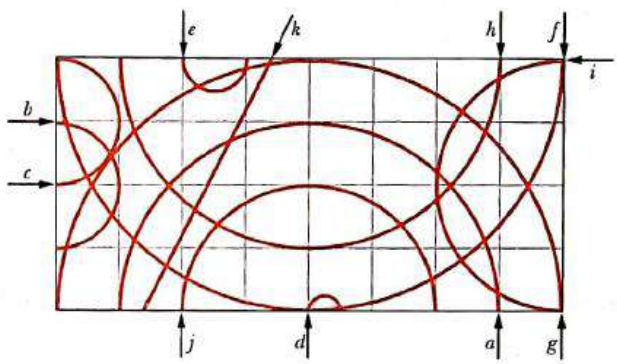
۱۰ *پیچ وخم‌های ذره.* شکل ۲۸-۲۹، ۱۱ مسیر در ناحیه‌ای از میدان مغناطیسی یکنواخت را نشان می‌دهد. یکی از مسیرها خطّ مستقیمی است؛ بقیه نیم‌دایره‌اند. جدول ۲۸-۴ جرم، بار و تندی ۱۱ ذره را به‌دست می‌دهد که این مسیرهای عبوری از میدان را در جهت‌های نشان داده شده طی می‌کنند. کدام مسیر شکل مربوط به کدام ذره‌ی جدول است؟

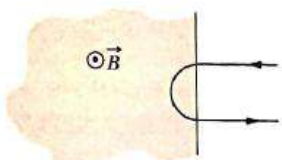


شکل ۲۸-۲۹ پرسش ۱۰

جدول ۲۸-۴ پرسش ۱۰

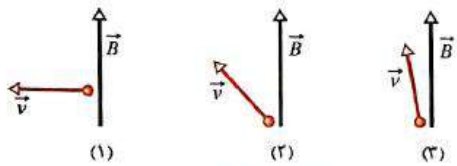
ذره	جرم	بار	تندی
۱	$2m$	q	v
۲	m	$2q$	v
۳	$m/2$	q	$2v$
۴	$3m$	$3q$	$3v$
۵	$2m$	q	$2v$
۶	m	$-q$	$2v$
۷	m	$-4q$	v
۸	m	$-q$	v
۹	$2m$	$-2q$	$3v$
۱۰	m	$-2q$	$8v$
۱۱	$3m$	0	$3v$

۱۱ در شکل ۲۸-۳۰، یک ذره‌ی بادار با تندی v_0 وارد میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ می‌شود و پس از طیّ مسیری نیم‌دایره‌ای در زمان T_0، از این میدان خارج می‌شود. (الف) آیا بار ذره مثبت است یا منفی؟ (ب) آیا تندی نهایی ذره بزرگتر از v_0 است یا کوچکتر از آن، و یا برابر با آن است؟ (پ) اگر تندی اولیه‌ی ذره $0{,}5v_0$ بوده باشد، آیا زمان طی شده در میدان $\vec{B}$ بیشتر از T_0 می‌شود یا کمتر، و یا برابر با آن؟ (ت) آیا این مسیر طی شده یک نیم‌دایره است، بزرگتر از یک نیم‌دایره است، و یا کوچکتر از آن؟



شکل ۲۸-۳۰ پرسش ۱۱

۱۲ شکل ۲۸-۳۱ عکس‌هایی لحظه‌ای برای سه وضعیت را نشان می‌دهد که در آنها یک ذره‌ی باردار مثبت از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ می‌گذرد. سمتگیری سرعت‌های $\vec{v}$ی ذره در سه تصویر متفاوت است، ولی بزرگی آنها یکسان است. این سه وضعیت را برطبق (الف) دوره‌ی چرخش، (ب) بسامد، و (پ) گام حرکت ذره به‌گونه‌ای مرتب کنید که بیشترین مقدار در ابتدا باشد.



شکل ۲۸-۳۱ پرسش ۱۲

30

مسئله‌ها

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

ILW حل در

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

WWW حل به روش تعاملی در

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

بخش ۲۸-۱ میدان‌های مغناطیسی و تعریف $\vec{B}$

۱۰ ILW پروتونی تحت زاویه‌ی $23{,}0^\circ$ نسبت به جهت یک میدان مغناطیسی به بزرگی $2{,}60\,\text{mT}$ حرکت می‌کند و بر آن نیروی مغناطیسی $6{,}50\times10^{-17}\,\text{N}$ وارد می‌شود. (الف) تندی پروتون و (ب) انرژی جنبشی آن برحسب الکترون- ولت چقدر است؟

۲۰ ذره‌ای به جرم $10\,\text{g}$ و بار $180\,\mu\text{C}$ از میدان مغناطیسی یکنواختی می‌گذرد، که در آن ناحیه شتاب سقوط آزاد $-9{,}8\hat{j}\,\text{m/s}^2$ است. سرعت ذره، مقدار ثابت $20\hat{i}\,\text{km/h}$ را دارد، که عمود بر میدان مغناطیسی است. در این صورت، میدان مغناطیسی چگونه است؟

۳۰ الکترونی با سرعت

$$\vec{v}=(2{,}0\times10^6\,\text{m/s})\hat{i}+(3{,}0\times10^6\,\text{m/s})\hat{j}$$

از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}=(0{,}030\,\text{T})\hat{i}-(0{,}15\,\text{T})\hat{j}$ می‌گذرد. (الف) نیروی وارد بر این الکترون از سوی میدان مغناطیسی را به‌دست آورید. (ب) محاسبه‌ی خود را برای پروتونی با همین سرعت تکرار کنید.

• ٤ یک ذره‌ی آلفا با سرعت $\vec{v}$ به بزرگی $550\,m/s$ از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به بزرگی $0.045\,T$ می‌گذرد. (ذره‌ی آلفا دارای بار $+3.2\times10^{-19}\,C$ و جرم $6.6\times10^{-27}\,kg$ است.) زاویه‌ی $\vec{v}$ و $\vec{B}$ برابر 52° است. بزرگی (الف) نیروی $\vec{F}_B$ی وارد بر ذره از سوی میدان و (ب) شتاب ذره ناشی از $\vec{F}_B$ چقدر است؟ (پ) آیا تندی ذره افزایش می‌یابد یا کاهش، و یا بدون تغییر باقی می‌ماند؟

•• ٥ GO الکترونی در میدان مغناطیسی یکنواختی حرکت می‌کند که با $\vec{B}=B_x\hat{i}+(3.0B_x)\hat{j}$ داده شده است. در یک لحظه‌ی خاص، سرعت الکترون $\vec{v}=(2.0\hat{i}+4.0\hat{j})\,m/s$ و نیروی مغناطیسی وارد بر آن $(6.4\times10^{-19}N)\hat{k}$ است. B_x را به‌دست آورید.

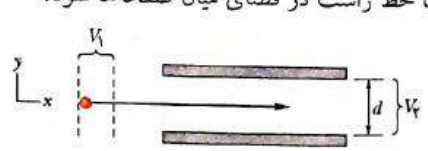
•• ٦ GO پروتونی در میدان مغناطیسی یکنواختی حرکت می‌کند که با $\vec{B}=(10\hat{i}-20\hat{j}+30\hat{k})\,mT$ داده شده‌است. در لحظه‌ی t_1، سرعت پروتون $\vec{v}=v_x\hat{i}+v_y\hat{j}+(2.0\,km/s)\hat{k}$ و نیروی مغناطیسی وارد بر پروتون $\vec{F}_B=(4.0\times10^{-17}N)\hat{i}+(2.0\times10^{-17}N)\hat{j}$ است. در این لحظه، (الف) v_x و (ب) v_y چقدر است؟

بخش ۲۸-۲ میدان‌های متعامد: کشف الکترون

• ٧ الکترونی دارای سرعت اولیه‌ی $(12.0\hat{j}+15.0\hat{k})\,km/s$ و شتاب ثابت $(2.00\times10^{12}\,m/s^2)\hat{i}$ در ناحیه‌ای است که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی یکنواختی در آن وجود دارد. اگر $\vec{B}=(400\mu T)\hat{i}$ باشد، میدان الکتریکی $\vec{E}$ را بیابید.

• ٨ یک میدان الکتریکی $1.50\,kV/m$ و یک میدان مغناطیسی متعامد $0.400\,T$ بر الکترون متحرکی اثر می‌کنند، طوری‌که هیچ نیروی خالصی ایجاد نمی‌شود. تندی الکترون چقدر است؟

• ٩ ILW در شکل ۲۸-۳۲، الکترونی تحت اختلاف پتانسیل $V_1=1.00\,kV$ از حالت سکون شتاب گرفته و وارد فضای بین دو صفحه‌ی موازی با فاصله‌ی جدایی $d=20.0\,mm$ و اختلاف پتانسیل $V_2=100\,V$ شده است. صفحه‌ی پایینی در پتانسیل پایین‌تری واقع است. از فریزشدگی خطوط میدان چشم‌پوشی کنید و فرض کنید بردار سرعت الکترون بر بردار میدان الکتریکی میان صفحه‌ها عمود است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، چه میدان مغناطیسی یکنواختی می‌تواند موجب حرکت مستقیم الکترون بر راستای یک خط راست در فضای میان صفحه‌ها شود؟

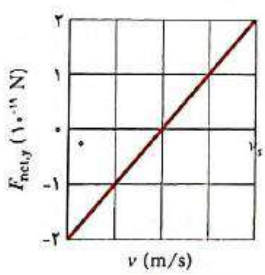


شکل ۲۸-۳۲ مسئله‌ی ۹

•• ١٠ پروتونی در میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی یکنواختی حرکت می‌کند. میدان مغناطیسی $\vec{B}=-2.50\hat{i}\,mT$ است. در یک لحظه، سرعت پروتون $\vec{v}=2000\hat{j}\,m/s$ است. در این لحظه و برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی خالص وارد بر پروتون چگونه است، اگر میدان الکتریکی (الف) $4.00\hat{k}\,V/m$، (ب) $-4.00\hat{k}\,V/m$ و (پ) $4.00\hat{i}\,V/m$ باشد؟

•• ١١ GO یک چشمه‌ی یونی، یون‌های Li^6 تولید می‌کند که دارای بار $+e$ و جرم $9.99\times10^{-27}\,kg$ هستند. این یون‌ها توسط اختلاف پتانسیل $10\,kV$ شتاب می‌گیرند و به‌طور افقی از ناحیه‌ای می‌گذرند که در آنجا میدان مغناطیسی یکنواخت قائمی به بزرگی $B=1.2\,T$ وجود دارد. شدت میدان الکتریکی را که باید در آن ناحیه برقرار باشد تا یون‌های Li^6 بدون هرگونه انحرافی از آن عبور کنند، محاسبه کنید.

•• ١٢ GO در لحظه‌ی t_1، الکترونی در سوی مثبت محور x، به ناحیه‌ای شامل هر دو میدان الکتریکی $\vec{E}$ و میدان مغناطیسی $\vec{B}$ فرستاده می‌شود، در حالی‌که $\vec{E}$ موازی با محور y است. شکل ۲۸-۳۳، مؤلفه‌ی y نیروی خالص $F_{net,y}$ وارد بر الکترون ناشی از هر دو میدان را برحسب تابعی از تندی v در لحظه‌ی t_1 نشان می‌دهد. محور سرعت با $v_s=100\,m/s$ مقیاس‌بندی شده است. مؤلفه‌های x و z نیروی خالص در لحظه‌ی t_1 برابر صفرند. با فرض $B_x=0$، (الف) بزرگی E و (ب) بردار $\vec{B}$ برحسب نمادگذاری بردارهای یکه را پیدا کنید.



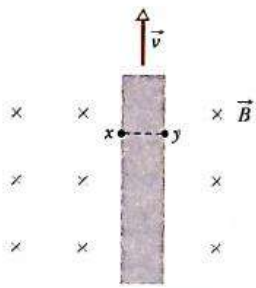
شکل ۲۸-۳۳ مسئله‌ی ۱۲

بخش ۲۸-۳ میدان‌های متعامد: اثر هال

• ١٣ نواری مسی به ضخامت $150\,\mu m$ و پهنای $4.5\,mm$ در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به بزرگی $0.65\,T$ قرار گرفته است، در حالی‌که $\vec{B}$ عمود بر این نوار است. سپس جریان $i=23\,A$ در طول نوار برقرار می‌شود، تا اختلاف پتانسیل هال V در دو سر پهنای نوار ایجاد گردد. V را محاسبه کنید. (تعداد حامل‌های بار بر واحد حجم مس برابر با $8.47\times10^{28}\,m^3$/الکترون است.)

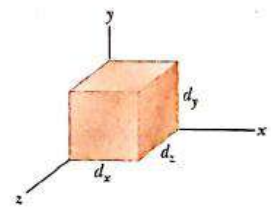
•• ١٤ همان‌طور که در شکل ۲۸-۳۴ نشان داده شده است، یک نوار فلزی به طول $6.50\,cm$، پهنای $0.850\,cm$ و ضخامت $0.760\,mm$ با سرعت ثابت $\vec{v}$ از میدان مغناطیسی یکنواخت $B=1.20\,mT$ که عمود بر نوار است، عبور می‌کند. اختلاف پتانسیل بین نقطه‌های x و

y این نوار، برابر $3{,}90\,\mu V$ اندازه گرفته شده است. تندی v ی نوار را محاسبه کنید.



شکل ۲۸-۳٤ مسئله‌ی ۱۴

●● ۱۵ GO یک مکعب مستطیل رسانای توپر به ابعاد $d_x = 5{,}00\,m$، $d_y = 3{,}00\,m$، و $d_z = 2{,}00\,m$ با سرعت ثابت $\vec{v} = (20{,}0\,m/s)\hat{i}$ در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B} = (30{,}0\,mT)\hat{j}$ حرکت می‌کند (شکل ۲۸-۳۵). (الف) میدان الکتریکی داخل این مکعب برحسب نمادگذاری بردارهای یکه و (ب) اختلاف پتانسیل دو سر مکعب چیست؟

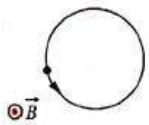


شکل ۲۸-۳۵ مسئله‌های ۱۵ و ۱۶

●●● ۱۶ GO شکل ۲۸-۳۵ قالبی فلزی را نشان می‌دهد که وجه‌های آن با محورهای مختصات موازی‌اند. این قالب در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی $0{,}020\,T$ قرار گرفته است. طول یک ضلع این قالب $25\,cm$ است؛ قالب به مقیاس رسم نشده است. این قالب با تندی $3{,}0\,m/s$، به‌نوبت، موازی هریک از محورها حرکت داده می‌شود و اختلاف پتانسیل Vی حاصل که در دو طرف قالب ظاهر می‌شود، اندازه گرفته می‌شود. با حرکت در راستای موازی محور y، $V = 12\,mV$، و با حرکت در راستای موازی محور z، $V = 18\,mV$ به‌دست می‌آید. ابعاد (الف) d_x، (ب) d_y، و (پ) d_z این قالب چقدر است؟

بخش ۲۸-٤ ذره‌ی باردار چرخان

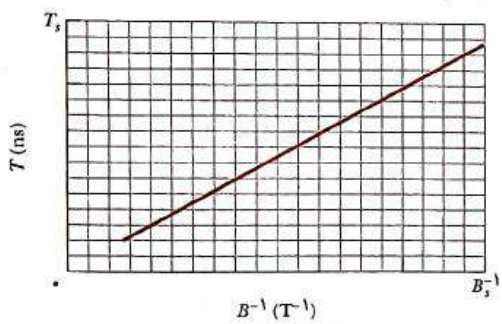
● ۱۷ ذره‌ی آلفا که می‌تواند در واپاشی‌های پرتوزای هسته‌ای معینی تولید شود شامل دو پروتون و دو نوترون است. این ذره دارای بار $q = +2e$ و جرم $4{,}00\,u$ است، که در آن u یکای جرم اتمی است، به‌طوری که $1\,u = 1{,}661\times10^{-27}\,kg$. فرض کنید یک ذره‌ی آلفا در مسیری دایره‌ای به شعاع $4{,}50\,cm$ در میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 1{,}20\,T$ حرکت می‌کند. (الف) تندی آن، (ب) دوره‌ی چرخش آن، (پ) انرژی جنبشی آن، و (ت) اختلاف پتانسیلی که تحت آن ذره تا رسیدن به این انرژی شتابدار شده است را محاسبه کنید.



شکل ۲۸-۳۶ مسئله‌ی ۱۸

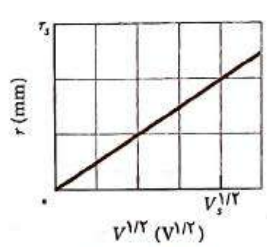
● ۱۸ GO در شکل ۲۸-۳۶ ذره‌ای در ناحیه‌ی یک میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی $B = 4{,}00\,mT$ بر دایره‌ای حرکت می‌کند. این ذره پروتون و یا الکترون است (شما باید تعیین کنید که کدام است). بر این ذره نیرویی مغناطیسی به بزرگی $3{,}20\times10^{-15}\,N$ وارد می‌شود. (الف) تندی ذره، (ب) شعاع دایره، و (پ) دوره‌ی چرخش چقدر است؟

● ۱۹ ذره‌ی معینی به داخل یک میدان مغناطیسی یکنواخت فرستاده می‌شود، در حالی‌که بردار سرعت آن عمود بر جهت میدان است. شکل ۲۸-۳۷ دوره‌ی چرخش Tی این ذره را برحسب *وارون* بزرگی میدان B نشان می‌دهد. محور قائم با $T_s = 40{,}0\,ns$ و محور افقی با $B_s^{-1} = 5{,}0\,T^{-1}$ مقیاس‌بندی شده است. نسبت m/q جرم ذره به بزرگی بار آن چقدر است؟



شکل ۲۸-۳۷ مسئله‌ی ۱۹

●● ۲۰ الکترونی از حالت سکون تحت اختلاف پتانسیل V شتاب می‌گیرد و سپس وارد ناحیه‌ای با میدان مغناطیسی یکنواخت می‌شود، که در آنجا حرکت دایره‌ای یکنواخت انجام می‌دهد. شکل ۲۸-۳۸ شعاع r این حرکت را برحسب $V^{1/2}$ نشان می‌دهد. محور قائم با $r_s = 3{,}0\,mm$ و محور افقی با $V_s^{1/2} = 40{,}0\,V^{1/2}$ مقیاس‌بندی شده است. بزرگی میدان مغناطیسی چقدر است؟



شکل ۲۸-۳۸ مسئله‌ی ۲۰

●● ۲۱ الکترونی با انرژی جنبشی $1{,}20\,keV$ مسیری دایره‌ای را در صفحه‌ای عمود بر یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌پیماید. شعاع

این مسیر ۲۵٫۰cm است. (الف) تندی الکترون، (ب) بزرگی میدان مغناطیسی، (پ) بسامد چرخش، و (ت) دوره‌ی چرخش را به‌دست آورید.

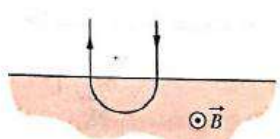
• ۲۲ در یک آزمایش هسته‌ای، پروتونی با انرژی جنبشی ۱٫۰MeV در یک میدان مغناطیسی یکنواخت بر مسیری دایره‌ای حرکت می‌کند. (الف) یک ذره‌ی آلفا ($q=+2e$, $m=4.0\,u$) و (ب) یک دوترون ($q=+e$, $m=2.0\,u$) باید دارای چه انرژی‌ای باشند تا بر همان مسیر دایره‌ای بچرخند؟

• ۲۳ چه میدان مغناطیسی یکنواختی لازم است بر باریکه‌ای از الکترون‌های متحرک با تندی $1.30\times10^{6}\,m/s$ اعمال شود تا این الکترون‌ها بر کمانی دایره‌ای به شعاع ۰٫۳۵۰m بچرخند؟

• ۲۴ الکترونی تحت اختلاف پتانسیل ۳۵۰V از حالت سکون شتاب می‌گیرد. سپس این الکترون وارد میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۲۰۰mT می‌شود، در حالی‌که سرعت آن عمود بر این میدان است. (الف) تندی الکترون و (ب) شعاع مسیر آن را در میدان مغناطیسی محاسبه کنید.

• ۲۵ (الف) بسامد چرخش یک الکترون با انرژی ۱۰۰eV را در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۳۵٫۰μT به‌دست آورید. (ب) شعاع مسیر این الکترون را در صورتی محاسبه کنید که سرعت آن عمود بر میدان مغناطیسی باشد.

•• ۲۶ در شکل ۲۸-۳۹، ذره‌ی بارداری به سمت ناحیه‌ای از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ حرکت می‌کند و پس از طیّ نیمی از یک دایره، از آن ناحیه خارج می‌شود. این ذره پروتون یا الکترون است (شما باید تعیین کنید که کدام است). ذره ۱۳۰ns را در این ناحیه سپری می‌کند. (الف) بزرگی $\vec{B}$ چقدر است؟ (ب) اگر این ذره دوباره به آن میدان مغناطیسی (در راستای مسیر اولیه) فرستاده شود، ولی با ۲٫۰۰ برابر انرژی جنبشی انرژی پیشین خود، در حین این حرکت چه مدت زمان را در میدان سپری خواهد کرد؟



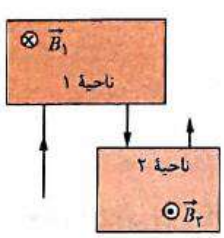
شکل ۲۸-۳۹ مسئله‌ی ۲۶

•• ۲۷ از یک طیف‌سنج جرمی تجاری (شکل ۲۸-۱۲) برای جدا کردن یون‌های اورانیوم به جرم $3.92\times10^{-25}\,kg$ و بار $3.20\times10^{-19}\,C$ از نمونه‌های مربوط استفاده شده است. این یون‌ها تحت اختلاف پتانسیل ۱۰۰kV شتاب می‌گیرند و سپس وارد ناحیه‌ی یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌شوند، که در آنجا در مسیری به شعاع ۱٫۰۰m خم می‌شوند. یون‌ها پس از طیّ ۱۸۰° و عبور از شکافی به پهنای ۱٫۰۰mm و بلندی ۱٫۰۰cm، در محفظه‌ای جمع‌آوری می‌شوند. (الف) بزرگی میدان مغناطیسی (قائم) در جداکننده چقدر است؟ اگر از این دستگاه برای جدا کردن ۱۰۰mg ماده در هر ساعت استفاده شود (ب) جریان یون‌های موردنظر در دستگاه و (پ) انرژی گرمایی تولید شده در محفظه را در طیّ ۱٫۰۰h محاسبه کنید.

•• ۲۸ ذره‌ای در یک میدان مغناطیسی یکنواخت، حرکت دایره‌ای یکنواختی را به شعاع 26.1μm انجام می‌دهد. بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر این ذره برابر با $1.60\times10^{-17}\,N$ است. انرژی جنبشی این ذره چقدر است؟

•• ۲۹ الکترونی در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی ۰٫۳۰۰T مسیری مارپیچ را پی می‌گیرد. گام این مسیر 6.00μm و بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر الکترون $2.00\times10^{-15}\,N$ است. تندی الکترون چقدر است؟

•• ۳۰ GO در شکل ۲۸-۴۰، الکترونی با انرژی جنبشی اولیه‌ی ۴٫۰keV در لحظه‌ی $t=0$ وارد ناحیه‌ی ۱ می‌شود. در این ناحیه، میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۰٫۰۱۰T برقرار است که جهت آن رو به سمت داخل صفحه‌ی شکل است. این الکترون پس از طیّ یک مسیر نیم‌دایره‌ای از ناحیه‌ی ۱ خارج می‌شود و در طول یک شکاف ۲۵٫۰ سانتی‌متری به سمت ناحیه‌ی ۲ می‌رود. اختلاف پتانسیل الکتریکی $\Delta V=2000\,V$ در دو سر این شکاف وجود دارد که قطبیّت آن به‌گونه‌ای است که تندی الکترون را به هنگام عبور از شکاف به‌طور یکنواختی افزایش می‌دهد. در ناحیه‌ی ۲ میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۰٫۰۲۰T به سمت خارج صفحه‌ی شکل وجود دارد. الکترون مسیری نیم‌دایره‌ای را طی می‌کند و سپس از ناحیه‌ی ۲ خارج می‌شود. الکترون در چه زمان t پی این ناحیه را ترک می‌کند؟



شکل ۲۸-۴۰ مسئله‌ی ۳۰

•• ۳۱ نوع خاصی از ذرات بنیادی با تبدیل به یک الکترون e^- یک پوزیترون e^+ وامی‌پاشد. فرض کنید این ذره‌ی واپاشیده در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ با بزرگی 3.53mT به حالت

سکون قرار دارد و e^- و e^+ از نقطه‌ی واپاشی در مسیرهایی از هم دور می‌شوند که در صفحه‌ای عمود بر $\vec{B}$ قرار دارند. چه مدت پس از واپاشی، e^- و e^+ باهم برخورد می‌کنند؟

۳۲•• چشمه‌ای یک الکترون را با تندی $v = 1{,}5\times10^{7}\,m/s$ به ناحیه‌ای از یک میدان مغناطیسی با بزرگی $B = 1{,}0\times10^{-3}\,T$ شلیک می‌کند. سرعت این الکترون با جهت میدان مغناطیسی زاویه‌ی $\theta = 10°$ می‌سازد. مسافت d یی را از نقطه‌ی شلیک بیابید که در آن الکترون بعداً خطّ میدانی را که از نقطه‌ی شلیک می‌گذرد، قطع می‌کند.

۳۳•• WWW یک پوزیترون با انرژی جنبشی ۲٫۰۰keV به ناحیه‌ای از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ با بزرگی ۰٫۰۰۱T شلیک می‌شود، در حالی‌که بردار سرعت آن با $\vec{B}$ زاویه‌ی ۸۹٫۰° می‌سازد. (الف) دوره‌ی چرخش، (ب) گام p، و (پ) شعاع r مسیر مارپیچی آن را پیدا کنید.

۳۴•• الکترونی در یک میدان مغناطیسی یکنواخت که با $\vec{B} = (20\hat{i} - 50\hat{j} - 30\hat{k})\,mT$ داده شده است بر مسیری مارپیچ حرکت می‌کند. در لحظه‌ی $t = 0$، سرعت الکترون با $\vec{v} = (20\hat{i} - 30\hat{j} + 50\hat{k})\,m/s$ داده می‌شود. (الف) زاویه‌ی ϕ میان $\vec{v}$ و $\vec{B}$ چقدر است؟ سرعت الکترون با زمان تغییر می‌کند. آیا (ب) تندی آن و (پ) زاویه‌ی ϕ نیز با زمان تغییر می‌کند؟ (ت) شعاع مسیر مارپیچ چقدر است؟

بخش ۲۸-۵ سیکلوترون‌ها و سنکروترون‌ها

۳۵•• پروتونی در یک سیکلوترون، تقریباً با شروع از حالت سکون در مرکز، می‌چرخد. هرگاه این پروتون از گاف میان دی‌ها بگذرد، اختلاف پتانسیل الکترونی میان دی‌ها ۲۰۰V است. (الف) با هر عبور از گاف، انرژی جنبشی پروتون چقدر افزایش می‌یابد؟ (ب) پس از اینکه پروتون ۱۰۰ دور کامل در این گاف بزند، انرژی جنبشی آن چقدر می‌شود؟ r_{100} را شعاع مسیر دایره‌ای پروتون به هنگامی در نظر بگیرید که ۱۰۰ دور را کامل می‌کند و وارد یک دی می‌شود و r_{101} را شعاع بعدی، به هنگام ورود به دی در زمان بعدی در نظر بگیرید. (پ) با تغییر شعاع از r_{100} به r_{101}، شعاع با چه درصدی تغییر می‌کند؟ یعنی، عبارت زیر چقدر است؟

$$\text{درصد افزایش شعاع} = \frac{r_{101} - r_{100}}{r_{100}}\times 100\%$$

۳۶•• سیکلوترونی با شعاع دی ۵۳٫۰cm در بسامد نوسانگر ۱۲٫۰MHz برای شتاب پروتون‌ها عمل می‌کند. (الف) بزرگی B ی میدان مغناطیسی موردنیاز برای رسیدن به وضعیت تشدید چقدر است؟ (ب) در این بزرگی، انرژی جنبشی پروتونی که از سیکلوترون خارج می‌شود چقدر است؟ حال فرض کنید $B = 1{,}57\,T$ است. (پ) اکنون چه بسامد نوسانگری برای رسیدن به وضعیت تشدید لازم است؟ (ت) در این بسامد، انرژی جنبشی پروتون خروجی چقدر است؟

۳۷•• طول کلّ مسیر پیموده شده توسط یک دوترون در سیکلوترونی به شعاع ۵۳cm و بسامد عمل ۱۲ MHz را در حین فرآیند شتاب‌گیری (کامل) برآورد کنید. فرض کنید پتانسیل شتاب‌دهنده‌ی بین دی‌ها ۸۰kV است.

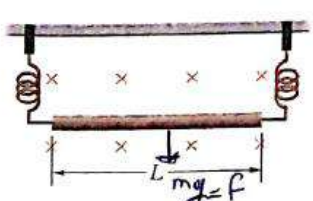
۳۸•• در یک سیکلوترون خاص، پروتون بر دایره‌ای به شعاع ۰٫۵۰۰m حرکت می‌کند. بزرگی میدان مغناطیسی ۱٫۲۰T است. (الف) بسامد نوسانگر چقدر است؟ (ب) انرژی جنبشی پروتون، بر حسب الکترون- ولت چقدر است؟

بخش ۲۸-۶ نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم حامل جریان

۳۹• یک خطّ انتقال برق افقی حامل جریان ۵۰۰۰A، در جهت جنوب به شمال است. میدان مغناطیسی زمین ($60{,}0\,\mu T$) به سمت شمال است و به اندازه‌ی ۷۰٫۰° نسبت به افق، به سمت پایین منحرف شده است. (الف) بزرگی و (ب) جهت نیروی مغناطیسی وارد بر ۱۰۰m از این سیم، ناشی از میدان مغناطیسی زمین چیست؟

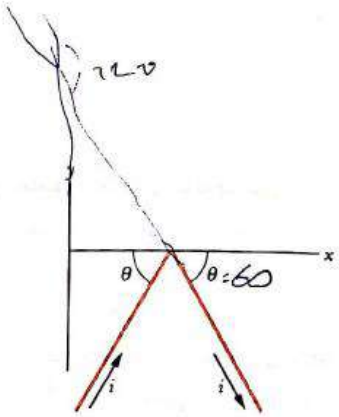
۴۰• سیمی به طول ۱٫۸۰m حامل جریان ۱۳٫۰A است و با میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $B = 1{,}50\,T$ زاویه‌ی ۳۵٫۰° می‌سازد. نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را محاسبه کنید.

۴۱• ILW سیمی به جرم ۱۳٫۰g و طول $L = 62{,}0\,cm$ توسط یک جفت نوار قابل انعطاف در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۰٫۴۴۰T آویخته شده است (شکل ۲۸-۴۱). (الف) بزرگی و (ب) جهت (رو به سمت چپ یا رو به سمت راست) جریان موردنظر برای خنثی کردن نیروی کشش در نوارهای نگه‌دارنده چیست؟



شکل ۲۸-۴۱ مسئله‌ی ۴۱

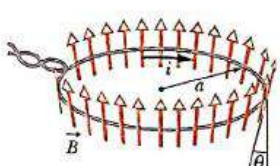
۴۲• سیم خمیده‌ی نشان داده شده در شکل ۲۸-۴۲ در میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. هر بخش مستقیم آن ۲٫۰m طول دارد و با محور x زاویه‌ی $\theta = 60°$ می‌سازد؛ سیم حامل جریان ۲٫۰A است. اگر میدان مغناطیسی با (الف) $4{,}0\hat{k}\,T$ و (ب) $4{,}0\hat{i}\,T$ داده شود، نیروی مغناطیسی خالص وارد بر سیم، برحسب نمادگذاری بردارهای یکه چگونه است؟



شکل ۲۸-۴۲ مسئله‌ی ۴۲

• ۴۳ یک حلقه‌ی جریان تک‌دور، حامل جریان ۴٫۰۰A و به شکل مثلثی قائم‌الزاویه به اضلاع ۵۰٫۰cm، ۱۲۰cm، و ۱۳۰cm است. این حلقه در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۷۵٫۰mT قرار دارد که جهت آن موازی با جریان در آن ضلعی از حلقه است که طول آن ۱۳۰cm است. بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر (الف) ضلع به طول ۱۳۰cm، (ب) ضلع به طول ۵۰٫۰cm، و (پ) ضلع به طول ۱۲۰cm چقدر است؟ (ت) بزرگی نیروی خالص وارد بر حلقه چقدر است؟

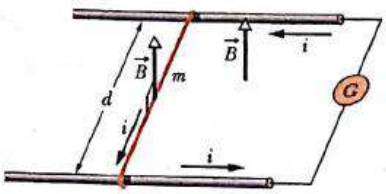
•• ۴۴ شکل ۲۸-۴۳ حلقه‌ی سیمی به شعاع $a = 1{,}8\,\text{cm}$ را نشان می‌دهد که عمود بر جهت کلی یک میدان مغناطیسی واگرا با تقارن شعاعی قرار دارد. میدان مغناطیسی در هر جای حلقه دارای بزرگی یکسان $B = 3{,}4\,\text{mT}$ است، و جهت آن با خطّ عمود بر صفحه‌ی حلقه زاویه‌ی $\theta = 20^\circ$ می‌سازد. سیم‌های رابط درهم‌تابیده تأثیری بر مسئله نمی‌گذارند. بزرگی نیروی میدان وارد بر حلقه را، در صورتی که حلقه حامل جریان $i = 4{,}6\,\text{mA}$ باشد، به‌دست آورید.



شکل ۲۸-۴۳ مسئله‌ی ۴۴

•• ۴۵ سیمی به طول ۵۰٫۰cm حامل جریان ۰٫۵۰۰A در سوی مثبت محور x است و در میدان مغناطیسی $\vec{B} = (3{,}00\,\text{mT})\hat{j} + (10{,}0\,\text{mT})\hat{k}$ قرار دارد. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی مغناطیسی وارد بر سیم چگونه است؟

•• ۴۶ در شکل ۲۸-۴۴ یک سیم فلزی به جرم $m = 24{,}1\,\text{mg}$ می‌تواند روی دو ریل موازی افقی با اصطکاک ناچیز که به فاصله‌ی $d = 2{,}56\,\text{cm}$ از هم قرار دارند، بلغزد. این مجموعه در میدان مغناطیسی قائم یکنواختی با بزرگی ۵۶٫۳mA قرار گرفته است. در لحظه‌ی $t = 0$، وسیله‌ی G به ریل‌ها وصل می‌شود و جریان ثابت $i = 9{,}13\,\text{mA}$ را در سیم و ریل‌ها ایجاد می‌کند (حتی وقتی‌که سیم در حرکت باشد). در $t = 61{,}1\,\text{ms}$، (الف) تندی و (ب) جهت حرکت (رو به سمت چپ یا سمت راست) چیست؟



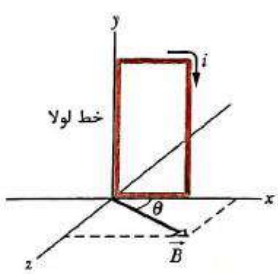
شکل ۲۸-۴۴ مسئله‌ی ۴۶

••• ۴۷ یک میله‌ی مسی به جرم ۱٫۰kg روی دو ریل افقی که به فاصله‌ی ۱٫۰m از هم قرار دارند ساکن است و جریان ۵۰A را یک ریل به ریل دیگر منتقل می‌کند. ضریب اصطکاک ایستایی میان میله و ریل‌ها ۰٫۶۰ است. (الف) بزرگی و (ب) جهت (نسبت به امتداد قائم) کوچکترین میدان مغناطیسی‌ای که میله را در شرف لغزش قرار می‌دهد، چیست؟

••• ۴۸ رسانای صلب و بلندی که روی محور x قرار دارد، حامل جریان ۵٫۰A در سوی منفی محور x است. میدان مغناطیسی موجود $\vec{B}$ با $\vec{B} = 3{,}0\hat{i} + 8{,}0x^2\hat{j}$ داده شده‌است، که در آن x برحسب متر و $\vec{B}$ برحسب میلی‌تسلا است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی وارد بر بخشی به طول ۲٫۰m از این رسانا را که بین $x = 1{,}0\,\text{m}$ و $x = 3{,}0\,\text{m}$ قرار دارد، بیابید.

بخش ۲۸-۷ گشتاور نیروی وارد بر یک حلقه جریان

• ۴۹ شکل ۲۸-۴۵ پیچه‌ی سیمیِ مستطیل‌شکلِ ۲۰ دوری را نشان می‌دهد که دارای ابعاد ۱۰cm در ۵٫۰cm است. این پیچه حامل جریان ۰٫۱۰A است و از طول یکی از اضلاع بلندش لولا شده است. پیچه در صفحه‌ی xy، تحت زاویه‌ی $\theta = 30^\circ$ نسبت به جهت میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۰٫۵۰T قرار گرفته است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، گشتاور نیروی وارد بر پیچه نسبت به خطّ لولا چگونه است؟

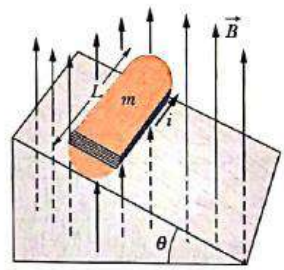


شکل ۲۸-۴۵ مسئله‌ی ۴۹

••• ۵۰ الکترونی با تندی $2{,}19\times10^6\,\text{m/s}$ بر دایره‌ای به شعاع $r = 5{,}29\times10^{-11}\,\text{m}$ حرکت می‌کند. این مسیر دایره‌ای را به‌صورت یک حلقه‌ی جریان با جریان ثابتی برابر با نسبت بزرگی بار الکترون به دوره‌ی حرکت آن درنظر بگیرید. اگر این حلقه در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی $B = 7{,}10\,\text{mT}$ قرار گیرد، بیشترین

مقدار ممکن گشتاور نیرویی که توسط میدان روی حلقه ایجاد می‌شود چقدر است؟

●● ۵۱ شکل ۲۸-۴۶ یک استوانه‌ی چوبی به جرم $m = ۰٫۲۵۰\,kg$ و طول $L = ۰٫۱۰۰\,m$ را نشان می‌دهد، که $N = ۱۰٫۰$ دور سیم از درازا به دور آن پیچیده شده است، به‌طوری‌که صفحه‌ی پیچه شامل محور مرکزی استوانه است. این استوانه روی سطح شیبداری با زاویه‌ی θ نسبت به افق رها می‌شود، در حالی‌که صفحه‌ی پیچه موازی با سطح شیبدار است. اگر یک میدان مغناطیسی یکنواخت قائم به بزرگی $۰٫۵۰۰\,T$ وجود داشته باشد، کمترین جریان i ی عبوری از پیچه چقدر باشد تا مانع از غلتیدن رو به پایین استوانه بر سطح شیبدار گردد؟



شکل ۲۸-۴۶ مسئله‌ی ۵۱

●● ۵۲ در شکل ۲۸-۴۷، یک حلقه‌ی مستطیلی حامل جریان در صفحه‌ی میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $۰٫۴۰\,T$ قرار دارد. این حلقه شامل یک دور سیم رسانای قابل انعطاف است که به دور یک قاب انعطاف‌پذیر پیچیده شده، به‌گونه‌ای که ابعاد حلقه می‌تواند تغییر کند (طول کلّ سیم تغییر نمی‌کند). وقتی طول ضلع x از مقدار تقریبی صفر تا مقدار بیشینه‌ی آن در تقریباً $۴٫۰\,cm$ تغییر کند، بزرگی گشتاور نیروی τ ی وارد بر حلقه نیز تغییر می‌کند. مقدار بیشینه‌ی τ برابر با $۴٫۸۰\times۱۰^{-۸}\,N.m$ است. جریان در حلقه چقدر است؟

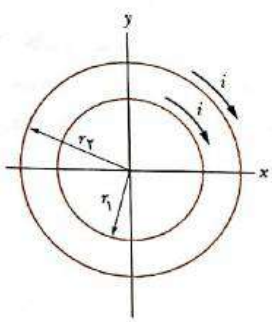
شکل ۲۸-۴۷ مسئله‌ی ۵۲

●●● ۵۳ ثابت کنید رابطه‌ی $\tau = NiAB\sin\theta$ نه تنها برای حلقه‌ی مستطیلیِ شکل ۲۸-۱۹، بلکه همچنین برای هر حلقه‌ی بسته‌ای یا هر شکل دلخواهی درست است. (*راهنمایی:* حلقه‌ی با شکل دلخواه را با مجموعه‌ای از حلقه‌های تقریباً مستطیلی نازک و بلند که مجاور هم قرار گرفته‌اند جایگزین کنید. تا وقتی‌که با توزیع جریان‌ها سروکار داریم، این تقریباً معادل با حلقه‌ای با شکل دلخواه است.)

بخش ۲۸-۸ گشتاور دوقطبی مغناطیسی

● ۵۴ یک دوقطبی مغناطیسی با گشتاور دوقطبی‌ای به بزرگی $۰٫۲۰\,J/T$ از حالت سکون در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $۵۲\,mT$ رها می‌شود. از چرخش دوقطبی بر اثر نیروی مغناطیسی وارد بر آن نمی‌توان ممانعت کرد. هرگاه این دوقطبی تا سمتگیری‌ای بچرخد که در آن گشتاور دوقطبی آن هم‌جهت میدان مغناطیسی است، انرژی جنبشی دوقطبی برابر $۰٫۸۰\,mJ$ می‌شود. (الف) زاویه‌ی اولیه‌ی میان گشتاور دوقطبی و میدان مغناطیسی چقدر است؟ (ب) وقتی دوقطبی دوباره (به‌طور لحظه‌ای) به سکون می‌رسد، این زاویه چقدر می‌شود؟

● ۵۵ دو حلقه‌ی دایره‌ای هم‌مرکز به شعاع‌های $r_۱ = ۲۰٫۰\,cm$ و $r_۲ = ۳۰٫۰\,cm$ که در صفحه‌ی xy واقع‌اند، هریک حامل جریان ساعتگرد $۷٫۰۰\,A$ هستند (شکل ۲۸-۴۸). (الف) بزرگی گشتاور دوقطبی مغناطیسی خالص این مجموعه را به‌دست آورید. (ب) مسئله را برای جریان معکوس در حلقه‌ی داخلی تکرار کنید.



شکل ۲۸-۴۸ مسئله‌ی ۵۵

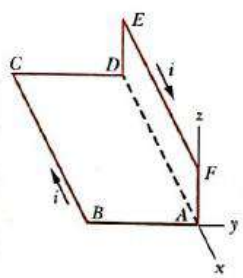
● ۵۶ یک حلقه‌ی مسی به شعاع $۱۵٫۰\,cm$ حامل جریان $۲٫۶۰\,A$ است. این حلقه طوری قرار گرفته است که بردار عمود بر صفحه‌ی آن با میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $۱۲٫۰\,T$، زاویه‌ی $۴۱٫۰^\circ$ می‌سازد. (الف) بزرگی گشتاور دوقطبی مغناطیسی این حلقه را محاسبه کنید. (ب) بزرگی گشتاور نیروی وارد بر این حلقه چقدر است؟

● ۵۷ یک پیچه‌ی ۱۶۰ دور، دارای شعاع $۱٫۹۰\,cm$ است. (الف) جریانی را محاسبه کنید که به گشتاور دوقطبی مغناطیسی‌ای با بزرگی $۲٫۳۰\,A.m^۲$ می‌انجامد. (ب) بیشینه‌ی بزرگی گشتاور نیرویی را پیدا کنید که به این پیچه‌ی حامل جریان در یک میدان مغناطیسی یکنواخت $۳۵٫۰\,mT$ وارد می‌شود.

● ۵۸ بزرگی گشتاور دوقطبی مغناطیسی کره زمین برابر با $۸٫۰۰\times۱۰^{۲۲}\,J/T$ است. فرض کنید این گشتاور توسط بارهایی ایجاد می‌شود که در قسمت بیرونی هسته‌ی مذاب زمین جریان دارند. اگر شعاع مسیر دایره‌ای آنها $۳۵۰۰\,km$ باشد، جریان حاصل را محاسبه کنید.

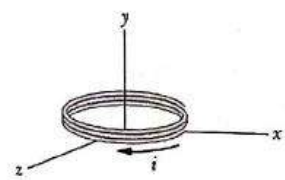
•۵۹ یک حلقه‌ی جریان به شکل مثلث قائم‌الزاویه‌ای به اضلاع ۳۰، ۴۰، و ۵۰ سانتی‌متر حامل جریان ۵٫۰A است. این حلقه در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۸۰mT قرار دارد که جهت آن موازی جریان در ضلع به طول ۵۰cm است. بزرگی (الف) گشتاور دوقطبی مغناطیسی حلقه و (ب) گشتاور نیروی وارد بر حلقه را به‌دست آورید.

••۶۰ شکل ۲۸-۴۹ حلقه‌ی جریان $ABCDEFA$ را نشان می‌دهد که حامل جریان $i = 5{,}00\,A$ است. اضلاع این حلقه که در آن $AB = 20{,}0\,cm$، $BC = 30{,}0\,cm$، و $FA = 10{,}0\,cm$ است با محورهای مختصات نشان داده شده موازی‌اند. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، گشتاور دوقطبی مغناطیسی این حلقه چگونه است؟ (*راهنمایی:* دو جریان مساوی و مخالف i را در پاره‌خط AD تصور کنید؛ سپس دو حلقه‌ی مستطیلی $ABCDA$ و $ADEFA$ را در نظر بگیرید.)



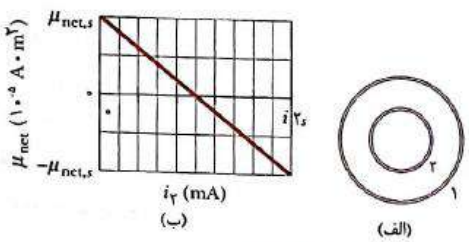
شکل ۲۸-۴۹ مسئله‌ی ۶۰

••۶۱ پیچه‌ی شکل ۲۸-۵۰ حامل جریان $i = 2{,}00\,A$ در جهت نشان داده شده، موازی با صفحه‌ی xz است. این پیچه دارای ۳٫۰۰ دور و مساحت $4{,}00\times10^{-3}\,m^2$ است و در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B} = (2{,}00\hat{i} - 3{,}00\hat{j} - 4{,}00\hat{k})\,mT$ قرار گرفته است. (الف) انرژی پتانسیل مغناطیسی دستگاه پیچه - میدان مغناطیسی و (ب) گشتاور مغناطیسی وارد بر پیچه (برحسب نمادگذاری بردارهای یکه) چیست؟



شکل ۲۸-۵۰ مسئله‌ی ۶۱

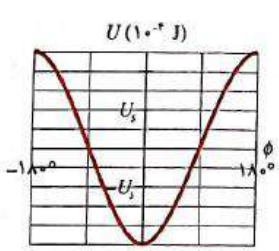
••۶۲ GO در شکل ۲۸-۵۱ الف، دو پیچه‌ی هم‌مرکز که بر صفحه‌ی یکسانی قرار دارند حامل جریان‌هایی در جهت مخالف‌اند. جریان در پیچه‌ی بزرگتر ۱ ثابت است. جریان i_2 در پیچه‌ی ۲ می‌تواند تغییر کند. شکل ۲۸-۵۱ ب گشتاور مغناطیسی خالص این مجموعه‌ی دوپیچه‌ای را برحسب تابعی از i_2 نشان می‌دهد. محور قائم با $\mu_{net,s} = 2\times10^{-5}\,A.m^2$ و محور افقی با $i_{2s} = 10{,}0\,mA$ مقیاس‌بندی شده است. اگر سپس جریان در پیچه‌ی ۲ معکوس شود، بزرگی گشتاور مغناطیسی خالص این مجموعه‌ی دوپیچه‌ای، وقتی $i_2 = 7{,}0\,mA$ است، چقدر می‌شود؟



شکل ۲۸-۵۱ مسئله‌ی ۶۲

••۶۳ یک حلقه سیم دایره‌ای به شعاع ۸٫۰cm حامل جریان ۰٫۲۰A است. برداری به طول واحد و موازی با گشتاور دوقطبی $\vec{\mu}$ی حلقه، با $0{,}60\hat{i} - 0{,}80\hat{j}$ داده شده است. اگر این حلقه در میدان مغناطیسی یکنواختی با $\vec{B} = (0{,}25T)\hat{i} + (0{,}30T)\hat{j}$ قرار داشته باشد (الف) گشتاور نیروی وارد بر حلقه (برحسب نمادگذاری بردارهای یکه) و (ب) انرژی پتانسیل مغناطیسی حلقه را به‌دست آورید.

••۶۴ GO شکل ۲۸-۵۲ انرژی پتانسیل Uی یک دوقطبی مغناطیسی در میدان مغناطیسی خارجی $\vec{B}$ را برحسب تابعی از زاویه‌ی میان جهت $\vec{B}$ و گشتاور دوقطبی نشان می‌دهد. محور قائم با $U_s = 2{,}0\times10^{-4}\,J$ مقیاس‌بندی شده است. این دوقطبی می‌تواند با تغییر ϕ حول محوری با اصطکاک ناچیز بچرخد. چرخش پادساعتگرد از $\phi = 0$ مقادیر مثبت ϕ و چرخش ساعتگرد مقادیر منفی ϕ را به‌دست می‌دهد. این دوقطبی در زاویه‌ی $\phi = 0$ با انرژی جنبشی چرخشی $6{,}7\times10^{-4}\,J$ رها می‌شود تا به‌طور پادساعتگرد بچرخد. دوقطبی تا چه مقدار بیشینه‌ی ϕیی خواهد چرخید؟ (به بیان بخش ۸-۳ [جلد اول کتاب] نقطه‌ی برگشت در چاه پتانسیل شکل ۲۸-۵۲ در چه مقدار ϕیی قرار دارد؟)



شکل ۲۸-۵۲ مسئله‌ی ۶۴

••۶۵ ILW سیمی به طول ۲۵٫۰cm که حامل جریان ۴٫۵۱mA است به شکل پیچه‌ای دایره‌ای درآمده و در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به بزرگی ۵٫۷۱mT قرار گرفته است. اگر گشتاور

نیروی وارد بر این پیچه از سوی میدان بیشینه شود، (الف) زاویه‌ی میان $\vec{B}$ و گشتاور دوقطبی مغناطیسی پیچه و (ب) تعداد دورهای پیچه چقدر است؟ (پ) بزرگی آن گشتاور نیروی بیشینه را پیدا کنید.

مسئله‌های تکمیلی

۶۶ پروتونی با بار $+e$ و جرم m با سرعت $\vec{v}=v_{0x}\hat{i}+v_{0y}\hat{j}$ وارد میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}=B\hat{i}$ می‌شود. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، عبارتی را برای سرعت $\vec{v}$ی پروتون در هر زمان بعدی t به‌دست آورید.

۶۷ یک ساعت دیواری دایره‌ای ساکن دارای صفحه‌ای به شعاع ۱۵cm است. شش دور سیم به دور آن پیچیده شده است؛ این سیم حامل جریان ۲٫۰A در جهت ساعتگرد است. ساعت در جایی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی خارجی یکنواخت و ثابتی به بزرگی ۷۰mT وجود دارد (ولی ساعت هنوز زمان دقیق را نشان می‌دهد). دقیقاً در ساعت ۱٫۰۰ بعدازظهر، عقربه‌ی ساعت‌شمار در جهت میدان مغناطیسی خارجی قرار دارد. (الف) عقربه‌ی دقیقه‌شمار پس از چند دقیقه در جهت گشتاور نیروی وارد بر سیم‌پیچ از سوی میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد؟ (ب) بزرگی این گشتاور نیرو را پیدا کنید.

۶۸ سیمی روی محور y از $y=0$ تا $y=0.250\,m$ قرار دارد و حامل جریان ۲٫۰۰mA در جهت منفی این محور است. این سیم کاملاً در میدان مغناطیسی ناییکنواختی قرار دارد که با $\vec{B}=(0.300\,T/m)y\hat{i}+(0.400\,T/m)y\hat{j}$ داده شده است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم چگونه است؟

۶۹ اتم ۱ به جرم ۳۵u و اتم ۲ به جرم ۳۷u هر دو یک‌بار یونیده با بار $+e$ هستند. پس از آنکه آنها وارد یک طیف‌سنج جرمی (شکل ۲۸-۱۲) شدند و تحت اختلاف پتانسیل $V=7.3\,kV$ از حالت سکون شتاب گرفتند، هر یون در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $B=0.50\,T$، مسیری دایره‌ای را پی می‌گیرد. مساحت Δx بین نقطه‌هایی که یون‌ها به آشکارساز برخورد می‌کنند چقدر است؟

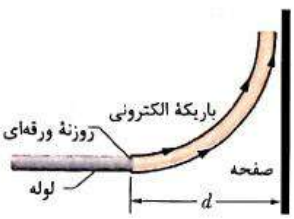
۷۰ الکترونی با انرژی جنبشی ۲٫۵keV که در حال حرکت در سوی مثبت محور x است وارد ناحیه‌ای می‌شود که در آن میدان الکتریکی یکنواختی به بزرگی $10\,kV/m$ در سوی منفی محور y برقرار شده است. یک میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ باید طوری برقرار شود که حرکت الکترون در طول محور x را حفظ کند، و جهت $\vec{B}$ باید طوری انتخاب شود که بزرگی موردنیاز $\vec{B}$ را کمینه سازد. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، $\vec{B}$ باید چگونه باشد؟

۷۱ فیزیکدانی به نام گودشمیت[1] روشی را برای اندازه‌گیری جرم یون‌های سنگین با محاسبه‌ی دوره‌ی چرخش آنها در یک میدان مغناطیسی معلوم، ابداع کرد. یون یک‌بار یونیده‌ی ید در مدت ۱٫۲۹ms در میدان مغناطیسی ۴۵٫۰mT، ۷٫۰۰ دور می‌زند. جرم این یون را بر حسب یکای جرم اتمی محاسبه کنید.

۷۲ باریکه‌ای از الکترون‌ها با انرژی جنبشی K از "روزنه‌ی" ورقه‌ی نازکی در انتهای یک لوله‌ی شتاب‌دهنده خارج می‌شود. یک صفحه‌ی فلزی در فاصله‌ی d از این روزنه، عمود بر جهت باریکه‌ی خروجی وجود دارد (شکل ۲۸-۵۲). (الف) نشان دهید می‌توانیم این باریکه را از برخورد با صفحه بازداریم، اگر میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ را به‌گونه‌ای اعمال کنیم که

$$B \geq \sqrt{\frac{2mK}{e^2d^2}}$$

که در آن m و e جرم و بار الکترون هستند. (ب) سمتگیری $\vec{B}$ باید چگونه باشد؟



شکل ۲۸-۵۳ مسئله‌ی ۷۲

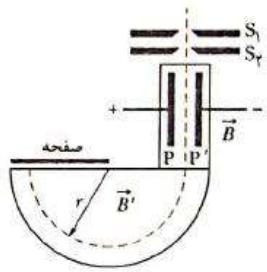
۷۳ در لحظه‌ی $t=0$، الکترونی با انرژی جنبشی 12keV از $x=0$ و در سوی مثبت محور x که موازی با مؤلفه‌ی افقی میدان مغناطیسی زمین است، حرکت می‌کند. مؤلفه‌ی قائم این میدان به سمت پایین و دارای بزرگی $55.0\,\mu T$ است. (الف) بزرگی شتاب الکترون ناشی از $\vec{B}$ چقدر است؟ (ب) وقتی الکترون به $x=20\,cm$ می‌رسد، فاصله‌ی آن از محور x چقدر است؟

۷۴ ذره‌ای با بار ۲٫۰C از میدان مغناطیسی یکنواختی می‌گذرد. در یک لحظه‌ی خاص، سرعت ذره $(2.0\hat{i}+4.0\hat{j}+6.0\hat{k})\,m/s$ و نیروی مغناطیسی وارد بر آن $(4.0\hat{i}-20\hat{j}+12\hat{k})\,N$ است. مؤلفه‌ی x و y میدان مغناطیسی برابرند. $\vec{B}$ چگونه است؟

۷۵ یک پروتون، یک دوترون $(q=+e,\ m=2.0u)$ و یک ذره‌ی آلفا $(q=+2e, m=4.0u)$ همگی با انرژی جنبشی یکسانی وارد ناحیه‌ی میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ می‌شوند، در حالی‌که عمود بر $\vec{B}$ حرکت می‌کنند. نسبت (الف) شعاع r_dی مسیر دوترون به شعاع r_pی مسیر پروتون و (ب) شعاع r_αی مسیر ذره‌ی آلفا به r_p چقدر است؟

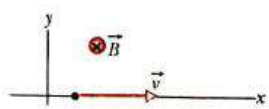
[1] S.A. Goudsmit

۷۶ طیف‌سنج جرمی بین‌بریج[1] که در شکل ۲۸-۵۴ نشان داده شده است، یون‌های با سرعت یکسان را جدا می‌کند. یون‌ها، پس از ورود از طریق شکاف‌های S_1 و S_2، از گزینشگر سرعتی می‌گذرند که از میدان الکتریکی حاصل از صفحه‌های باردار P و P' ، و میدان مغناطیسی $\vec{B}$ عمود بر این میدان الکتریکی و مسیر یون‌ها ساخته شده است. این یون‌ها، آنگاه بی‌آنکه منحرف شوند از میدان‌های متعامد $\vec{E}$ و $\vec{B}$ می‌گذرند و وارد ناحیه‌ای می‌شوند که در آنجا میدان مغناطیسی دیگر $\vec{B}'$ وجود دارد، و در آنجا مسیرهایی دایره‌ای را پی می‌گیرند. یک صفحه‌ی عکاسی (یا یک آشکارساز) ورود آنها را ثبت می‌کند. نشان دهید $q/m = E/rBB'$، که در آن r شعاع مدار دایره‌ای است.



شکل ۲۸-۵۴ مسئله‌ی ۷۶

۷۷ در شکل ۲۸-۵۵ الکترونی با تندی $v = 100\,m/s$ بر راستای محور x عبوری از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی یکنواخت حرکت می‌کند. جهت این میدان مغناطیسی به سمت داخل صفحه و بزرگی آن $5{,}00\,T$ است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، میدان الکتریکی چگونه است؟



شکل ۲۸-۵۵ مسئله‌ی ۷۷

۷۸ (الف) در شکل ۲۸-۸ نشان دهید نسبت بزرگی E ی میدان الکتریکی هال به بزرگی E_C ی میدان الکتریکی‌ای که مسئول حرکت بارها (جریان) در طول نوار است، عبارت است از

$$\frac{E}{E_C} = \frac{B}{ne\rho}$$

که در آن ρ مقاومت ویژه‌ی ماده و n چگالی عددی حامل‌های بار است. (ب) مقدار عددی این نسبت را برای مسئله‌ی ۱۳ محاسبه کنید (جدول ۲۶-۱ را ببینید.)

۷۹ یک پروتون، یک دوترون $(q = +e\,,\ m = 2{,}0u)$ و یک ذره‌ی آلفا $(q = +2e\,,\ m = 4{,}0u)$ تحت اختلاف پتانسیل یکسانی شتاب می‌گیرند و سپس وارد ناحیه‌ی یکسانی از میدان مغناطیسی $\vec{B}$ می‌شوند، در حالی‌که عمود بر $\vec{B}$ حرکت می‌کنند. نسبت (الف) انرژی جنبشی K_p ی پروتون به انرژی جنبشی K_α ی ذره‌ی آلفا و (ب) انرژی جنبشی K_d ی دوترون به K_α چقدر است؟ اگر شعاع مسیر دایره‌ای پروتون ۱۰cm باشد، شعاع (پ) مسیر دوترون و (ت) مسیر ذره‌ی آلفا چقدر است؟

۸۰ الکترونی در لامپ تصویر یک تلویزیون قدیمی با تندی $7{,}20\times10^6\,m/s$ در میدان مغناطیسی‌ای به شدت $83{,}0\,mT$ حرکت می‌کند. (الف) بیشترین و (ب) کمترین بزرگی نیروی وارد بر این الکترون از سوی میدان مغناطیسی چقدر است؟ (پ) در نقطه‌ای، الکترون دارای شتابی به بزرگی $4{,}90\times10^{14}\,m/s^2$ است. زاویه‌ی میان سرعت الکترون و میدان مغناطیسی چقدر است؟

۸۱ ذره‌ای با بار $5{,}0\,\mu C$ از ناحیه‌ای با میدان مغناطیسی $-20\hat{i}\ mT$ و میدان الکتریکی $300\hat{j}\ V/m$ می‌گذرد. در لحظه‌ای خاص، سرعت ذره $(17\hat{i} - 11\hat{j} + 7{,}0\hat{k})\ km/s$ است. در این لحظه، برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، چه نیروی الکترومغناطیسی خالصی (مجموع نیروهای الکتریکی و مغناطیسی) بر این ذره وارد می‌شود؟

۸۲ در یک آزمایش اثر هال، جریان $3{,}0\,A$ که در طول رسانایی به پهنای $1{,}0\,cm$، طول $4{,}0\,cm$، و ضخامت $10\,\mu m$ برقرار شده است، موجب اختلاف پتانسیل عرضی هال برابر با $10\,\mu V$ (در دو سر پهنا) می‌شود. هرگاه میدان مغناطیسی $1{,}5\,T$ به‌طور قائم از ضخامت این رسانا بگذرد. به‌ازای این مقادیر (الف) سرعت سوق حامل‌های بار و (ب) چگالی عددی حامل‌های بار را به‌دست آورید. (پ) روی یک نمودار، قطبیّت اختلاف پتانسیل هال را با جهت‌های جریان و میدان مغناطیسی فرض‌شده و نیز با فرض آنکه حامل‌های بار، الکترون باشند نشان دهید.

۸۳ ذره‌ای به جرم $6{,}0\,g$ با تندی $4{,}0\,km/s$ در صفحه‌ی xy و در ناحیه‌ی یک میدان مغناطیسی یکنواخت حرکت می‌کند که با $5{,}0\hat{i}\ mT$ داده شده است. در یک لحظه، وقتی سرعت ذره در جهت 37° پادساعتگرد نسبت به سوی مثبت محور x قرار دارد، نیروی مغناطیسی وارد بر ذره $0{,}48\hat{k}\ N$ است. بار ذره چقدر است؟

۸۴ سیمی واقع بر محور x از $x = 0$ تا $x = 1{,}00\,m$، حامل جریان $3{,}00\,A$ در سوی مثبت محور x است. این سیم در میدان مغناطیسی نایکنواختی قرار گرفته است که با $(4{,}00\,T/m^2)x^2\hat{i} - (0{,}600\,T/m^2)x^2\hat{j}$ داده شده است. برحسب نمادگذاری بردارهای یکه، نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم چگونه است؟

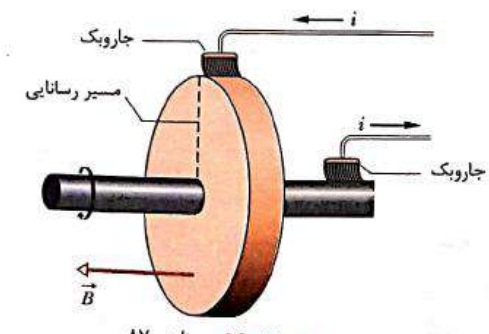
۸۵ در لحظه‌ای خاص $\vec{v} = (-2{,}00\hat{i} + 4{,}00\hat{j} - 6{,}00\hat{k})\ m/s$ سرعت پروتون در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B} = (2{,}00\hat{i} + 4{,}00\hat{j} + 8{,}00\hat{k})\,mT$ است. در این لحظه (الف) نیروی مغناطیسی $\vec{F}$ وارد بر پروتون، برحسب نمادگذاری بردارهای

[1] Bainbridge

یکه، (ب) زاویه‌ی میان $\vec{v}$ و $\vec{F}$، و (پ) زاویه‌ی میان $\vec{v}$ و $\vec{B}$ چیست؟

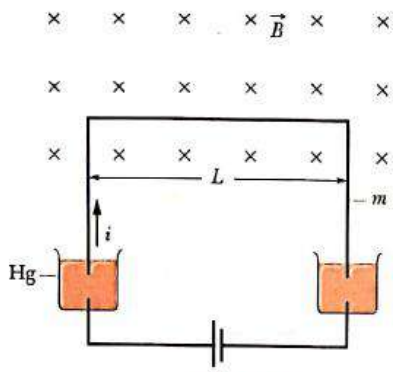
۸۶ یک الکترون به هنگام ورود به میدان مغناطیسی $\vec{B} = 60\hat{i}\,\mu T$ دارای سرعت $\vec{v} = (32\hat{i} + 40\hat{j})\ km/s$ است. (الف) شعاع مسیر مارپیچی طی‌شده توسط الکترون و (ب) گام مسیر چقدر است؟ (پ) از دید ناظری که به ناحیه‌ی میدان مغناطیسی از نقطه‌ی ورود الکترون نگاه می‌کند، آیا حرکت مارپیچی الکترون ساعتگرد است یا پادساعتگرد؟

۸۷ شکل ۲۸-۵۶ یک *مولد تک‌قطب*[1] را نشان می‌دهد که قرص توپُر رسانایی به عنوان روتور (چرخانه) دارد و این قرص توسط موتوری (که در شکل نشان داده نشده است) می‌چرخد. جاروبک‌هایی رسانا این وسیله‌ی emf را به مداری وصل می‌کنند که جریان آن از طریق وسیله‌ی emf برقرار می‌شود. این وسیله می‌تواند نیروی محرکه‌ی الکتریکی بزرگتری از روتورهای حلقه‌ای سیمی تولید کند، زیرا می‌تواند بی‌هیچ انقطاعی با تندی زاویه‌ای بسیار بزرگتری بچرخد. شعاع قرص $R = 0{,}250\,m$ و بسامد چرخش $f = 4000\,Hz$ است، و وسیله در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $B = 60{,}0\,mT$ قرار دارد که عمود بر سطح قرص است. با چرخش قرص، الکترون‌های رسانش واقع در امتداد مسیر رسانایی (خط‌چین) در میدان مغناطیسی به حرکت واداشته می‌شوند. (الف) برای چرخش نشان داده شده، آیا در شکل نیروی مغناطیسی وارد بر الکترون‌های رسانش رو به بالا است یا رو به پایین؟ (ب) آیا بزرگی این نیرو در لبه‌ی قرص بیشتر است یا در نزدیکی مرکز قرص؟ (پ) این نیرو در حرکت بار در امتداد خط شعاعی، بین لبه و مرکز قرص، چقدر کار بر واحد بار انجام می‌دهد؟ (ت) در این صورت، emf وسیله چقدر است؟ ث) اگر جریان $50{,}0\,A$ باشد، توانی که با آن انرژی الکتریکی تولید می‌شود، چقدر است؟



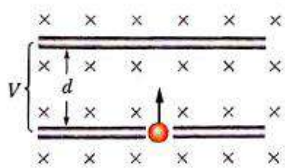
شکل ۲۸-۵۶ مسئله‌ی ۸۷

۸۸ در شکل ۲۸-۵۷، دو انتهای یک سیم U‌شکل به جرم $m = 10{,}0\,g$ و طول $L = 20{,}0\,cm$ در جیوه (که ماده‌ای رسانا است) غوطه‌ورند. سیم در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $B = 0{,}100\,T$ قرار دارد. کلیدی (که نشان داده نشده است) به‌سرعت بسته و سپس باز می‌شود و بدین ترتیب تپ جریانی در سیم روانه می‌گردد که باعث می‌شود سیم به بالا بجهد. اگر ارتفاع جهش سیم $h = 3{,}00\,m$ باشد، چقدر بار در تپ بوده است؟ فرض کنید دوام تپ بسیار کمتر از زمان پرواز است. تعریف ضربه (معادله‌ی ۹-۳۰) و رابطه‌ی آن با تکانه (معادله‌ی ۹-۳۱) را در نظر بگیرید. همچنین رابطه‌ی بار و جریان (معادله‌ی ۲۶-۲) را در نظر داشته باشید.



شکل ۲۸-۵۷ مسئله‌ی ۸۸

۸۹ در شکل ۲۸-۵۸، الکترونی به جرم m، بار $e-$ و تندی ناچیز وارد فضای بین دو صفحه به فاصله‌ی d و اختلاف پتانسیل V می‌شود و در ابتدا مستقیماً به سمت صفحه‌ی بالایی حرکت می‌کند. میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی B عمود بر صفحه‌ی شکل وجود دارد. کمترین مقدار B چقدر باشد تا چنین الکترونی با صفحه‌ی بالایی برخورد نکند؟



شکل ۲۸-۵۸ مسئله‌ی ۸۹

۹۰ ذره‌ای با بار q در دایره‌ای به شعاع r با تندی v حرکت می‌کند. مسیر دایره‌ای را به‌صورت حلقه‌ی جریانی با یک جریان متوسط در نظر بگیرید. بیشترین گشتاور نیرویی که از میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ بر حلقه وارد می‌شود، چقدر است؟

۹۱ در آزمایش اثر هال، چگالی عددی حامل‌های بار را برحسب بزرگی میدان الکتریکی E ی اثر هال، بزرگی چگالی جریان J و بزرگی میدان مغناطیسی B بیان کنید.

۹۲ الکترونی که در میدان مغناطیسی یکنواختی با سرعت $\vec{v} = (40\,km/s)\hat{i} + (35\,km/s)\hat{j}$ در حرکت است، تحت تأثیر نیروی $\vec{F} = -(4{,}2\,fN)\hat{i} + (4{,}8\,fN)\hat{j}$ ناشی از میدان مغناطیسی می‌گیرد. اگر $B_x = 0$ باشد، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را محاسبه کنید.

[1] homopolar generator