیریم و مقدار ثانویه‌اش را به دست می‌آوریم:

$$\frac{F'}{F}=(\frac{r}{r'})^۲\Rightarrow\frac{F'}{۱۰۰}=(\frac{۱۰۰}{۱۰۰+۲۰})^۲\Rightarrow F'=\frac{۶۲۵}{۹}\simeq ۷۰$$

به این ترتیب، نیرو از ۱۰۰ واحد به مقدار تقریبی ۷۰ واحد رسیده؛ یعنی ۳۰ درصد کاهش یافته است.

۱۴- گزینهٔ ۲ کافی است نسبت اندازهٔ نیرو در حالت دوم به حالت اول را محاسبه کنیم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{k\frac{|q'_۱||q'_۲|}{r'^۲}}{k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}}=\frac{\frac{|۳q_۱|\times|۳q_۲|}{(۳r)^۲}}{\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}}=۱$$

یک روش دیگر برای قضاوت در مورد «چند برابر شدن یک کمیت» از روی یک فرمول، این است که روی هر یک از کمیت‌های موجود در فرمول که تغییر کرده‌اند، چند برابر شدنشان را یادداشت کنیم و سپس به اقتضای فرمول، آن‌ها را در هم ضرب یا بر هم تقسیم کنیم. (در فصل بعد خواهیم دید که این روش، چگونه به طور شگفت‌انگیزی حل برخی تست‌ها را ساده می‌کنند!)

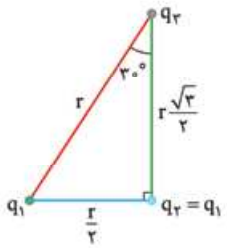
$$F=\underbrace{k}_{\text{ثابت}}\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

$q_۱$ و $q_۲$: ۳ برابر شده‌اند ⇒ $۳\times۳=۹$ برابر

r: ۳ برابر شده ⇒ $r^۲$: $۳^۲=۹$ برابر

$\frac{۹}{۹}=۱$ ⇒ F تغییر نمی‌کند.

۱۵- گزینهٔ ۱ برای حل این تست، ابتدا به کمی اطلاعات سادهٔ هندسی نیاز داریم! باید بدانید که در مثلث قائم‌الزاویه، ضلع روبه‌رو به زاویهٔ ۳۰°، نصف وتر است؛ هم‌چنین ضلع مجاور به زاویهٔ ۳۰°، $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ برابر وتر است. *(البته اگه کسی اینا رو نمونه، می‌تونه به کمک سینوس و کسینوس زاویهٔ ۳۰° به همین نتیجه برسه.)* با این توضیحات، در شکل مقابل می‌بینید که طول وتر را r نامیده‌ایم و دو ضلع دیگر را برحسب r مشخص کرده‌ایم. با استفاده از قانون کولن و برابری دو نیروی مطرح‌شده در ابتدای تست، می‌توان نوشت:



این نیرو درصورت تست $F_۲$ نامیده شده است

$$F_{۱۲}=F_{۲۳}\Rightarrow k\frac{|q_۱||q_۲|}{(\frac{r}{۲})^۲}=k\frac{|q_۲||q_۳|}{(\frac{r\sqrt{۳}}{۲})^۲}\Rightarrow|q_۳|=۳|q_۱|$$

این نیرو درصورت تست $F_۱$ نامیده شده است

اکنون می‌توان نسبت خواسته‌شده را محاسبه کرد:

$$\frac{F_{۱۳}}{F_{۱۲}}=\frac{k\frac{|q_۱||q_۳|}{r^۲}}{k\frac{|q_۱||q_۲|}{(\frac{r}{۲})^۲}}=\frac{|q_۳|}{۴|q_۲|}=\frac{۳|q_۱|}{۴|q_۱|}=\frac{۳}{۴}$$

۱۶- گزینهٔ ۲ برای حل این تست، علاوه بر قانون کولن به قانون دوم نیوتون هم نیاز داریم! با توجه به این‌که جرم و شتاب ذرهٔ اول را داریم، می‌توانیم نیروی وارد بر آن را به دست آوریم:

$$F_{21} = m_1 a_1 = 6/3\times10^{-8}\times7 = 4/41\times10^{-7}\ N$$

با توجه به این‌که اندازهٔ نیروی وارد بر ذرهٔ دوم هم همین قدر است، می‌توان جرم آن را به دست آورد:

$$F_{12} = m_2 a_2 \Rightarrow 4/41\times10^{-7} = m_2\times9 \Rightarrow m_2 = 4/9\times10^{-8}\ kg$$

با استفاده از قانون کولن و با توجه به برابری بار دو ذره، می‌توان اندازهٔ این بار را نیز به دست آورد: *(یه وقت وسوسه نشین از ماشین حساب استفاده کنیا! عددهای تست‌ها طوری داده می‌شن که با ساده کردنشون بتونین به جواب برسین!)*

$$F = k\frac{|q||q|}{r^2} \Rightarrow 4/41\times10^{-7} = 9\times10^9\times\frac{q^2}{(3/2\times10^{-3})^2}$$

$$q^2 = \frac{(3/2\times10^{-3})^2\times 4/41\times10^{-7}}{9\times10^9} \Rightarrow q = 2/24\times10^{-11}\ C$$

۱۷- گزینهٔ ۲ فرض کنیم باری که از یک کره برداشته شده و به کرهٔ دیگر افزوده شده است، x میکروکولن باشد؛ در این صورت می‌توان نوشت:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 45 = \frac{9\times10^9(2-x)\times10^{-6}(2+x)\times10^{-6}}{(2\times10^{-2})^2} \Rightarrow 4-x^2 = 2 \Rightarrow x = \sqrt{2}$$

۱۸- گزینهٔ ۲ دیده بودیم که وقتی در مورد اندازهٔ کمیتی از واژهٔ «درصد» استفاده می‌شد، مقدار اولیهٔ آن کمیت را برابر ۱۰۰ واحد فرض می‌کردیم و از نسبت اندازه‌ها در دو حالت کمک می‌گرفتیم. در این تست در مورد اندازهٔ سه کمیت، از عبارت درصد استفاده شده است: اندازهٔ بار، فاصلهٔ دو بار و اندازهٔ نیرویی که به هم وارد می‌کنند؛ از این‌رو مقدار اولیهٔ بار، فاصله و اندازهٔ نیرو را ۱۰۰ واحد می‌گیریم. باری را هم که از یکی برداشته و به دیگری افزوده‌ایم، با x نشان می‌دهیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{k\frac{|q_1'||q_2'|}{r'^2}}{k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}} \Rightarrow \frac{100-52}{100} = \frac{(100-x)(100+x)}{(100+25)^2} \Rightarrow \frac{48}{100} = \frac{100^2-x^2}{125^2} \Rightarrow \overbrace{0/48\times125\times125}^{7500} = 10000-x^2$$

$$\Rightarrow x^2 = 10000-7500 = 2500 \Rightarrow x = 50$$

چون مقدار اولیهٔ بار را ۱۰۰ واحد گرفته بودیم و x برابر ۵۰ به دست آمد، می‌توانیم بگوییم که باید ۵۰ درصد از یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم تا خواستهٔ تست برآورده شود.

۱۹- گزینهٔ ۲ بیایید دو بار از قانون کولن استفاده کنیم؛ فقط توجه کنید که چون بار q را برحسب میکروکولن می‌خواهیم، می‌توانیم از همان اول فرض کنیم q برحسب میکروکولن است که در این صورت باید مقدار آن را در SI، برابر $q\times10^{-6}$ کولن در رابطه قرار دهیم:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} 640 = \dfrac{k(q\times10^{-6})(q\times10^{-6})}{r^2} \\ 600 = \dfrac{k(q\times10^{-6}-2\times10^{-6})(q\times10^{-6}+2\times10^{-6})}{r^2} \end{cases}$$

چون فاصلهٔ دو بار (r) را نمی‌دانیم، طبیعی است به فکر تقسیم دو طرف رابطه‌های بالا بر یکدیگر بیفتیم:

$$\frac{640}{600} = \frac{q^2\times10^{-12}}{q^2\times10^{-12}-4\times10^{-12}} \Rightarrow \frac{16}{15} = \frac{q^2}{q^2-4} \Rightarrow 16q^2-64 = 15q^2 \Rightarrow q^2 = 64 \Rightarrow q = 8\ \mu C$$

۲۰- گزینهٔ ۲ در این تست، این‌که بارها غیرهمنام‌اند، خیلی مهم است!

ببخشین! ... مگه توو قانون کولن، قدرمطلق بارها رو نمی‌ذاشتیم؟! .... پس علامت بارها چه اهمیتی داره؟!

اگه یه‌کم صبر کنین، متوجه میشین چرا علامت بارها مهمه! بیایید بارها را $+q$ و $-q$ بنامیم. اندازهٔ نیرویی که این دو به هم وارد می‌کنند، به صورت زیر به دست می‌آید:

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

وقتی نیمی از یک بار (مثلاً بار مثبت؛ یعنی $+\frac{q}{2}$) را برمی‌داریم و آن را به بار دیگر (یعنی $-q$) می‌دهیم، نصف بار دیگر را هم خنثی می‌کنیم! این‌جا است که علامت بارها اهمیت پیدا می‌کند! در حقیقت بار $-q$ پس از این عمل، برابر می‌شود با:

$$-q+\frac{q}{2} = -\frac{q}{2}$$

یک بار دیگر از قانون کولن استفاده می‌کنیم:

$$F' = \frac{k|q_1'||q_2'|}{r^2} = \frac{k\frac{q}{2}\cdot\frac{q}{2}}{r^2} = \frac{1}{4}\times\frac{kq^2}{r^2} = \frac{1}{4}F$$

۲۱- گزینهٔ ۳ ۲۵ درصد از بار q_1 برابر می‌شود با:

$$0/25q_1 = 0/25\times(+80) = +20\ \mu C$$

به این ترتیب بار ثانویهٔ هر کدام، به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

$$q_1' = 80-20 = +60\ \mu C$$

$$q_2' = -50+20 = -30\ \mu C$$

و بالأخره کافی است نسبت اندازهٔ نیرو در دو حالت را بنویسیم. چون در مورد اندازهٔ نیرو از واژهٔ درصد استفاده شده است، اندازهٔ نیروی اولیه را طبق معمول ۱۰۰ واحد می‌گیریم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_1'||q_2'|}{|q_1||q_2|} \Rightarrow \frac{F'}{100} = \frac{60\times30}{80\times50} \Rightarrow F' = 45$$

می‌بینید که اندازهٔ نیرو از ۱۰۰ واحد به ۴۵ واحد رسیده است و این، یعنی $100-45=55$ درصد کاهش اندازهٔ نیرو.

۲۲- گزینهٔ ۱ باز هم توجه شما را به این نکته جلب می‌کنم که وقتی دو بار ناهمنام‌اند، وقتی نصف یکی را بر می‌داریم و به دیگری می‌دهیم، نصف دیگری را خنثی می‌کنیم:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} F = \dfrac{k\times2\times2}{r^2} \\ F' = \dfrac{k\times1\times1}{(\frac{r}{2})^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{\frac{k\times1\times1}{(\frac{r}{2})^2}}{\frac{k\times2\times2}{r^2}} = 1$$

۲۳- گزینهٔ ۲ با استفاده از بار گلوله‌ها پس از تماس با یکدیگر، می‌توان مجموع بار اولیهٔ آن‌ها را به دست آورد:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1+q_2}{2} = 3 \Rightarrow q_1+q_2 = 6\ \mu C$$

بد نیست گزینه‌ها را هم زیر نظر داشته باشیم! می‌بینید که حواس طراح جمع بوده و گزینه‌ها را به گونه‌ای داده است که در همگی، مجموع بارها برابر $6\ \mu C$ می‌شود! اکنون وقت آن است که پیش از تماس کره‌ها، به کمک قانون کولن، حاصل‌ضرب بارها را نیز بیابیم:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 4 = 9\times10^9\frac{|q_1\times10^{-6}||q_2\times10^{-6}|}{0/3^2} \Rightarrow |q_1||q_2| = 40\ \mu C^2$$

حالا دیگر می‌توان با یک لبخند پیروزمندانه به سراغ گزینه‌ها رفت! می‌بینید که تنها در گزینهٔ (۲) حاصل‌ضرب قدرمطلق بارها برابر ۴۰ می‌شود.

اگه نمی‌خواستیم از گزینه‌ها استفاده کنیم باید چی کار می‌کردیم؟!

می‌توانستید از معادلهٔ $q_1+q_2=6\ \mu C$ استفاده کنید و q_2 را برابر $6-q_1$ به دست آورید و آن را در معادلهٔ دوم بگذارید:

$$|q_1||6-q_1| = 40 \Rightarrow q_1(6-q_1) = \pm40 \Rightarrow 6q_1-q_1^2 = \pm40 \Rightarrow \begin{cases} q_1^2-6q_1+40=0 \\ q_1^2-6q_1-40=0 \end{cases}$$

می‌بینید که به دو معادلهٔ درجهٔ ۲ می‌رسیم که اگر زحمت بکشید و آن‌ها را حل کنید. اولی جوابی ندارد و دومی دارای دو ریشه است. البته قبول دارید که این روش، برای پاسخ به چنین تستی وقت‌گیر است و بهتر است از امتحان گزینه‌ها استفاده کنیم.

۲۴- گزینهٔ ۲ پیش از تماس دو کره می‌توان نوشت:

$$F = k\frac{q_1|q_2|}{r^2} \Rightarrow 0/9 = 9\times10^9\times\frac{q_1\times10^{-6}\times|q_2|\times10^{-6}}{0/6^2} \Rightarrow q_1|q_2| = 36\ \mu C^2$$

پس از تماس دو کره، بار هر یک برابر $\frac{q_1+q_2}{2}$ می‌شود که با توجه به منفی‌بودن بار q_2 می‌توان این عبارت را به صورت $\frac{q_1-|q_2|}{2}$ نوشت. در این حال، قانون کولن را دوباره می‌نویسیم؛ فقط باید توجه کنید که عبارت $\frac{q_1-|q_2|}{2}$ به دلیل بیشتربودن قدرمطلق بار q_2 نسبت به بار q_1، کلاً منفی است و چون در قانون کولن، قدرمطلق بار را می‌گذاریم، آن را به شکل $\frac{|q_2|-q_1}{2}$ می‌نویسیم که عبارتی مثبت است:

$$1/6 = 9\times10^9\times\frac{(\frac{|q_2|\times10^{-6}-q_1\times10^{-6}}{2})^2}{0/6^2} \Rightarrow |q_2|-q_1 = 16 \Rightarrow |q_2| = 16+q_1$$

در تست قبل با اتکا به گزینه‌ها از حل معادله‌ها فرار کردیم؛ اما در این تست چنین فراری امکان‌پذیر نیست! با استفاده از حاصل‌ضرب بارها که به دست آوردیم، می‌توان نوشت:

$$q_1|q_2| = 36 \Rightarrow q_1(16+q_1) = 36 \Rightarrow q_1^2+16q_1-36=0$$

و بالأخره یا باید این معادلهٔ درجهٔ ۲ را حل کنیم یا گزینه‌ها را در این معادله امتحان کنیم؛ در هر صورت، جواب قابل قبول این معادله $2\ \mu C$ است.

۲۵- گزینهٔ ۴ پس از تماس دو گوی، بار هر کدام به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4 + (-6)}{2} = -1\ nC$$

با استفاده از قانون کولن، می‌توان اندازهٔ نیروی الکتریکی وارد بر هر گوی را قبل و پس از تماس گوی‌ها به دست آورد:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{(4\times10^{-9})(6\times10^{-9})}{(0/3)^2} = 2/4\times10^{-6}\ N$$

$$F' = k\frac{|q_1'||q_2'|}{r'^2} = 9\times10^9 \times \frac{(1\times10^{-9})(1\times10^{-9})}{(0/3)^2} = 0/1\times10^{-6}\ N$$

تغییر اندازهٔ نیروی الکتریکی را هم می‌توان به صورت مقابل محاسبه کرد: $\text{تغییر اندازهٔ نیرو} = F' - F = 0/1\times10^{-6} - 2/4\times10^{-6} = -2/3\times10^{-6}\ N$

۲۶- گزینهٔ ۲ توجه دارید که مجموع بارها ثابت و برابر $2q_1 + q_1 = 3q_1$ است. از درس‌های ریاضی خود باید بدانید که وقتی مجموع دو کمیت ثابت است، حاصل‌ضربشان زمانی بیشینه است که با هم برابر باشند؛ بنابراین باید بار نهایی هر کدام از دو بار برابر $\frac{3q_1}{2}$ بشود. چون درصد تغییر بار q_2 را از ما خواسته است، نسبت دو مقدار این بار را می‌نویسیم و طبق معمول، مقدار اولیه‌اش را ۱۰۰ واحد فرض می‌کنیم:

$$\frac{q_2'}{q_2} = \frac{\frac{3q_1}{2}}{2q_1} \Rightarrow \frac{q_2'}{100} = \frac{3}{4} \Rightarrow q_2' = 75$$

چون بار q_2 از ۱۰۰ واحد به ۷۵ رسیده است، باید ۲۵ درصد کاهش یافته باشد.

۲۷- گزینهٔ ۴ حتماً توجه کرده‌اید که در این تست، از اندازه و علامت بار کره‌ها پیش از تماس با یکدیگر، هیچ اطلاعی نداریم؛ از این‌رو باید به سراغ گزینه‌ها برویم و ببینیم می‌توانیم نمونه‌ای از درستی هر کدام بیابیم یا خیر. به عنوان مثال، اگر بار اولیهٔ دو کره، هم‌اندازه و ناهمنام باشد، پس از تماس، کره‌ها خنثی می‌شوند و نیرویی به یکدیگر وارد نمی‌کنند. این مثال، نمونه‌ای از برقراری گزینهٔ (۱) $(F > F')$ است. به عنوان مثالی از برقراری گزینهٔ (۳) هم می‌توان حالتی را در نظر گرفت که بار اولیهٔ کره‌ها هم‌اندازه و همنام باشد. در این حالت پس از تماس، بار کره‌ها تغییری نمی‌کند و اندازهٔ نیرو هم ثابت می‌ماند. $(F = F')$ در مورد گزینهٔ (۲) هم می‌توان حالتی را در نظر گرفت که بار اولیهٔ کره‌ها غیرهم‌اندازه و همنام باشد. در این حالت چون پس از تماس، بار کره‌ها برابر می‌شود. حاصل‌ضرب بارها بیشینه می‌شود و اندازهٔ نیرویی که به یکدیگر وارد می‌کنند، بیش از حالت اولیه خواهد بود. $(F < F')$

۲۸- گزینهٔ ۱ چنان‌که در شکل روبه‌رو می‌بینید، به گوی بالایی دو نیرو وارد می‌شود؛ یکی وزن آن و دیگری نیروی دافعه‌ای که گوی پایینی به آن وارد می‌کند. برای این‌که این گوی در حالت تعادل باشد، باید اندازهٔ این دو نیرو برابر باشد:

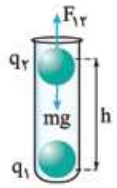
$$F = k\frac{q.q}{r^2} = mg$$

$$q^2 = \frac{mgr^2}{k} \Rightarrow q = r\sqrt{\frac{mg}{k}} \Rightarrow q = 10^{-2}\times\sqrt{\frac{3/6\times10^{-3}\times10}{9\times10^9}} = 2\times10^{-8}\ C$$

با داشتن بار هر گوی، می‌توان تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر کدام را محاسبه کرد:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{2\times10^{-8}}{1/6\times10^{-19}} = 1/25\times10^{11}$$

۲۹- گزینهٔ ۳ باز هم ابتدا به سراغ گلولهٔ بالایی می‌رویم. با توجه به تعادل این گلوله، می‌توان نوشت:



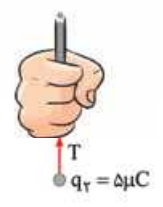
$$F_{12} = mg = 10\times10^{-3}\times10 = 0/1\ N$$

$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 0/1 = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{h^2} \Rightarrow h^2 = 0/36 \Rightarrow h = 0/6\ m$$

برای تعیین عددی که ترازوی فنری نشان می‌دهد، باید ببینیم برایند نیروهای رو به پایینی که کفهٔ آن را به پایین هُل می‌دهند، چند نیوتون است. به‌جز وزن گلولهٔ پایینی باید نیروی الکتریکی F_{12} را نیز که به طرف پایین به گلولهٔ پایینی وارد می‌شود. در نظر بگیریم:

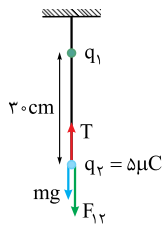
$$\text{برایند نیروهای رو به پایین} = m_{\text{گلوله}}g + F_{21} = 10\times10^{-3}\times10 + 0/1 = 0/2\ N$$

۳۰- گزینهٔ ۲ هنگامی‌که یک نخ (یا طناب) به یک جسم متصل باشد، آن جسم را در راستای خود می‌کشد. نیرویی که از طرف نخ (یا طناب) به جسم وارد می‌شود، نیروی کشش نخ نامیده شده و با نماد T نشان داده می‌شود. در شکل روبه‌رو، موضوع کشش نخ را به این تشبیه کرده‌ایم که انگار دستی در حال کشیدن گلولهٔ پایینی به طرف بالا است. در شکل پایینی، همهٔ نیروهای وارد بر گلولهٔ پایینی را می‌بینید. چون این گلوله در حال تعادل است، باید نیروی خالص وارد بر آن صفر باشد؛ یعنی مجموع اندازهٔ دو نیرویی که رو به پایین‌اند، باید هم‌اندازه با نیروی رو به بالا باشد:



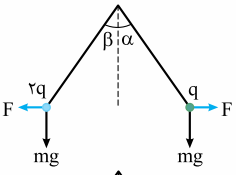
$$T = mg + F_{12} \Rightarrow 4 = 0/3\times10 + F_{12} \Rightarrow F_{12} = 1\ N$$

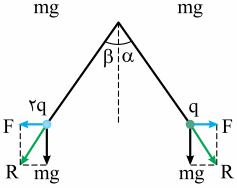
با استفاده از قانون کولن، می‌توان بار گلولهٔ بالایی را هم به دست آورد.



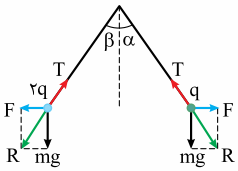
$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 1 = 9\times10^9 \times \frac{q_1\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{0/3^2} \Rightarrow q_1 = 2\ \mu C$$

۳۱- گزینهٔ ۱ در شکل روبه‌رو، دو نیروی وارد بر هر گلوله را می‌بینید. توجه دارید که با وجود یکسان‌نبودن بار دو گلوله، اندازهٔ نیروی دافعهٔ الکتریکی‌ای که به یکدیگر وارد می‌کنند با توجه به قانون سوم نیوتون (کنش و واکنش)، هم‌اندازه است. چون وزن دو گلوله هم یکسان است، هر دو به یک اندازه منحرف می‌شوند و زاویه‌های α و β برابرند.



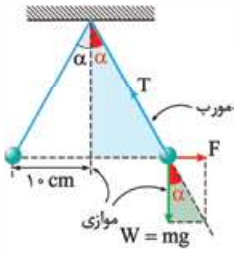


بیشین! اگه مثل شکل مقابل بیاییم برایند دو نیروی وارد بر هر گلوله رو بکشیم، می‌بینیم که این برایند صفر نیست؛ پس چه‌پوری گلوله‌ها می‌تونن در وضعیت تعادل باشن؟



حق با شما است! در حقیقت نیروی برایند R که شما کشیدید، درست در امتداد نخ‌ها است و آن‌ها را می‌کشد. نخ‌ها نیز گلوله‌های ما را چنان‌که در شکل روبه‌رو نشان داده‌ام، می‌کشند. همان‌گونه که در تست قبلی توضیح دادم، به این نیروها کشش نخ می‌گویند و آن‌ها را با نماد T نشان می‌دهند. در شکل روبه‌رو، برایند دو نیروی T و R صفر می‌شود؛ یعنی این دو هم‌اندازه‌اند.

۳۲- گزینهٔ ۲ برای حل این تست به کمی ابتکار عمل نیاز داریم! در شکل مقابل، نیروهای وارد بر یک گلوله را می‌بینید. چنان که در تست قبل گفتیم، برایند دو نیروی F و W باید درست در امتداد نخ باشد. دو زاویهٔ قرمزی که در این شکل α نامیده شده‌اند، با توجه به قضیهٔ «خطوط موازی و مورب» در هندسه، با هم برابرند. بیایید در مثلثی که با رنگ سبز سایه زده شده است، تانژانت زاویهٔ α را بنویسیم! این‌که چرا باید به سراغ تانژانت برویم، در حقیقت به این دلیل است که در این مثلث، ضلع مجاور به زاویهٔ α (یعنی W) را می‌دانیم و به دنبال ضلع مقابل به زاویهٔ α (که هم‌اندازه با F است) هستیم. طبیعی است که ضلع مقابل و ضلع مجاور، ما را به یاد تانژانت بیندازد!



$$\tan\alpha = \frac{F}{W} = \frac{F}{mg} = \frac{F}{۲۴\times۱۰^{-۳}\times۱۰}$$

همین کار را برای مثلثی که با رنگ آبی سایه زده شده تکرار می‌کنیم. در این مثلث، ضلع مجاور به زاویهٔ α را به کمک قضیهٔ فیثاغورس محاسبه می‌کنیم:

$$\tan\alpha = \frac{۱۰}{\sqrt{۲۶^۲ - ۱۰^۲}} = \frac{۱۰}{۲۴} = \frac{۵}{۱۲}$$

با برابر قراردادن دو رابطه‌ای که برای تانژانت α نوشتیم، اندازهٔ نیروی F به دست می‌آید:

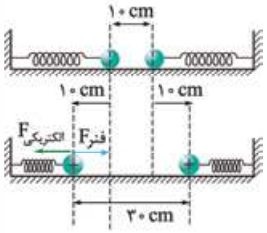
$$\frac{F}{۲۴\times۱۰^{-۳}\times۱۰} = \frac{۵}{۱۲} \Rightarrow F = ۰/۱\,N$$

و بالأخره کار را با قانون کولن تمام می‌کنیم:

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲} \Rightarrow ۰/۱ = \frac{۹\times۱۰^۹\times q\times۱۰^{-۶}\times q\times۱۰^{-۶}}{۰/۲^۲} \Rightarrow q^۲ = \frac{۴}{۹} \Rightarrow q = \frac{۲}{۳}\,\mu C$$

۳۳- گزینهٔ ۱ فرمولی که علاوه بر قانون کولن، برای حل این تست به آن نیاز دارید، فرمولی برای محاسبهٔ نیرویی است که یک فنر به جسم متصل به خود وارد می‌کند. این فرمول در فصل ۲ از فیزیک سال دوازدهم آورده شده است؛ اما اگر دانش‌آموز سال یازدهم هستید، نیازی نیست تا آن موقع صبر کنید! همین الان می‌توانید آن را یاد بگیرید! واقعیت این است که یک فنر، وقتی طول عادی خود را دارد، به جسم متصل به خود نیرویی وارد نمی‌کند؛ اما اگر نسبت به طول عادی‌اش، کشیده یا فشرده شود، به جسم نیرو وارد می‌کند. اگر فنر کشیده شود، جسم متصل به خود را در امتداد خود می‌کشد و اگر فشرده شود، جسم متصل به خود را در امتداد خود هُل می‌دهد. اندازهٔ نیرویی که در این دو حالت، از طرف فنر به جسم وارد می‌شود، از رابطهٔ ساده‌ای به صورت $F_{فنر} = k|\Delta L|$ به دست می‌آید. در این رابطه، k، ثابتی است که به سختی یا نرمی فنر بستگی دارد و به آن ثابت فنر می‌گویند. منظور از $|\Delta L|$ نیز، اندازهٔ تغییر طول فنر نسبت به طول عادی‌اش است. همین قدر در مورد نیروی فنر بدانید، برای درک چنین تست‌هایی کافی است!

در این تست، ابتدا که گلوله‌ها باری ندارند، فنرها طول عادی خودشان را دارند؛ اما پس از دادن بار یکسان، دو گلوله یکدیگر را دفع می‌کنند و چنان‌که در شکل روبه‌رو می‌بینید، فنرها فشرده می‌شوند. با نگاهی دقیق به این شکل، متوجه می‌شوید که هر فنر، نسبت به حالت اول ۱۰ cm فشرده شده است و به این ترتیب، اندازهٔ نیرویی که هر فنر به گلولهٔ متصل به خود وارد می‌کند، قابل محاسبه است: $F_{فنر} = k|\Delta L| = ۱۰۰\times۰/۱ = ۱۰\,N$



با توجه به تعادل هر گلوله، باید اندازهٔ نیروی دافعهٔ الکتریکی وارد بر هر کدام، با اندازهٔ نیروی فنر برابر باشد:

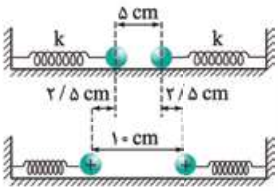
$$F_{الکتریکی} = F_{فنر} = ۱۰\,N$$

$$F_{الکتریکی} = k\frac{q.q}{r^۲} \Rightarrow ۱۰ = ۹\times۱۰^۹\times\frac{q\times۱۰^{-۶}\times q\times۱۰^{-۶}}{۰/۳^۲} \Rightarrow q^۲ = ۱۰۰ \Rightarrow q = ۱۰\,\mu C$$

بیشین! چرا توو قانون کولن به جای فاصلهٔ دو گلوله، همون فاصلهٔ اولیه‌شون (یعنی ۱۰ cm) رو نذاشتین؟

توجه کنید که اندازهٔ نیروی الکتریکی زمانی برابر ۱۰ N می‌شود که گلوله‌ها جابه‌جا شده باشند و پس از فشردن فنرها، به حالت تعادل رسیده باشند، آشکار است که در چنین حالتی، فاصلهٔ دو گلوله ۳۰ cm است.

۳۴- گزینهٔ ۱ با توضیحات کاملی که برای تست قبل دیدید، برای این تست فقط به رسم یک شکل و انجام محاسبه اکتفا می‌کنیم:



$$F_{\text{الکتریکی}} = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{0/1^2} = 3/6\ N$$

$$F_{\text{فنر}} = F_{\text{الکتریکی}} \Rightarrow k|\Delta L| = 3/6 \Rightarrow k\times2/5\times10^{-2} = 3/6 \Rightarrow k = 144\ N/m$$

۳۵- گزینهٔ ۲ با توجه به این‌که میله‌ها یکدیگر را دفع کرده‌اند، می‌توان فهمید که بار میلهٔ آویخته از طناب، همنام با میلهٔ دیگر (یعنی منفی) بوده است. اکنون باید به سراغ هر یک از گزینه‌ها رفت و با استفاده از سری تریبوالکتریک (الکتریسیتهٔ مالشی)، گزینه‌ای را یافت که در آن بار میله، منفی بشود. به خاطر دارید که در سری الکتریسیتهٔ مالشی، موادی که بالاترند اگر به مواد پایین‌تر از خود مالش داده شوند، بار مثبت می‌یابند؛ به این ترتیب آشکار است که تنها در گزینهٔ (۳) بار میلهٔ مورد نظر منفی است.

آشنایی با کتاب درسی

۳۶- گزینهٔ ۳ با یک جای‌گذاری ساده به پاسخ تست می‌رسیم:

$$|q| = ne \Rightarrow n = \frac{|q|}{e} = \frac{1\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}} = 6/25\times10^9$$

آشنایی با کتاب درسی

۳۷- گزینهٔ ۳ ابتدا بار الکتریکی‌ای را که هر متر مربع از سطح زمین با دریافت ۱۵۰۰ پروتون به دست می‌آورد، محاسبه می‌کنیم:

$$q = ne = 1500\times1/6\times10^{-19} = 2/4\times10^{-16}\ C$$

امیدوارم به خاطر داشته باشید که مساحت کره‌ای به شعاع R، از رابطهٔ $A = 4\pi R^2$ به دست می‌آمد:

$$A = 4\pi R^2 = 4\times3\times(6000\times10^3)^2 = 4/32\times10^{14}\ m^2$$

به این ترتیب بار دریافت‌شده توسط کل سطح زمین به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\text{بار کل سطح زمین} = 4/32\times10^{14}\times2/4\times10^{-16}\ \cancel{C}\times\frac{1\ mC}{10^{-3}\ \cancel{C}} = 103/68\ mC$$

چون این بار در هر ثانیه توسط زمین دریافت می‌شود، می‌توان گفت آهنگ باردارشدن سطح زمین ۱۰۳/۶۸ میلی‌کولن بر ثانیه است.

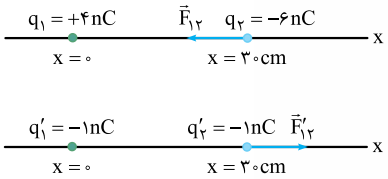
۳۸- گزینهٔ ۲ امیدوارم توجه کرده باشید که در حالت دوم، اندازهٔ نیرو به اندازهٔ $\frac{5}{4}F$ بیشتر از حالت اول است؛ یعنی:

$$F' = F + \frac{5}{4}F = \frac{9}{4}F$$

به این ترتیب کافی است از قانون کولن استفاده کنیم:

$$k\frac{|q_1||q_2|}{(d-x)^2} = \frac{9}{4}k\frac{|q_1||q_2|}{d^2} \Rightarrow \frac{1}{(d-x)^2} = \frac{9}{4}\times\frac{1}{d^2} \xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{d-x} = \frac{3}{2d} \Rightarrow 3d-3x = 2d \Rightarrow d = 3x \Rightarrow \frac{x}{d} = \frac{1}{3}$$

۳۹- گزینهٔ ۳ *فهمیدین این تست با تست قبلی چه فرقی داره؟! ... توو تست قبلی از ما «تغییر اندازهٔ نیرو» رو خواسته بود؛ اما توو این تست باید «تغییر بردار نیرو» رو حساب کنیم.* برای درک بهتر این موضوع، به دو شکل زیر توجه کنید. می‌بینید که پیش از تماس دو گوی، به دلیل بار ناهمنام آن‌ها، نیرو به صورت جاذبه و پس از تماس دو گوی، چون بار آن‌ها همنام می‌شود، نیرو به صورت دافعه خواهد شد. اندازهٔ نیرو را قبل و بعد از تماس گوی‌ها در تست قبل محاسبه کردیم و فقط برای این تست، باید بردارهای نیرو را به صورت زیر بنویسیم و تغییر بردار نیرو را به دست آوریم:



$$\vec{F}_{12} = -2/4\times10^{-6}\,\vec{i}$$

$$\vec{F}'_{12} = 0/1\times10^{-6}\,\vec{i}$$

$$\text{تغییر بردار نیرو} = \vec{F}'_{12} - \vec{F}_{12} = 0/1\times10^{-6}\,\vec{i} - (-2/4\times10^{-6}\,\vec{i}) = 2/5\times10^{-6}\,\vec{i}$$

آشنایی با کتاب درسی

۴۰- گزینهٔ ۴ فرض کنیم ابتدا بار هر یک از دو کرهٔ رسانای A و B برابر q است. وقتی در شکل (۲) کرهٔ بدون بار C را با کرهٔ A تماس داده و جدا می‌کنیم، بار هر کره به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$q'_A = q'_C = \frac{q+0}{2} = \frac{q}{2}$$

در شکل (۳)، با تماس کرهٔ C (که اکنون باری برابر $\frac{q}{2}$ دارد) با کرهٔ B، بار کرهٔ B برابر می‌شود با:

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

چون فاصلهٔ دو کرهٔ A و B ثابت است، اندازهٔ نیروی الکتریکی با حاصل‌ضرب بارها متناسب است و می‌توان نسبت خواسته‌شده را به دست آورد:

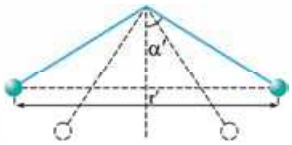
$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_A||q'_B|}{|q_A||q_B|} = \frac{\frac{q}{2}\times\frac{3}{4}q}{q\times q} = \frac{3}{8}$$

۴۱- گزینهٔ ۳ این هم نمونهٔ دیگری از همان تست قبل، اما به صورت پارامتری است:

$$F = W \Rightarrow k\frac{qQ}{h^2} = W \Rightarrow h^2 = \frac{kqQ}{W} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{kqQ}{W}}$$

۴۲- گزینهٔ ۳ در پاسخ تست قبل به رابطه‌ای رسیدیم که اساس حل این تست را نیز تشکیل می‌دهد:

$$\tan\alpha = \frac{F}{W} = \frac{k\frac{q^2}{r^2}}{W} = \frac{kq^2}{Wr^2}$$



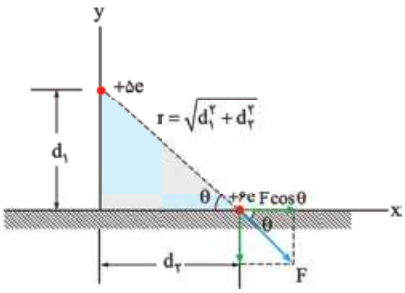
وقتی بار گلوله‌ها را ۲ برابر می‌کنیم، دافعهٔ بین آن‌ها بیشتر می‌شود و به همین دلیل، از هم دورتر می‌شوند. اگر پس از رسیدن به تعادل، زاویهٔ هر نخ با راستای قائم را α' و فاصلهٔ دو گلوله از یکدیگر را r' بنامیم، رابطهٔ بالا، به صورت زیر در می‌آید:

$$\tan\alpha' = \frac{k(2q)(2q)}{Wr'^2} \Rightarrow \tan\alpha' = 4\frac{kq^2}{Wr'^2}$$

از آن‌جایی که $\alpha' > \alpha$ است. می‌توان نتیجه گرفت که $\tan\alpha'$ هم بزرگ‌تر از $\tan\alpha$ است:

$$\tan\alpha' > \tan\alpha \Rightarrow 4\frac{kq^2}{Wr'^2} > \frac{kq^2}{Wr^2} \Rightarrow \frac{4}{r'^2} > \frac{1}{r^2} \Rightarrow r'^2 < 4r^2 \Rightarrow r' < 2r$$

۴۳- گزینهٔ ۱ در شکل روبه‌رو نیروی وارد بر بار مورد نظر را رسم کرده و آن را به دو مؤلفه تجزیه کرده‌ایم.



برای محاسبهٔ اندازهٔ نیرو، به فاصلهٔ دو بار از یکدیگر نیاز داریم که با استفاده از قضیهٔ فیثاغورس قابل محاسبه است. البته برای سادگی در محاسبات، می‌توان از ویژگی جالب عددهای ۳، ۴ و ۵ کمک گرفت! همه می‌دانید که این سه عدد در رابطهٔ $\sqrt{3^2+4^2}=5$ صدق می‌کنند؛ همچنین باید بدانید که هر مضربی از بین این سه عدد هم در این رابطه صدق می‌کنند:

$$r = \sqrt{d_1^2+d_2^2} = \sqrt{48^2+64^2} = 80\ \text{mm}$$
(۱۶×۳) (۱۶×۴) (۱۶×۵)

با استفاده از قانون کولن می‌توان اندازهٔ نیروی الکتریکی را به دست آورد:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{(5\times1/6\times10^{-19})(6\times1/6\times10^{-19})}{(80\times10^{-3})^2} = 1/08\times10^{-24}\ \text{N}$$

برای محاسبهٔ مولفهٔ افقی این نیرو به $\cos\theta$ نیاز داریم که آن را با استفاده از نسبت $\frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$ در مثلث سایه زده شده به دست می‌آوریم:

$$F_x = F\cos\theta = 1/08\times10^{-24}\times\frac{64}{80} = 8/64\times10^{-25}\ \text{N}$$

۴۴- گزینهٔ ۳ اگر از قانون کولن استفاده کنیم، حاصل‌ضرب اندازهٔ دو بار به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 16 = 9\times10^9 \times \frac{|q_1|\times10^{-6}\times|q_2|\times10^{-6}}{0/3^2} \Rightarrow |q_1||q_2| = 160$$

متأسفانه وقتی به گزینه‌ها نگاه می‌کنیم، حاصل‌ضرب قدرمطلق و مقدارهای داده‌شده در هر چهار گزینه، یکسان است و نمی‌توان به این روش به گزینهٔ درست رسید!

باید از بار نهایی گلوله‌ها استفاده کنیم و مجموع بارها را به دست آوریم:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1+q_2}{2} = 3 \Rightarrow q_1+q_2 = +6\ \mu\text{C}$$

اکنون آشکار است که تنها گزینهٔ (۳) می‌تواند درست باشد. *(البته اگه از اول سراغ مجموع بارها رفته باشین، حتماً بدون هیچ زحمتی به گزینهٔ درست پی برده‌اید!)*

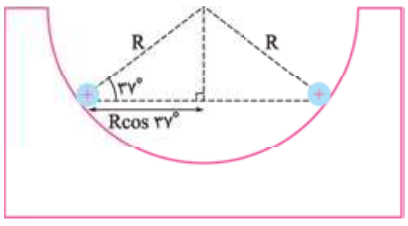
۴۵- گزینهٔ ۱ اگر بارها را با $+q$ و $-q$ نشان دهیم و فرض کنیم نیمی از بار مثبت را برداشته و به بار منفی داده‌ایم، می‌توانیم اندازهٔ نیروی الکتریکی در دو حالت را با استفاده از قانون کولن، محاسبه و مقایسه کنیم:

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

$$F' = k\frac{|q-\frac{q}{2}||-q+\frac{q}{2}|}{(\frac{r}{2})^2} = k\frac{\frac{q}{2}.\frac{q}{2}}{\frac{r^2}{4}} = k\frac{q^2}{r^2}$$

می‌بینید که اندازهٔ نیروی الکتریکی در دو حالت یکسان است.

۴۶- گزینهٔ ۲ ابتدا با توجه به شکل روبه‌رو، فاصلهٔ دو گلوله از یکدیگر (r) را محاسبه می‌کنیم: (زاویهٔ ۳۷ درجه، یکی از زاویه‌هایی است که در تست‌های فیزیک، زیاد به چشم می‌خورد و به همین دلیل، معمولاً بچه‌ها سینوس و کسینوس آن را می‌دانند. در هر صورت اگر نیاز به کسینوس این زاویه داشته باشید و آن را ندانید، کافی است به یاد رابطهٔ $\sin^2 37^\circ + \cos^2 37^\circ = 1$ بیفتید و با استفاده از آن، کسینوس این زاویه را برابر ۰/۸ به دست آورید.)



$$r = 2R\cos\alpha \Rightarrow r = 2\times0/1\times0/8 = 0/16\ \text{m}$$