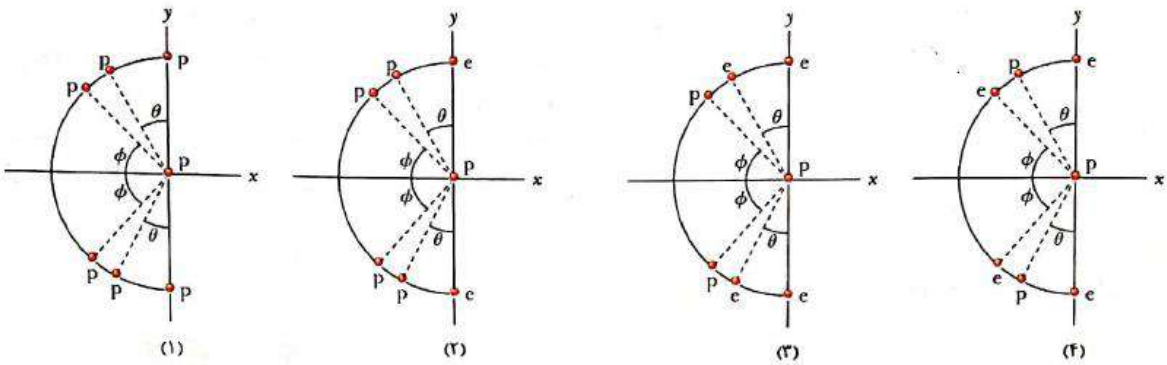
۱۲ شکل ۲۱-۲۱ چهار وضعیت را نشان می‌دهد که در آن یک پروتون مرکزی توسط پروتون‌ها یا الکترون‌هایی که در مکان خود روی یک نیم‌دایره ثابت شده‌اند، احاطه شده است. زاویه‌های θ و نیز زاویه‌های ϕ یکسان‌اند. (الف) در هر وضعیت، جهت نیروی خالص وارد بر پروتون مرکزی از سوی ذره‌های دیگر چگونه است؟ (ب) این چهار وضعیت را بر طبق بزرگی نیروی خالص وارد بر پروتون مرکزی به‌گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



شکل ۲۱-۲۱ پرسش ۱۲

مسئله‌ها

حل با راهنمایی مرحله به مرحله (بسته به صلاحدید مدرّس) در WileyPLUS و WebAssign موجود است.

••• تعداد نقطه‌ها سطح دشواری مسئله را مشخص می‌کند.

ILW حل در http://www.wiley.com/college/halliday داده شده است.

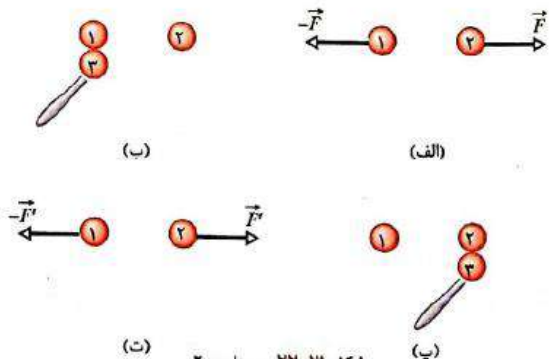
WWW حل به روش تعاملی در

اطلاعات بیشتر در کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک و در www.flyingcircusofphysics.com

۲۱-۱ قانون کولن

• ۱ ILW از بار اولیه‌ی Q که روی کره کوچکی واقع است، جزء q به کره دیگری در نزدیکی آن منتقل می‌شود. هر دو کره را می‌توان به صورت ذره در نظر گرفت. به‌ازای چه مقدار q/Q نیروی الکتروستاتیکی میان این دو کره بیشینه است؟

• ۲ کره‌های رسانای منزوی مشابه ۱ و ۲ که دارای بارهای یکسانی هستند، در فاصله‌ای از هم قرار دارند که نسبت به قطر آنها بزرگ است (شکل ۲۱-۲۲ الف). نیروی الکتروستاتیکی‌ای که از سوی کره‌ی ۱ بر کره‌ی ۲ وارد می‌شود برابر با $\vec{F}$ است. حال فرض کنید که کره‌ی مشابه ۳، که دارای دسته‌ی عایقی است و در ابتدا خنثی است، نخست با کره‌ی ۱ (شکل ۲۱-۲۲ ب) و سپس با کره‌ی ۲ (شکل ۲۱-۲۲ پ) تماس پیدا کند، و سرانجام برداشته شود (شکل ۲۱-۲۲ ت). اکنون بزرگی نیروی الکتروستاتیکی‌ای که بر کره‌ی ۲ اثر می‌کند برابر با F' است. نسبت F'/F چقدر است؟



شکل ۲۱-۲۲ مسئله‌ی ۲

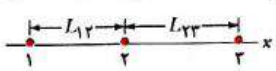
• ۳ فاصله‌ی میان دو بار نقطه‌ای $q_1 = 26.0\,\mu C$ و $q_2 = -47.0\,\mu C$ باید چقدر باشد تا بزرگی نیروی الکتروستاتیکی بین آنها $5.70\,N$ شود؟

• ۴ در ضربه‌ی برگشت یک آذرخش، جریان $2.5\times10^{-4}\,A$ در عرض $20\,\mu s$ به‌وجود می‌آید. در این فرایند چقدر بار منتقل می‌شود؟

• ۵ ذره‌ای با بار $+3.00\times10^{-6}\,C$ در فاصله‌ی $12.0\,cm$ از ذره‌ی دیگری با بار $-1.50\times10^{-6}\,C$ قرار دارد. بزرگی نیروی الکتروستاتیکی بین این دو ذره را محاسبه کنید.

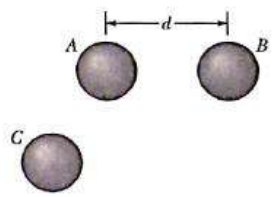
• ۶ ILW دو ذره با بارهای یکسان در فاصله‌ی $3.2\times10^{-3}\,m$ از هم نگه داشته شده‌اند و سپس از حالت سکون رها می‌شوند. مشاهده می‌شود شتاب اولیه‌ی ذره‌ی اول $7.0\,m/s^2$ و شتاب اولیه‌ی ذره‌ی دوم $9.0\,m/s^2$ است. اگر جرم ذره‌ی اول $6.3\times10^{-7}\,kg$ باشد، (الف) جرم ذره‌ی دوم و (ب) بزرگی بار هر ذره چقدر است؟

•• ۷ در شکل ۲۱-۲۳، سه ذره‌ی باردار روی محور x قرار دارند. ذره‌های ۱ و ۲ در جای خود ثابت شده‌اند. ذره‌ی ۳ می‌تواند آزادانه حرکت کند، ولی نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر آن از سوی دو ذره‌ی دیگر در جایی برابر صفر می‌شود. اگر $L_{23} = L_{12}$ باشد، نسبت q/q_2 چقدر است؟



شکل ۲۱-۲۳ مسئله‌های ۷ و ۴۰

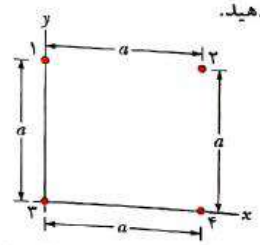
●●۸ در شکل ۲۱-۲۴، سه کره‌ی رسانای مشابه در ابتدا دارای بارهای زیر هستند: کره‌ی A با بار $4Q$؛ کره‌ی B با بار $-6Q$؛ و کره‌ی C بدون بار. کره‌های A و B در جای خود ثابت شده‌اند و فاصله‌ی مرکز به مرکز آنها بسیار بزرگتر از اندازه‌ی کره‌هاست. می‌خواهیم دو آزمایش انجام دهیم. در آزمایش ۱، کره‌ی C به کره‌ی A تماس داده می‌شود و سپس (به‌طور جداگانه) به کره‌ی B تماس داده شده، و آنگاه برداشته می‌شود. در آزمایش ۲، با همان شرایط اولیه، مراحل کار وارونه می‌شوند: کره‌ی C به کره‌ی B تماس داده می‌شود و سپس (به‌طور جداگانه) به کره‌ی A تماس داده شده، و آنگاه برداشته می‌شود. نسبت نیروی الکتروستاتیکی میان A و B در پایان آزمایش ۲ به مقدار آن در پایان آزمایش ۱ چقدر است؟



شکل ۲۱-۲۴ مسئله‌های ۸ و ۶۵

●●۹ WWW دو کره‌ی رسانای مشابه که در جای خود ثابت شده‌اند، وقتی در فاصله‌ی مرکز به مرکز ۵۰٫۰cm قرار دارند، با نیروی الکتروستاتیکی ۰٫۱۰۸N همدیگر را جذب می‌کنند. سپس کره‌ها با سیم رسانای نازکی به هم متصل می‌شوند. وقتی سیم برداشته شود، کره‌ها یکدیگر را با نیروی الکتروستاتیکی ۰٫۳۶۰N دفع می‌کنند. از بار اولیه‌ی روی کره‌ها که مقدار خالص مثبتی دارد، چه مقدار (الف) بار منفی روی یکی از آنها و (ب) بار مثبت روی دیگری قرار دارد؟

●●۱۰ GO در شکل ۲۱-۲۵، چهار ذره تشکیل مربعی را داده‌اند. بارها عبارت‌اند از $q_1 = q_2 = Q$ و $q_3 = q_4 = q$. (الف) اگر نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌های ۱ و ۴ برابر صفر باشد، نسبت Q/q چقدر است؟ (ب) آیا هیچ مقداری از q وجود دارد که به‌ازای آن نیروی الکتروستاتیکی وارد بر هر چهار ذره برابر صفر شود؟ توضیح دهید.

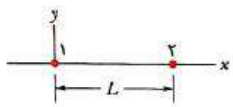


شکل ۲۱-۲۵ مسئله‌های ۱۰، ۱۱، و ۷۰

●●۱۱ ILW در شکل ۲۱-۲۵ بار ذرات عبارت‌اند از $q_1 = -q_2 = 100\text{nC}$ و $q_3 = -q_4 = 200\text{nC}$، و فاصله‌ی آنها $a = 5.0\text{cm}$ است. مؤلفه‌های (الف) x و (ب) y نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳ چقدر است؟

●●۱۲ دو ذره روی محور x ثابت شده‌اند. ذره‌ی ۱ با بار $40\mu\text{C}$ در $x = -2.0\text{cm}$ قرار گرفته است؛ ذره‌ی ۲ با بار Q در $x = 3.0\text{cm}$ قرار گرفته است؛ ذره‌ی ۳ با باری به بزرگی $20\mu\text{C}$ از حالت سکون روی محور y در $y = 2.0\text{cm}$ رها می‌شود. اگر شتاب اولیه‌ی ذره‌ی ۳ در جهت مثبت (الف) محور x و (ب) محور y باشد، مقدار Q چقدر است؟

●●۱۳ GO در شکل ۲۱-۲۶ ذره‌ی ۱ با بار $+10\mu\text{C}$ و ذره‌ی ۲ با بار $-30\mu\text{C}$ در فاصله‌ی $L = 10.0\text{cm}$ روی محور x ثابت نگه داشته شده‌اند. اگر ذره‌ی ۳ با بار نامعلوم q_3 به گونه‌ای قرار داده شود که نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر آن از سوی ذره‌های ۱ و ۲ برابر صفر باشد، مختصه‌ی (الف) x و (ب) y ذره‌ی ۳ باید چقدر باشد؟

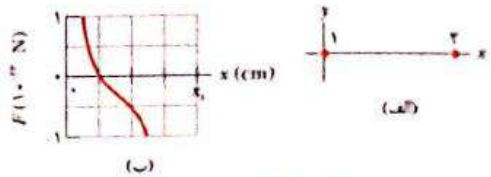


شکل ۲۱-۲۶ مسئله‌های ۱۳، ۱۹، ۳۰، ۵۸، و ۶۷

●●۱۴ سه ذره روی محور x ثابت شده‌اند. ذره‌ی ۱ با بار q_1 در $x = -a$، و ذره‌ی ۲ با بار q_2 در $x = +a$. برای آنکه نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳ با بار $+Q$ برابر با صفر باشد، وقتی‌که ذره‌ی ۳ در (الف) $x = +0.500a$ و (ب) $x = +1.50a$ قرار دارد، نسبت q_1/q_2 باید چقدر باشد؟

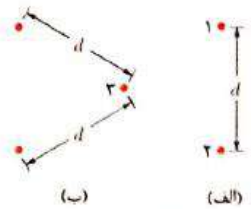
●●۱۵ GO بارها و مختصات دو ذره‌ی باردار که در صفحه‌ی xy ثابت نگه داشته شده‌اند عبارت‌اند از $q_1 = +3.0\mu\text{C}$، $x_1 = 3.5\text{cm}$، $y_1 = 0.50\text{cm}$، $q_2 = -4.0\mu\text{C}$، $x_2 = -2.0\text{cm}$ و $y_2 = 1.5\text{cm}$. (الف) بزرگی و (ب) جهت نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی ۲ از سوی ذره‌ی ۱ چیست؟ در چه مختصه‌ی (پ) x و (ت) y یی ذره‌ی سوم با بار $q_3 = +4.0\mu\text{C}$ باید قرار گیرد تا نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۲ از سوی ذره‌های ۱ و ۳ برابر با صفر شود؟

●●۱۶ GO در شکل ۲۱-۲۷ الف، ذره‌ی ۱ (با بار q_1) و ذره‌ی ۲ (با بار q_2) که در مکانی روی محور x ثابت شده‌اند به فاصله‌ی 8.00cm از هم قرار گرفته‌اند. قرار است ذره‌ی ۳ (با بار $q_3 = +8.00\times10^{-19}\text{C}$) روی خطّ واصل ذره‌های ۱ و ۲ قرار گیرد، به‌گونه‌ای که نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳ برابر با $\vec{F}_{3,\text{net}}$ شود. شکل ۲۱-۲۷ ب مؤلفه‌ی x این نیرو را برحسب مختصه‌ی x ای نشان می‌دهد که ذره‌ی ۳ در آن واقع شده است. محور x با $x_s = 8.0\text{cm}$ مقیاس‌بندی شده است. (الف) علامت بار q_1 و (ب) نسبت q_2/q_1 چیست؟



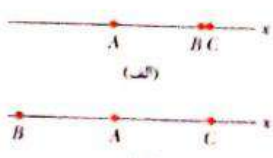
شکل ۲۱-۲۷ مسئله‌ی ۱۶

۱۷••• در شکل ۲۱-۲۸ الف، ذره‌های ۱ و ۲ که هر دو دارای بار $20.0\,\mu C$ هستند در فاصله‌ی $d = 1.50\,m$ از یکدیگر ثابت نگه داشته شده‌اند. (الف) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی ۱ از سوی ذره‌ی ۲ چقدر است؟ در شکل ۲۱-۲۷ ب، ذره‌ی ۳ با بار $20.0\,\mu C$ به‌گونه‌ای قرار گرفته است که یک مثلث متساوی‌الاضلاع ایجاد شود. (ب) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۱ از سوی ذره‌های ۲ و ۳ چقدر است؟



شکل ۲۱-۲۸ مسئله‌ی ۱۷

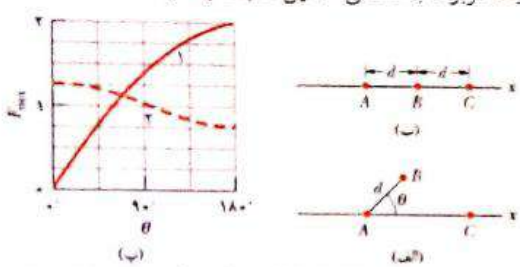
۱۸••• در شکل ۲۱-۲۹ الف، سه ذره‌ی باردار مثبت روی محور x ثابت شده‌اند. ذره‌های B و C چنان به یکدیگر نزدیک‌اند که می‌توانیم فاصله‌ی آنها را از ذره‌ی A یکسان در نظر بگیریم. نیروی خالص وارد بر ذره‌ی A از سوی ذره‌های B و C برابر با $2.014 \times 10^{-23}\,N$ و در جهت منفی محور x است. در شکل ۲۱-۲۹ ب، ذره‌ی B به سمت مقابل A منتقل شده است ولی هنوز در همان فاصله از آن قرار دارد. اکنون نیروی خالص وارد بر A برابر با $2.877 \times 10^{-24}\,N$ و در جهت منفی محور x است. نسبت q_C / q_B چقدر است؟



شکل ۲۱-۲۹ مسئله‌ی ۱۸

۱۹•• WWW در شکل ۲۱-۲۶، ذره‌ی ۱ با بار $q+$ و ذره‌ی ۲ با بار $4.00q+$ در فاصله‌ی $L = 9.00\,cm$ از هم روی محور x ثابت نگه داشته شده‌اند. اگر ذره‌ی ۳ با بار q_3 به‌گونه‌ای قرار داده شود که این سه ذره به هنگام رها شدن در جای خود ثابت بمانند، مختصه‌ی (الف) x و (ب) y ذره‌ی ۳ و (پ) نسبت q_3 / q باید چقدر باشد؟

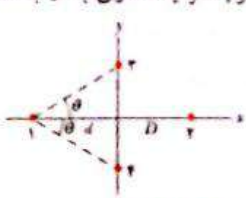
۲۰••• شکل ۲۱-۳۰ الف چیدمانی از سه ذره‌ی باردار را نشان می‌دهد که به فاصله‌ی d قرار گرفته‌اند. ذره‌های A و C روی محور x ثابت شده‌اند، ولی ذره‌ی B می‌تواند روی دایره‌ای به مرکز ذره‌ی A حرکت کند. در حین این حرکت، خط شعاعی میان A و B با جهت مثبت محور x زاویه‌ی θ می‌سازد (شکل ۲۱-۳۰ ب). منحنی‌های شکل ۲۱-۳۰ پ، برای دو وضعیت، بزرگی F_{net} نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی A از سوی دو ذره‌ی دیگر را نشان می‌دهد. این نیروی خالص بر حسب تابعی از زاویه‌ی θ و بر حسب مضربی از مقدار پایه‌ی F_s نشان داده شده است. مثلاً از روی منحنی ۱ درمی‌یابیم که در $\theta = 180°$، $F_{net} = 2F_s$ است. (الف) برای وضعیت مربوط به منحنی ۱، نسبت بار ذره‌ی C به بار ذره‌ی B (با در نظر گرفتن علامت) چقدر است؟ (ب) برای وضعیت مربوط به منحنی ۲، این نسبت چقدر است؟



شکل ۲۱-۳۰ مسئله‌ی ۲۰

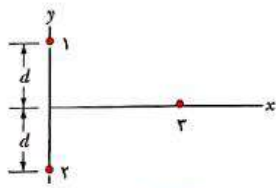
۲۱••• یک پوسته‌ی نارسانای کروی، با شعاع داخلی $4.0\,cm$ و شعاع خارجی $6.0\,cm$ دارای باری است که به‌طور غیریکنواخت در فضای بین سطوح داخلی و خارجی آن توزیع شده است. چگالی حجمی بار ρ، بار در واحد حجم، با یکای کولن بر مترمکعب است. برای این پوسته $\rho = b / r$ است که در آن r فاصله بر حسب متر از مرکز پوسته و $b = 3.0\,\mu C / m^3$ است. بار خالص داخل پوسته چقدر است؟

۲۲••• شکل ۲۱-۳۱ چیدمانی از چهار ذره‌ی باردار را، با زاویه‌ی $\theta = 30.0°$ و فاصله‌ی $d = 2.00\,cm$ نشان می‌دهد. بار ذره‌ی ۲ برابر $q_2 = +8.00 \times 10^{-19}\,C$، و بار ذره‌های ۳ و ۴ برابر با $q_3 = q_4 = -1.60 \times 10^{-19}\,C$ است. (الف) فاصله‌ی D میان مبدأ و ذره‌ی ۲ چقدر باشد تا نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۱ از سوی ذره‌های دیگر برابر صفر شود؟ (ب) اگر ذره‌های ۳ و ۴ به محور x نزدیک‌تر آورده شوند ولی تفاوت آنها نسبت به این محور تغییر نکند، آیا مقدار مورد نیاز D باید بزرگتر از مقدار آن در قسمت (الف) باشد یا کوچکتر یا مساوی با آن باشد؟



شکل ۲۱-۳۱ مسئله‌ی ۲۲

●●● ۲۳ در شکل ۲۱-۳۲، ذره‌های ۱ و ۳ با بار $q_1 = q_2 = +3{,}20\times10^{-19}\,C$ روی محور y به فاصله‌ی $d = 17{,}0\,cm$ از مبدأ واقع شده‌اند. ذره‌ی ۳ با بار $q_3 = +6{,}40\times10^{-19}\,C$ به‌تدریج روی محور x از $x = 0$ به $x = +5{,}0\,m$ آورده می‌شود. به‌ازای چه مقادیری از x بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی سوم از سوی دو ذره‌ی دیگر (الف) کمینه و (ب) بیشینه می‌شود؟ این مقادیر (پ) کمینه و (ت) بیشینه چقدر است؟



شکل ۲۱-۳۲ مسئله‌ی ۲۳

۲۱-۲ بار کوانتیده است

● ۲۴ فاصله‌ی مرکز به مرکز دو قطره‌ی آب کروی کوچک با بار یکسان $-1{,}00\times10^{-16}\,C$ برابر با $1{,}00\,cm$ است. (الف) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر آنها چقدر است؟ (ب) چند الکترون اضافی در هر قطره موجب بر هم خوردن توازن بار آنها شده است؟

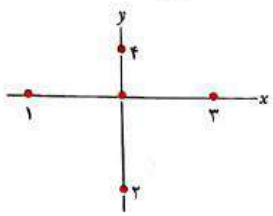
● ۲۵ ILW چند الکترون باید از یک سکه برداشته شود تا بار $+1{,}0\times10^{-7}\,C$ در آن باقی بماند؟

● ۲۶ اگر فاصله‌ی میان یک یون مجزای سدیم باردار (Na^+، با بار $+e$) و یک یون مجزای کلر باردار (Cl^-، با بار $-e$) در یک بلور نمک طعام برابر با $2{,}82\times10^{-10}\,m$ باشد، بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان آنها چقدر است؟

● ۲۷ بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان دو یون مشابه که به فاصله‌ی $5{,}0\times10^{-10}\,m$ از هم قرار گرفته‌اند برابر با $3{,}7\times10^{-9}\,N$ است. (الف) بار هر یون چقدر است؟ (ب) چند الکترون از هر یون "از دست رفته" است (که موجب عدم توازن بار آن شده است)؟

● ۲۸ عبور جریان $0{,}300\,A$ از قفسه‌ی سینه شما می‌تواند موجب لرزش بطنی قلب شما، بر هم خوردن ضرب‌آهنگ طبیعی ضربان قلب و اختلال در گردش خون (و بنابراین اکسیژن) به مغز شما شود. اگر این جریان به مدت $2{,}00\,min$ برقرار بماند، چند الکترون رسانش از قفسه‌ی سینه شما عبور خواهد کرد؟

●●● ۲۹ در شکل ۲۱-۳۳، ذره‌های ۲ و ۴، با بار $-e$ در جای خود روی محور y، در $y_2 = -10{,}0\,cm$ و $y_4 = 5{,}00\,cm$ ثابت شده‌اند. ذره‌های ۱ و ۳، با بار $-e$، می‌توانند روی محور x حرکت کنند. ذره‌ی ۵، با بار $+e$، در مبدأ ثابت شده است. در ابتدا ذره‌ی ۱ در $x_1 = -10{,}0\,cm$ و ذره‌ی ۳ در $x_3 = 10{,}0\,cm$ قرار دارند. (الف) ذره‌ی ۱ را باید تا چه مقدار x حرکت داد تا جهت نیروی الکتریکی خالص $\vec{F}_{net}$ وارد بر ذره‌ی ۵ به اندازه‌ی ۳۰° پادساعتگرد بچرخد؟ (ب) وقتی ذره‌ی ۱ در مکان جدید خود ثابت شود، ذره‌ی ۳ را باید تا چه مقدار x حرکت داد تا $\vec{F}_{net}$ به جهت اولیه‌ی خود برگردد؟

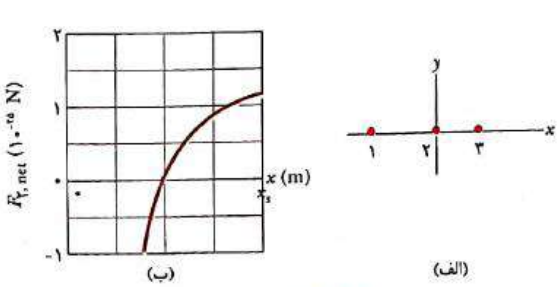


شکل ۲۱-۳۳ مسئله‌ی ۲۹

●●● ۳۰ در شکل ۲۱-۲۶ ذره‌های ۱ و ۲ در جای خود روی محور x به فاصله‌ی $L = 8{,}00\,cm$ از هم، ثابت شده‌اند. بار آنها $q_1 = +e$ و $q_2 = -27e$ است. ذره‌ی ۳ با بار $q_3 = +4e$ باید روی خط میان ذره‌های ۱ و ۲ قرار گیرد تا نیروی الکتروستاتیکی خالص $\vec{F}_{3,net}$ بر آن وارد شود. (الف) ذره‌ی ۳ باید در چه مختصه‌ای قرار گیرد تا بزرگی این نیرو کمینه شود؟ (ب) بزرگی این نیروی کمینه چقدر است؟

●●● ۳۱ ILW جوّ زمین دائماً توسط *پروتون‌های پرتوی کیهانی* که مبداء آنها جایی در فضاست بمباران می‌شود. اگر همه‌ی این پروتون‌ها از جو عبور کرده باشند، آنها با آهنگ متوسط ۱۵۰۰ پروتون در هر ثانیه به هر مترمربع از سطح زمین برخود می‌کنند. جریان الکتریکی‌ای که از کلّ سطح زمین عبور می‌کند چقدر است؟

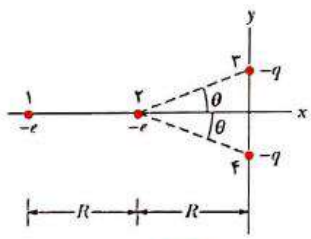
●●● ۳۲ شکل ۲۱-۳۴ الف دو ذره‌ی باردار ۱ و ۲ را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. ذره‌ی ۱ دارای باری به بزرگی $|q_1| = 8{,}00e$ است. ذره‌ی ۳ با بار $q_3 = +7{,}00e$ در ابتدا روی محور x در نزدیکی ذره‌ی ۲ قرار دارد. سپس ذره‌ی ۳ را به‌تدریج در سوی مثبت محور x حرکت می‌دهیم. در نتیجه، بزرگی نیروی الکتروستاتیکی خالص $\vec{F}_{2,net}$ وارد بر ذره‌ی ۲ از سوی ذره‌های ۱ و ۳ تغییر می‌کند. شکل ۲۱-۳۴ ب مؤلفه‌ی x این نیروی خالص را بر حسب تابعی از مکان x ذره‌ی ۳ نشان می‌دهد. محور x با $x_s = 0{,}80\,m$ مقیاس‌بندی شده است. این نمودار وقتی $x \to \infty$ میل کند دارای مجانب $\vec{F}_{2,net} = 1{,}5\times10^{-25}\,N$ است. بار q_2 بر حسب مضربی از e که شامل علامت هم باشد، چیست؟



شکل ۲۱-۳۴ مسئله‌ی ۳۲

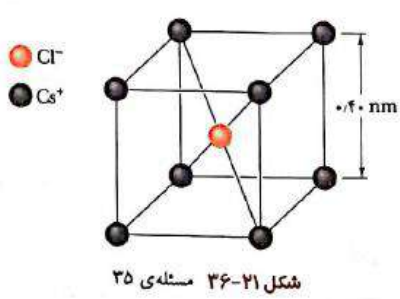
••۳۳ تعداد کولن‌های بار مثبت در $250\,cm^3$ آب (خنثی) چقدر است؟ (*راهنمایی:* اتم هیدروژن دارای یک پروتون و اتم اکسیژن دارای هشت پروتون است.)

••۳۴ GO شکل ۲۱-۳۵ الکترون‌های ۱ و ۲ را روی محور x و یون‌های باردار ۳ و ۴ با بار یکسان $-q$ را در زاویه‌های یکسان θ نشان می‌دهد. الکترون ۲ می‌تواند حرکت کند؛ سه ذره‌ی دیگر در مکان‌های خود به فاصله‌ی افقی R از الکترون ۲ ثابت شده‌اند و می‌خواهیم بر اثر حضور آنها الکترون ۲ در جای خود ثابت بماند. به‌ازای مقادیر از لحاظ فیزیکی ممکن $q \le 5e$، (الف) کوچکترین، (ب) دومین کوچکترین، و (پ) سومین کوچکترین مقدار θ چقدر باشد تا الکترون ۲ در جای خود ثابت بماند؟



شکل ۲۱-۳۵ مسئله‌ی ۳۴

••۳۵ در بلورهای نمک سزیم‌کلراید، یون‌های سزیم Cs^+ هشت گوشه‌ی یک مکعب را تشکیل می‌دهند و یون Cl^- در مرکز مکعب قرار دارد (شکل ۲۱-۳۶). طول هر ضلع مکعب $0.40\,nm$ است. یون‌های Cs^+ هر کدام فاقد یک الکترون‌اند (و بنابراین بار هر یک $+e$ است)، و یون Cl^- یک الکترون اضافی دارد (و بنابراین بار آن $-e$ است). (الف) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر یون Cl^- از سوی ۸ یون Cs^+ که در گوشه‌های مکعب قرار دارند چیست؟ اگر یکی از یون‌های Cs^+ حضور نداشته باشد، گفته می‌شود که بلور دارای *نقص* است؛ آنگاه بزرگی نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر یون Cl^- از سوی هفت یون Cs^+ باقی‌مانده چقدر می‌شود؟



شکل ۲۱-۳۶ مسئله‌ی ۳۵

بخش ۲۱-۳ بار پایسته است

•۳۶ الکترون‌ها و پوزیترون‌ها توسط تبدیل‌های هسته‌ای پروتون‌ها و نوترون‌ها ایجاد می‌شوند که به *واپاشی بتا* معروف‌اند. (الف) با تبدیل یک پروتون به یک نوترون، آیا یک الکترون یا یک پوزیترون ایجاد می‌شود؟ (ب) با تبدیل یک نوترون به یک پروتون، آیا یک الکترون یا یک پوزیترون ایجاد می‌شود؟

•۳۷ X را با استفاده از پیوست ج در واکنش‌های زیر تعیین کنید:

(الف) ${}^{1}H + {}^{9}Be \rightarrow X + n$

(ب) ${}^{12}C + {}^{1}H \rightarrow X$

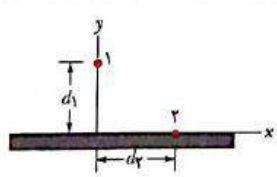
(پ) ${}^{15}N + {}^{1}H \rightarrow {}^{4}He + X$

مسئله‌های تکمیلی

۳۸ GO شکل ۲۱-۳۷ چهار کره‌ی رسانای مشابه را نشان می‌دهد که در واقع به فاصله‌ی دوری از هم قرار دارند. کره‌ی W (با بار اولیه‌ی صفر) به کره‌ی A تماس داده می‌شود و سپس از آن جدا می‌گردد. آنگاه، کره‌ی W به کره‌ی B (با بار اولیه‌ی $-32e$) تماس داده می‌شود و سپس از آن جدا می‌گردد. سرانجام، کره‌ی W به کره‌ی C (با بار اولیه‌ی $+48e$) تماس داده می‌شود، و سپس از آن جدا می‌گردد. بار نهایی روی کره‌ی W برابر با $+18e$ است. بار اولیه‌ی کره‌ی A چقدر بوده است؟

شکل ۲۱-۳۷ مسئله‌ی ۳۸

۳۹ در شکل ۲۱-۳۸، ذره‌ی ۱ با بار $+4e$ به فاصله‌ی $d_1 = 2.0\,mm$ بالای سطح افقی و ذره‌ی ۲ با بار $+6e$ به فاصله‌ی افقی $d_2 = 6.0\,mm$ از ذره‌ی ۱ قرار گرفته است. مؤلفه‌ی x نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی ۲ از سوی ذره‌ی ۱ چقدر است؟



شکل ۲۱-۳۸ مسئله‌ی ۳۹

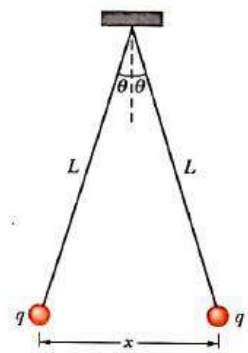
۴۰ در شکل ۲۱-۲۳، ذره‌های ۱ و ۲ در جای خود ثابت شده‌اند، ولی ذره‌ی ۳ می‌تواند حرکت کند. اگر نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳ از سوی ذره‌های ۱ و ۲ برابر صفر و $L_{32} = 2.00 L_{12}$ باشد، نسبت q_1 / q_2 چقدر است؟

۴۱ (الف) چه بارهای مثبت یکسانی باید روی کره زمین و کره ماه قرار داده شوند تا جاذبه‌ی گرانشی بین آنها را خنثی کند؟ (ب) چرا در حلّ این مسئله نیازی به دانستن فاصله‌ی ماه از زمین ندارید؟ (پ) چند کیلوگرم یون هیدروژن (یعنی، پروتون) لازم است تا بار مثبت محاسبه شده در قسمت (الف) تهیه شود؟

۴۲ در شکل ۲۱-۳۹، دو گوی رسانای کوچک با جرم یکسان m و بار یکسان q از نخ‌های نارسانایی به طول L آویخته شده‌اند. فرض کنید θ به حدی کوچک است که $\tan\theta$ را می‌توان با مقدار تقریبی آن، $\sin\theta$، جایگزین کرد. (الف) نشان دهید

$$x = \left(\frac{q^2 L}{2\pi\varepsilon_0 mg}\right)^{\frac{1}{3}}$$

فاصله‌ی جدایی گوی‌ها را در وضعیت تعادل به‌دست می‌دهد. (ب) اگر $L = 120\,\text{cm}$، $m = 10\,\text{g}$ و $x = 5.0\,\text{cm}$ باشد، $|q|$ چقدر است؟



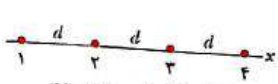
شکل ۲۱-۳۹ مسئله‌های ۴۲ و ۴۳

۴۳ (الف) توضیح دهید اگر یکی از گوی‌های مسئله ۴۲ تخلیه شود (بار خود را، مثلاً از طریق زمین از دست دهد) برای گوی‌ها چه رخ می‌دهد. (ب) فاصله‌ی تعادل جدید x را، با استفاده از مقادیر معین L و m و مقدار محاسبه شده‌ی $|q|$، به‌دست آورید.

۴۴ دو پروتون باید در چه فاصله‌ای از هم قرار گیرند تا بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر هر کدام از سوی دیگری برابر با بزرگی نیروی گرانشی وارد بر یک پروتون در سطح کره زمین شود؟

۴۵ چند مگاکولن بار مثبت در ۱٫۰۰ مول گاز هیدروژن مولکولی خنثی (H_2) وجود دارد؟

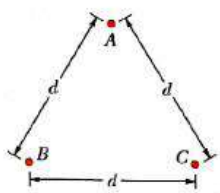
۴۶ در شکل ۲۱-۴۰، چهار ذره روی محور x، با فاصله‌ی $d = 2.00\,\text{cm}$، ثابت شده‌اند. بارها عبارت‌اند از $q_1 = +2e$، $q_2 = -e$، $q_3 = +e$، و $q_4 = +4e$، بطوری که $e = 1.60\times10^{-19}\,\text{C}$. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر (الف) ذره‌ی ۱ و (ب) ذره‌ی ۲ از سوی ذره‌های دیگر چگونه است؟



شکل ۲۱-۴۰ مسئله‌ی ۴۶

۴۷ GO بارهای نقطه‌ای $+6.0\,\mu\text{C}$ و $-4.0\,\mu\text{C}$ روی محور x، به ترتیب در $x = 8.0\,\text{m}$ و $x = 16\,\text{m}$ ثابت شده‌اند. چه باری باید در $x = 24\,\text{m}$ قرار داده شود تا به هر بار واقع در مبدأ هیچ نیروی الکتروستاتیکی خالصی وارد نشود؟

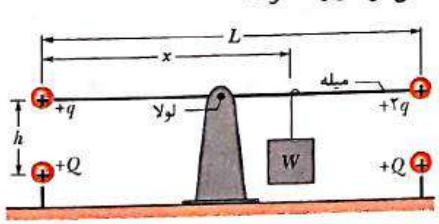
۴۸ در شکل ۲۱-۴۱، سه کره‌ی رسانای مشابه تشکیل مثلث متساوی‌الاضلاعی به طول $d = 20.0\,\text{cm}$ را داده‌اند. شعاع کره‌ها کوچکتر از d است و بار کره‌ها عبارت‌اند از $q_A = -2.00\,\text{nC}$، $q_B = -4.00\,\text{nC}$، و $q_C = +8.00\,\text{nC}$. (الف) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان کره‌های A و C چقدر است؟ حال مراحل زیر را در پی هم انجام می‌دهیم: A و B را با سیم نازکی به هم وصل می‌کنیم و سپس اتصال را برمی‌داریم؛ B را با سیمی به زمین وصل می‌کنیم و سپس اتصال را برمی‌داریم؛ B و C را با سیمی به هم وصل می‌کنیم و سپس اتصال را برمی‌داریم. اکنون بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان (ب) کره‌های A و C و (پ) کره‌های B و C چقدر است؟



شکل ۲۱-۴۱ مسئله‌ی ۴۸

۴۹ هر نوترون شامل یک کوارک "بالا" با بار $+2e/3$ و دو کوارک "پایین" هر یک با بار $-e/3$ است. اگر فرض کنیم فاصله‌ی بین کوارک‌های پایین در داخل نوترون برابر با $2.6\times10^{-15}\,\text{m}$ باشد، بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان آنها چقدر است؟

۵۰ شکل ۲۱-۴۲ یک میله‌ی نارسانای بدون جرم بلند به طول L را نشان می‌دهد که در مرکزش لولا شده و با قطعه‌ای به وزن W در فاصله‌ی x از انتهای چپ میله به توازن رسیده است. در دو انتهای چپ و راست میله کره‌های رسانای کوچکی متصل شده‌اند که به‌ترتیب دارای بار q و $2q$ هستند. کره‌هایی با بار مثبت Q در فاصله‌ی h مستقیماً زیر این دو کره محکم شده‌اند.(الف) وقتی میله افقی و در توازن است، فاصله‌ی x چقدر است؟ (ب) h باید چه مقداری داشته باشد تا وقتی میله افقی و در توازن است هیچ نیروی قائمی به محلّ لولا وارد نشود؟



شکل ۲۱-۴۲ مسئله‌ی ۵۰

۵۱ میله‌ی نارسانای بارداری، به طول $2.00\,\text{m}$ و سطح مقطع $4.00\,\text{cm}^2$، طوری روی طرف مثبت یک محور x قرار دارد که یک

سرش در مبدأ آن واقع است. *چگالی حجمی بار* ρ، بار بر واحد حجم، بر حسب کولن بر مترمکعب است. اگر ρ (الف) یکنواخت، با مقدار $-۴٫۰۰\mu C/m^3$، و (ب) نایکنواخت با مقدار $\rho = bx^2$ باشد که در آن $b = -۲٫۰۰\mu C/m^5$ است، چه مقدار الکترون اضافی روی میله قرار دارد؟

۵۲ ذره‌ای با بار Q در مبداء یک دستگاه مختصات xy ثابت شده است. در لحظه‌ی $t = ۰$ ذره‌ای $(q = ۴٫۰۰\mu C, m = ۰٫۸۰۰g)$ که روی محور x در $x = ۲۰٫۰cm$ قرار دارد، با سرعت $۵۰٫۰m/s$ در جهت مثبت محور y حرکت می‌کند. به‌ازای چه مقداری از Q، ذره‌ی متحرک حرکت دایره‌ای انجام می‌دهد؟ (از نیروی گرانشی وارد بر ذره چشم‌پوشی کنید.)

۵۳ بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان دو بار نقطه‌ای $۱٫۰۰C$ که به فاصله‌ی (الف) $۱٫۰۰m$ و (ب) $۱٫۰۰km$ از هم قرار دارند، چقدر می‌شد اگر چنین بارهای نقطه‌ای وجود می‌داشت (که ندارند) و چنین پیکربندی‌ای می‌توانست ایجاد شود.

۵۴ بار $۶٫۰\mu C$ باید به دو بخش تقسیم شود و سپس این بخش‌ها به فاصله‌ی $۳٫۰mm$ از هم قرار داده شوند. بیشینه‌ی مقدار ممکن نیروی الکتروستاتیکی میان این دو بخش چقدر می‌شود؟

۵۵ از بار Q روی یک کره کوچک، کسر α به کره دیگری در نزدیکی آن منتقل می‌شود. کره‌ها را می‌توان به‌صورت ذره در نظر گرفت. (الف) به‌ازای چه مقداری از α، بزرگی نیروی الکتروستاتیکی F بین این دو کره بیشینه می‌شود؟ آن مقدار (ب) کوچکتر و (پ) بزرگتر α که F را برابر با نصف مقدار بیشینه‌ی آن می‌کند، چقدر است؟

۵۶ اگر گربه‌ای در هوایی خشک خود را مرتباً به لباس کتان شما مالش دهد، انتقال بار میان موهای گربه و لباس کتان می‌تواند بار اضافی $-۲٫۰۰\mu C$ را روی شما بر جای بگذارد. (الف) چه تعداد الکترون بین شما و گربه منتقل شده است؟

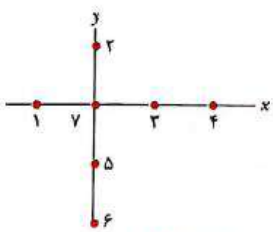
بار روی شما به‌تدریج از طریق کف زمین تخلیه می‌شود، ولی اگر به جای اینکه منتظر تخلیه‌ی بار بمانید، بی‌درنگ به سوی یک شیر آب بروید، ممکن است وقتی انگشتان خود را نزدیک شیر آب می‌برید ناگهان با یک جرقه‌ی دردناک مواجه شوید. (ب) در حین این جرقه، آیا الکترون‌ها از طرف شما به سمت شیر آب می‌روند یا برعکس؟ (پ) درست پیش از آنکه جرقه زده شود، آیا شما بار مثبت در شیر آب القأ می‌کنید یا بار منفی؟ (ت) اگر، به جای شما، گربه پنجه‌هایش را به شیر آب برساند، الکترون‌ها در جرقه‌ی حاصل در کدام مسیر حرکت می‌کنند؟ (ث) اگر در یک هوای خشک، گربه‌ای را با دست لخت نوازش دهید، باید مراقب باشید که انگشتان خود را نزدیک بینی گربه نبرید، چرا که در آن صورت او را با جرقه‌ای آزار می‌دهید. با توجه به اینکه موهای گربه عایق است، توضیح دهید که این جرقه چطور ممکن است ظاهر شود؟

۵۷ می‌دانیم بار منفی الکترون و بار مثبت پروتون با هم برابرند ولی فرض کنید مقدار آنها به اندازه‌ی ۰٫۰۰۰۰۱۰٪ با هم متفاوت باشد. دو سکه‌ی مسی که به فاصله‌ی $۱٫۰m$ از هم قرار گرفته‌اند، با چه نیرویی همدیگر را دفع می‌کنند؟ فرض کنید که هر سکه دارای ۳×۱۰^{۲۲} اتم مس باشد. (*راهنمایی:* یک اتم مس خنثی دارای ۲۹ پروتون و ۲۹ الکترون است.) از اینجا چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۵۸ در شکل ۲۱-۲۶ ذره‌ی ۱ با بار $-۸۰٫۰\mu C$ و ذره‌ی ۲ با بار $+۴۰٫۰\mu C$ در فاصله‌ی $L = ۱۵٫۰cm$ روی محور x ثابت نگه داشته شده‌اند. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳، با بار $q_۳ = ۲۰٫۰\mu C$ چگونه است، در صورتی که ذره‌ی ۳ در (الف) $x = ۴۰٫۰cm$ و (ب) $x = ۸۰٫۰cm$ واقع شده باشد؟ اگر نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۳ از سوی ذره‌های ۱ و ۲ برابر صفر باشد، مختصه‌ی (پ) x و (ت) y ذره‌ی ۳ باید چقدر باشد؟

۵۹ بار کلّ $۷۵٫۰kg$ الکترون بر حسب کولن چقدر است؟

۶۰ در شکل ۲۱-۴۳، شش ذره‌ی باردار، ذره‌ی ۷ را در برگرفته‌اند که در فاصله‌های شعاعی $d = ۱٫۰cm$ یا $۲d$ از آن قرار دارند. بارها عبارتند از $q_۱ = +۲e$، $q_۲ = +۴e$، $q_۳ = +e$، $q_۴ = +۴e$، $q_۵ = +۲e$، $q_۶ = +۸e$، $q_۷ = +۶e$، بر حسب $e = ۱٫۶\times۱۰^{-۱۹}C$. بزرگی نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی ۷ چقدر است؟

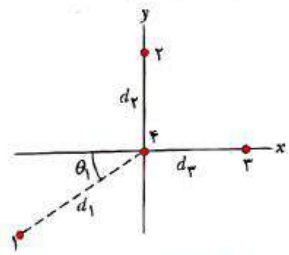


شکل ۲۱-۴۳ مسئله‌ی ۶۰

۶۱ سه ذره‌ی باردار تشکیل مثلثی را داده‌اند: ذره‌ی ۱ با بار $Q_۱ = ۸۰٫۰nC$ در مختصات xy $(۰٫۳۰۰mm, ۰)$، ذره‌ی ۲ با بار $Q_۲$ در $(۰, -۳٫۰۰mm)$، و ذره‌ی ۳ با بار $q = ۱۸٫۰nC$ در $(۴٫۰mm, ۰)$. بر حسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی الکتروستاتیکی وارد بر ذره‌ی ۳ از سوی دو ذره‌ی دیگر چگونه می‌شود اگر $Q_۲$ برابر با (الف) $۸۰٫۰nC$ و (ب) $-۸۰٫۰nC$ باشد؟

۶۲ در شکل ۲۱-۴۴ (الف) بزرگی و (ب) جهت نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۴ از سوی سه ذره‌ی دیگر چیست؟ هر چهار ذره در صفحه‌ی xy ثابت شده‌اند و $q_۱ = -۳٫۲۰\times۱۰^{-۱۹}C$، $q_۲ = +۳٫۲۰\times۱۰^{-۱۹}C$،

$\theta_1 = 35/0^\circ$ ، $q_2 = +3/20\times10^{-19}\,C$ ، $q_3 = +6/40\times10^{-19}\,C$
$d_1 = 3/00\,cm$ و $d_2 = d_3 = 2/00\,cm$.



شکل ۲۱-۴۴ مسئله‌ی ۶۲

۶۳ دو بار نقطه‌ای $30\,nC$ و $-40\,nC$ روی محور x به ترتیب در مبدأ و در $x = 72\,cm$ ثابت شده‌اند. ذره‌ای با بار $42\,\mu C$ در $x = 28\,cm$ از حال سکون رها می‌شود. اگر بزرگی شتاب اولیه‌ی این ذره $100\,km/s^2$ باشد، جرم آن چقدر است؟

۶۴ دو کره‌ی باردار مثبت کوچک مجموعاً دارای باری برابر با $5/0\times10^{-5}\,C$ هستند. اگر وقتی فاصله‌ی دو کره از هم $2/0\,m$ باشد، هر کره با نیروی الکتروستاتیکی $1/0\,N$ توسط دیگری دفع شود، بار روی کره‌ای که بار آن کوچکتر است، چقدر است؟

۶۵ بارهای اولیه‌ی سه کره‌ی فلزی یکسان شکل ۲۱-۲۴ عبارت‌اند از: کره A با بار Q؛ کره B با بار $-Q/4$؛ و کره C با بار $Q/2$، که $Q = 2/00\times10^{-14}\,C$ است. فاصله‌ی مرکز به مرکز کره‌های A و B که در جای خود ثابت شده‌اند، برابر با $d = 1/20\,m$ است که این بسیار بزرگتر از اندازه‌ی کره‌هاست. کره C نخست به کره A و سپس به کره B تماس داده شده، و سپس برداشته می‌شود. آنگاه بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان کره‌های A و B چقدر است؟

۶۶ الکترونی در خلائی نزدیک به سطح زمین و در $y = 0$ روی محور قائم y قرار دارد. الکترون دوم باید در چه مقداری از y قرار گیرد تا نیروی الکتروستاتیکی وارد از آن به الکترون اول برابر با نیروی گرانشی وارد بر الکترون اول شود؟

۶۷ در شکل ۲۱-۲۶، ذره‌ی ۱ با بار $-5/00q$ و ذره‌ی ۲ با بار $+2/00q$، روی محور x در فاصله‌ی L از هم ثابت شده‌اند. اگر ذره‌ی ۳ با بار نامعلوم q_3 به‌گونه‌ای قرار داده شود که نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر آن از سوی ذره‌های ۱ و ۲ برابر صفر شود، مختصه‌ی (الف) x و (ب) y ذره‌ی ۳ چقدر باید باشد؟

۶۸ دو دانشجوی مهندسی، جهان به جرم $80\,kg$ و مریم به جرم $45\,kg$ به فاصله‌ی $30\,m$ از هم قرار دارند. فرض کنید هر یک دارای عدم توازن باری به اندازه ۰/۰۱٪ در مقدار بار مثبت و منفی، و یکی باردار مثبت و دیگری باردار منفی باشد. با جایگزین کردن هر دانشجو با کره‌ی آبی به جرم همان دانشجو، مرتبه‌ی بزرگی نیروی جاذبه‌ی الکتروستاتیکی میان آنها را پیدا کنید.

۶۹ در واپاشی پرتوزای معادله‌ی ۲۱-۱۳، هسته‌ی ^{238}U به ^{234}Th و یک ^{4}He گسیل‌شده، تبدیل می‌شود. (این‌ها هسته‌اند نه اتم، و از همین رو است که الکترون‌ها وارد نشده‌اند.) وقتی فاصله‌ی میان ^{234}Th و ^{4}He برابر $9/0\times10^{-15}\,m$ باشد، بزرگی (الف) نیروی الکتروستاتیکی میان آنها و (ب) شتاب ذره‌ی ^{4}He چقدر می‌شود؟

۷۰ در شکل ۲۱-۲۵، چهار ذره تشکیل مربعی را داده‌اند. بارها عبارت‌اند از $q_1 = +Q$، $q_2 = q_3 = q$ و $q_4 = -2/00Q$. اگر نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر ذره‌ی ۱ برابر صفر باشد، نسبت q/Q چقدر است؟

۷۱ در یک پوسته‌ی کروی فلزی به شعاع R الکترونی از مرکز کره مستقیماً به سمت حفره‌ی کوچکی روی پوسته شلیک می‌شود و از آن عبور می‌کند. پوسته دارای باری منفی با *چگالی بار سطحی* (بار بر واحد سطح) $6/90\times10^{-13}\,C/m^2$ است. وقتی الکترون به فاصله‌ی شعاعی (الف) $R = 0/500R$ و (ب) $r = 2/00R$ می‌رسد، بزرگی شتاب آن چقدر است؟

۷۲ الکترونی با تندی اولیه‌ی $v_i = 3/2\times10^5\,m/s$ مستقیماً به سمت پروتونی که در فاصله‌ای بسیار دور ساکن است، شلیک می‌شود. چون جرم پروتون نسبت به جرم الکترون بزرگ است، فرض کنید پروتون ساکن باقی می‌ماند. با محاسبه‌ی کار انجام شده روی الکترون توسط نیروی الکتروستاتیکی، فاصله‌ی بین دو ذره را به هنگامی که الکترون دارای تندی لحظه‌ای $2v_i$ است، تعیین کنید.

۷۳ در مدل قدیمی اتم هیدروژن (*مدل بور*)، الکترون با حرکت دایره‌ای یکنواخت به دور پروتون می‌چرخد. شعاع این دایره به مقادیر معینی محدود (کوانتیده) شده است که با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

$$r = n^2 a_0, \quad \text{به‌ازای} \quad n = 1,2,3,\ldots$$

و در آن $a_0 = 52/92\,pm$ است. تندی الکترون چقدر است، اگر (الف) در کوچکترین مدار مجاز و (ب) در دومین مدار کوچک بچرخد؟ (پ) اگر الکترون به مدارهایی بزرگتر حرکت کند، آیا تندی آن افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا تغییری نمی‌کند؟

۷۴ جریان یکنواخت $0/83\,A$ از رشته(فیلامان) یک لامپ $100\,W$ عبور می‌کند. زمان لازم برای آنکه ۱ مول الکترون از لامپ بگذرد، چقدر است؟

۷۵ بارهای الکترون و پوزیترون به‌ترتیب $-e$ و $+e$، و جرم هر کدام $9/11\times10^{-31}\,kg$ است. نسبت نیروی الکتریکی به نیروی گرانشی بین یک الکترون و یک پوزیترون چقدر است؟