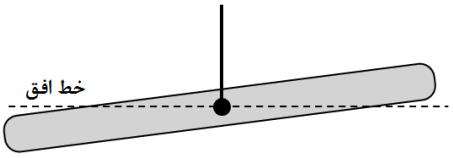
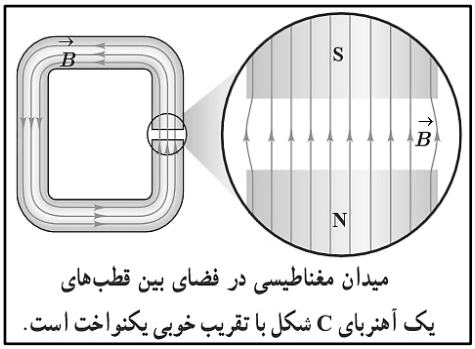
آزمایش (فعالیت ۳-۳ کتاب درسی) آزمایشی را بیان‌کنید که به‌کمک آن بتوانید شیب‌مغناطیسی محل‌زندگی خود را به‌دست‌آورید.



پاسخ: به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا عقربهٔ مغناطیسی بزرگ، نخی را می‌بندیم و آن را آویزان می‌نیم. پس از تعادل، به کمک نقاله، زاویه‌ای که امتداد سوزن(عقربه) با امتداد افق دارد را اندازه می‌گیریم. این زاویه همان شیب مغناطیسی محل زندگی ما است.

* میدان مغناطیسی یکنواخت

اگر در ناحیه‌ای از فضا، اندازه و جهت میدان مغناطیسی در نقاط مختلف یکسان باشد، میدان مغناطیسی را در آن ناحیه یکنواخت می‌گویند. در این صورت، خطوط میدان مغناطیسی در آن ناحیه با هم موازی، هم‌جهت و با فاصلهٔ یکسان می‌باشند.

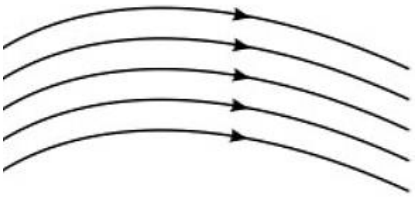


میدان مغناطیسی در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل با تقریب خوبی یکنواخت است.

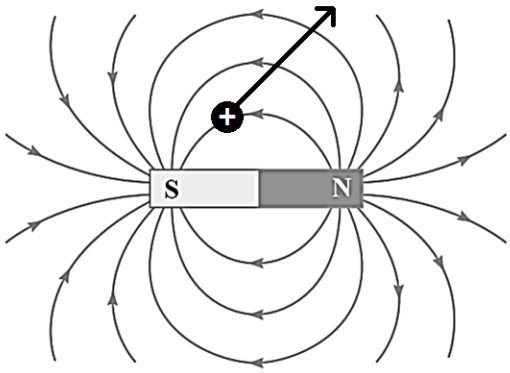
ویژگی خطوط میدان یکنواخت:
- موازی و مستقیم
- هم جهت
- با فاصلهٔ یکسان

o نکته: ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیهٔ بزرگی از فضا بسیار دشوار و در عمل امکان‌ناپذیر است اما می‌توان در ناحیهٔ کوچکی از فضا، مانند ناحیهٔ بین قطب‌های یک آهنربای **C** شکل، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد.

مثال ۲ (نهایی ریاضی ـ شهریور ۸۷): خطوط یک میدان مغناطیسی مانند شکل زیر در یک ناحیه از فضا به صورت خم‌های موازی و هم‌فاصله هستند. آیا این میدان مغناطیسی یکنواخت است؟ توضیح دهید.



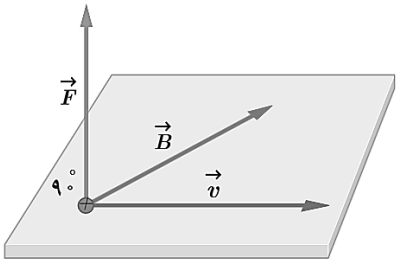
☑ بخش۳: نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی



اگر یک ذرهٔ باردار (مثبت یا منفی) را به صورت <u>ساکن</u> در میدان مغناطیسیِ آهنربا قرار دهیم، به سمت هیچ‌یک از قطب‌های آهنربا کشیده نمی‌شود. زیرا قطب‌های N و S آهنربا خاصیتی شبیه بارهای مثبت و منفی ندارند که آن‌ها را جذب یا دفع کنند. اما اگر بار الکتریکی <u>به حرکت درآید</u>، میدان مغناطیسیِ آهنربا به آن نیرو وارد می‌کند که به آن **نیروی مغناطیسی** می‌گویند.

می‌دانیم که نیرو(**F**) کمیتی **برداری** است، یعنی دارای <u>اندازه</u> و <u>جهت</u> است. در این بخش روش تعیین اندازه و جهت نیروی مغناطیسی را فرا خواهیم گرفت.

❋ جهت نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی

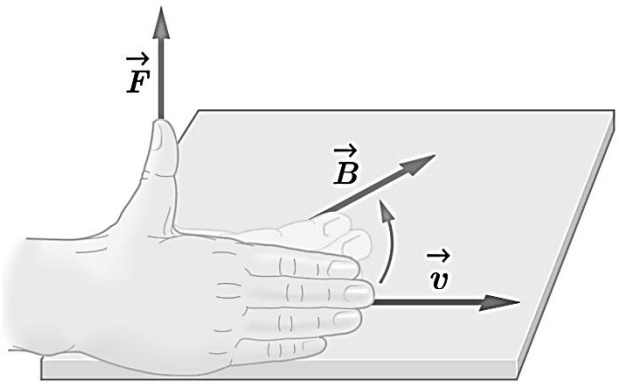


اگر ذرهٔ باردار q با سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت کند بر آن نیروی مغناطیسی $\vec{F}$ وارد خواهد شد که این نیرو، هم بر راستای سرعت(جهت حرکت) و هم بر راستای میدان مغناطیسی **عمود** است. به عبارت دیگر نیروی $\vec{F}$ بر صفحه‌ای که $\vec{v}$ و $\vec{B}$ در آن قرار دارند عمود است. (البته جهت حرکت ذرهٔ باردار q نباید با میدان مغناطیسی موازی و همسو باشد که دلیل آن‌را بعداً خواهید دانست).

← این ویژگی، قاعده‌ای را برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی فراهم آورده است که به قاعدهٔ دست راست مشهور است.

❖ قاعدهٔ دست راست:

ابتدا توجه کنید که ما با سه بردار $\vec{v}$ ، $\vec{B}$ و $\vec{F}$ سروکار داریم و می‌خواهیم بدانیم که این سه بردار در چه جهتی نسبت به هم قرار دارند. قاعدهٔ دست راست، قاعده‌ایست که تشخیص این موضوع را آسان می‌کند.



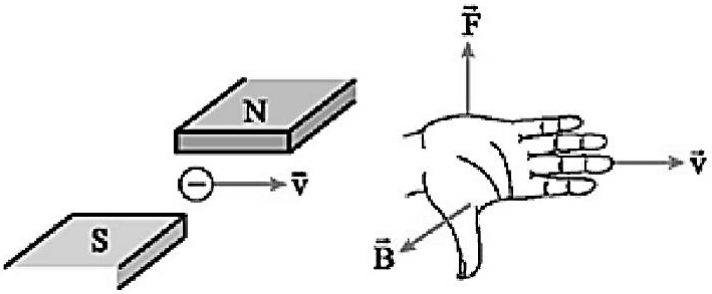
اگر چهار انگشت دست راست را طوری در جهت حرکت **بار مثبت** قرار دهیم که جهت بسته شدن انگشت‌ها به طرف میدان مغناطیسی باشد (یعنی بردار میدان مغناطیسی از کف دست خارج شود)، انگشت شست، نشان دهندهٔ جهت نیروی مغناطیسی است.

o نکتهٔ مهم: اگر **بار ذره منفی** باشد، ابتدا با قاعدهٔ دست راست، جهت بردار مجهول را پیدا کرده و سپس آن را برعکس می‌کنیم.

o نکته: توجه کنید که هرچند بردار نیرو بر دو بردار سرعت و میدان مغناطیسی عمود است اما بردارهای $\vec{v}$ و $\vec{B}$ می‌توانند نسبت به هم هر زاویه‌ای داشته باشند. بنابراین لازم نیست که بردار $\vec{B}$ هنگام خارج شدن از کف دست حتماً عمود بر کف دست باشد؛ بلکه همین قدر کفایت می‌کند که با هر زاویه‌ای که دارد فقط از کف دست خارج شده باشد لذا چهار انگشت می‌توانند حرکت کنند و هر زاویه‌ای را با کف دست ایجاد کنند. (به همین علت در برخی سوال‌ها، زاویهٔ بین $\vec{v}$ و $\vec{B}$ داده می‌شود که معمولاً ۹۰ درجه(عمود) لحاظ می‌شود.)

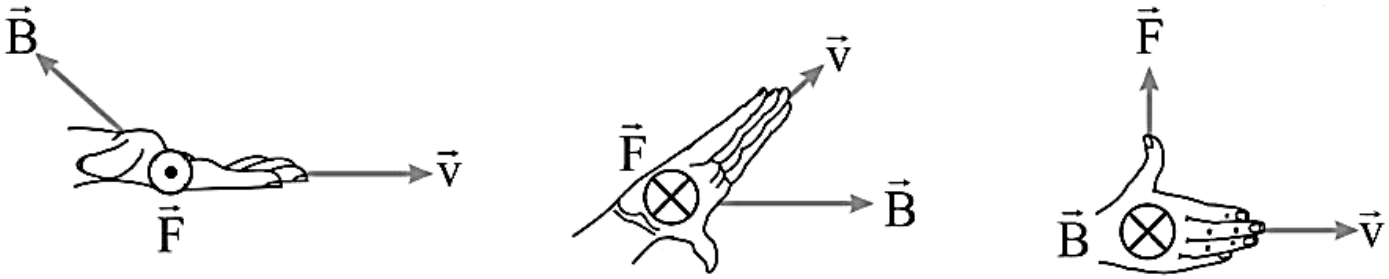
o نکته: از آنجا که تصاویر مربوط به این بخش معمولاً دو بعدی هستند، اگر جهت یکی از این سه بردار، به سمت داخل صفحه باشد (یعنی به داخل صفحه فرو رفته باشد) از علامت ⊗ (درون‌سو) برای نشان دادن آن استفاده می‌شود؛ و اگر جهت آن به سوی بیرون صفحه باشد (یعنی از داخل صفحه به بیرون آمده باشد) از علامت ⊙ (برون‌سو) برای نشان دادن آن استفاده می‌شود.

❖ مثال: در شکل مقابل، جهت بردار $\vec{B}$ با توجه به قطب‌های آهنربا تعیین شده است چون میدان مغناطیسی از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شود. (توجه کنید که شکل سه بعدی است)

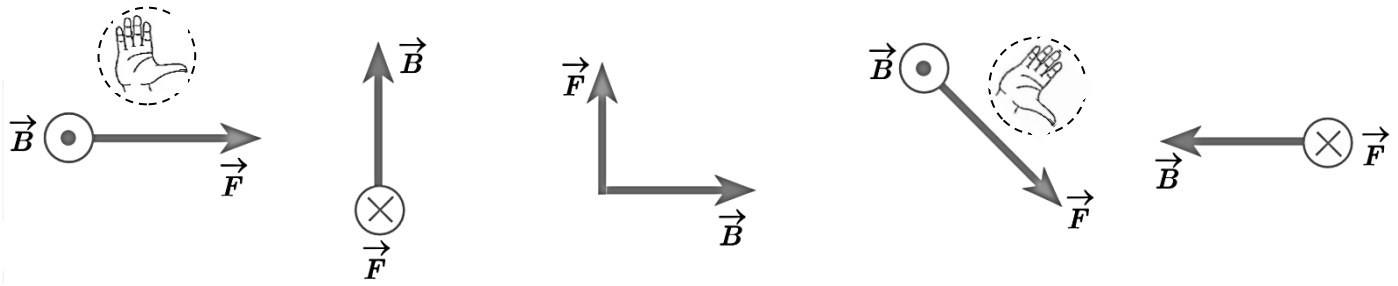


همچنین برای تعیین جهت نیروی $\vec{F}$ ابتدا طبق قاعدهٔ دست راست عمل کرده و می‌بینیم که جهت انگشت شست، جهت نیرو را به سمت پایین نشان می‌دهد. اما چون ذرهٔ باردار، بار منفی دارد جهت بردار نیرو را برعکس (به سمت بالا) رسم می‌کنیم.

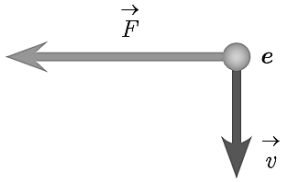
❖ مثال‌هایی برای بار مثبت:



مثال ۳ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۷): نیروی مغناطیسی $\vec{F}$ وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ در حرکت است، در شکل زیر نشان داده شده است. فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است؛ در هریک از حالت‌های نشان داده شد جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.



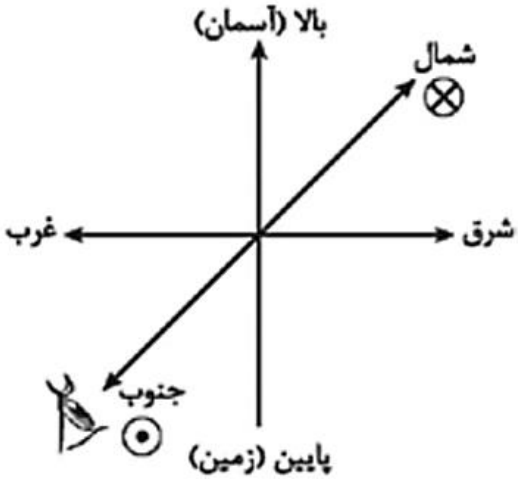
پرسش ۳–۴ کتاب درسی الکترونی عمود بر میدان‌مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. باتوجه به‌شکل، جهت میدان $\vec{B}$ کدام است؟



☐ بالا ☐ راست ☐ درون‌سو ☐ برون‌سو

❖ جهت‌های جغرافیایی

به این موضوع توجه کنید که در مسائل این بخش، ۶ جهت جغرافیایی وجود دارد.



اغلب اوقات، صفحه‌ای که در مقابل ماست، جهت شمال محسوب می‌شود و چون این جهت به درون صفحه رفته است درون‌سو خواهد بود. پس سمت مخالف آن نیز جهت جنوب محسوب شده و برون‌سو خواهد بود.

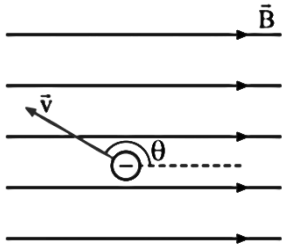
جهت‌های روی صفحه نیز «شرق ـ غرب» و «بالا ـ پایین» فرض می‌شوند.

اما در هر مسأله‌ای باید توجه کنید که جهت‌های داده شده را به چه سمتی قرارداد کرده اند و بر اساس آن، سایر جهت‌ها را نیز پیدا کنید.

* اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی

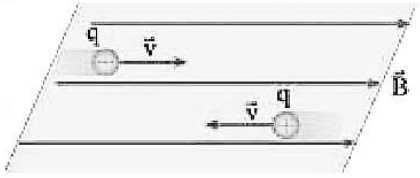
اگر ذرهٔ باردار q با سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت کند اندازهٔ نیروی مغناطیسی($\vec{F}$) وارد بر آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$F = |q| vB\sin\theta$$



- q بار ذره بر حسب کولن (C)
- v تندی (اندازهٔ سرعت) ذره بر حسب متر بر ثانیه (m/s)
- B اندازهٔ میدان مغناطیسی بر حسب تِسلا (T)
- θ زاویهٔ بین بردارهای سرعت($\vec{v}$) و میدان مغناطیسی ($\vec{B}$)

نکته: از رابطهٔ بالا معلوم می‌شود که اگر ذره دارای بار نباشد (q=۰؛ نوترون) یا ذرهٔ باردار ساکن باشد (v=۰) و یا به موازات خطوط میدان حرکت کند (θ برابر صفر یا ۱۸۰ درجه باشد⇦sinθ=۰) نیروی وارد بر ذره از طرف میدان صفر می‌شود (نیرویی به ذره وارد نمی‌شود).



نکته: از رابطهٔ بالا معلوم می‌شود که اگر ذره عمود بر جهت میدان حرکت کند ($\theta=90^\circ$)، اندازهٔ نیروی مغناطیسی بیشینه می‌شود. چون در این حالت sinθ به بیشترین مقدار خود که عدد ۱ است می‌رسد. در نتیجه خواهیم داشت:

$$F_{max} = |q| vB$$

به ذره‌ای که به موازات میدان حرکت کند نیرویی وارد نمی‌شود، و بیشترین نیرو به ذره‌ای که عمود بر میدان حرکت کند وارد می‌شود.

❖ یکای میدان مغناطیسی (تِسلا(T)): یکای میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) تسلا است و آن را با T نشان می‌دهند. برای به‌دست آوردن این یکا در SI باید رابطهٔ نیروی مغناطیسی را بر اساس $\vec{B}$ مرتب کنیم:

$$B = \frac{F_{max}}{|q|v} \Rightarrow \text{تسلا} = \frac{\text{نیوتون}}{(\text{متر})(\text{کولن})(\frac{\text{متر}}{\text{ثانیه}})} \Rightarrow T = \frac{N}{A.m}$$

آمپر

گاوس (G): از آنجا که تسلا یکای بزرگی است، گاهی اوقات از یکای دیگری به نام گاوس که آن را با G نشان می‌دهند برای میدان مغناطیسی استفاده می‌شود. نسبت تسلا و گاوس برای تبدیل به یکدیگر عبارت است از:

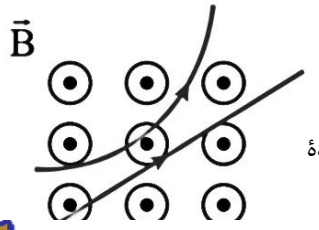
$$1T = 10^{4}\,G \quad (\times 10^{4}) \qquad \text{و} \qquad 1G = 10^{-4}\,T \quad (\times 10^{-4})$$

نکته: بار الکترون: **منفی** بار پروتون: **مثبت** بار نوترون: **خنثی(بدون بار)**

نکته: بار الکترون و پروتون برابر است و نیروی یکسانی در یک‌میدان به آن‌ها وارد می‌شود، اما چون پروتون سنگین‌تر است کمتر منحرف می‌شود.

نکته: به ذرهٔ خنثی، طبق رابطه، در میدان مغناطیسی نیرویی وارد نمی‌شود و لذا منحرف نمی‌گردد.

❖مثال: شکل مقابل، یک میدان مغناطیسی برون‌سو را نشان می‌دهد که دو ذره درون آن حرکت کرده‌اند.

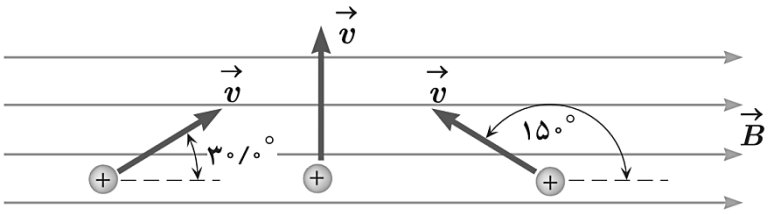


- ذره‌ای که تغییر مسیر نداده و منحرف نشده است، ذرهٔ خنثی است.
- ذره‌ای که به سمت بالا منحرف شده، ذرهٔ دارای بار منفی است که وقتی در میدان وارد می‌شود طبق قاعدهٔ دست راست، نیرویی به سمت بالا به آن وارد می‌گردد و به تدریج آن را از مسیر اولیه منحرف می‌کند.

کتاب درسی ○ مثال ۳-۱

تمرین ۳-۱ کتاب درسی ۱ــ بر پروتونی که با زاویهٔ $\theta = ۳۰^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ $B=۳۲۰G$ در حرکت است نیرویی به اندازهٔ $F=۵/۱۲\times۱۰^{-۱۴}\,N$ وارد می‌شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟

۲ــ سه ذرّه، هر کدام با بار $q = ۶/۱۵\,nC$ و تندی $v=۴۶\,m/s$، در میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ $B=۰/۱۶۵T$ در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی وارد بر هر ذرّه را حساب کنید.



مثال ۴ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۹): پروتونی با تندی $۴/۴\times۱۰^{۶}\,m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ $۱۸mT$ در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت $\vec{B}$، زاویهٔ ۶۰° می‌سازد.

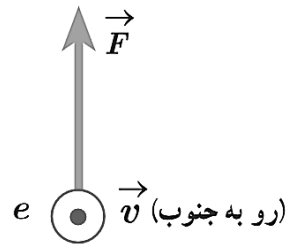
الف) اندازهٔ نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید.

ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون را $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C$ و جرم آن را $۱/۷\times۱۰^{-۲۷}\,Kg$ در نظر بگیرید.)

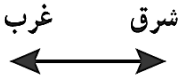
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید**

مثال۵ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۰): الکترونی با تندی $۲/۴\times۱۰^{۵}\ m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازهٔ نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.

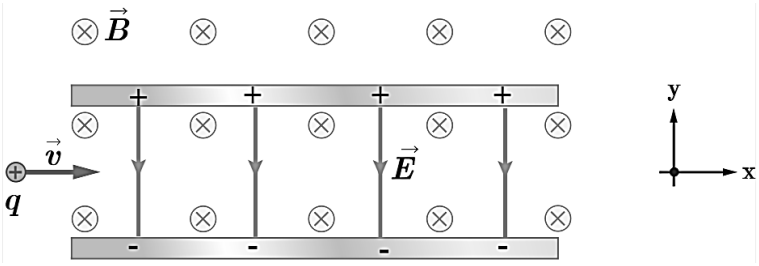
الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازهٔ آن برابر $۶/۸\times۱۰^{-۱۴}\ N$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.



ب) اندازهٔ میدان الکتریکی چقدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟



مثال۶ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۱): ذرهٔ باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت $\vec{v}$ در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت جهت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ وجود دارد (شکل زیر). اندازهٔ این میدان‌ها برابر $E=۴۵۰\ N/C$ و $B=۰/۱۸T$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



مثال۷ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۵): چهار ذرّه هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون‌سو مسیرهایی مطابق شکل زیر می‌پیمایند. دربارهٔ نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟