



# فیزیک ۲

**آموزش و تست** **یازدهم**  
پُر از تست‌های دوست‌داشتنی

• نصراله افاضل • کاظم اسکندری • مصطفی کیانی  
• مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک: نصراله افاضل



مهروماه

## مقدمه

در یادگیری و تسلط بر مفاهیم درسی و آموزشی، داشتن پشتکار و تلاش منظم، اگر مهم‌ترین عامل موفقیت نباشد، اما مهم‌ترین عامل موفقیت است. ممکن است برخی دانش‌آموزان از قدرت تمرکز یا به اصطلاح هوش بیشتری بهره‌مند باشند اما باور ما بر این است که این ویژگی‌ها مهم‌ترین عامل موفقیت نیستند. بر این اساس، مؤلفان این کتاب کوشیده‌اند تست‌هایی متنوع از ساده تا دشوار، و در برگیرنده همه مفاهیم و نکته‌های درسی را برای شما دانش‌آموزان سخت‌کوش، منظم و دقیق فراهم کنند تا زمینه‌ساز موفقیت شما در کنکور سراسری باشد.


### برخی از ویژگی‌های این کتاب

- 1 ساختار منطقی آموزشی و متناسب با آخرین تغییرات کتاب درسی به طوری که شما می‌توانید پس از تدریس دبیر محترم و یادگیری مفاهیم هر بخش، تست‌های مربوط به جلسه تدریس را پاسخ دهید.
- 2 درسنامه‌های جامع و روان که به منظور درک عمیق‌تر مفاهیم برای شما نگاشته شده است.
- 3 سوال‌های کنکور سراسری و تست‌های تالیفی شبیه‌سازی شده با کنکور که حاصل خرد جمعی مؤلفان است.
- 4 تست‌ها تیپ‌بندی شده‌اند و در هر بخش بر اساس روند آموزشی و از تست‌های ساده به دشوار چیده شده‌اند تا یادگیری برایتان لذت‌بخش و آسان‌تر باشد و قوت قلب بیشتری بیابد.
- 5 پوشش صددرصدی و نعل به نعل تمرین‌ها، فعالیت‌ها، مسئله‌ها و تصویرهای کتاب درسی که در قالب تست آورده شده‌اند.
- 6 پاسخ‌های ابرتشریحی مفهومی همراه با ارائه روش‌های تستی متنوع
- 7 راهبردهای آموزشی همراه با آخرین فوت‌وفن‌های مورد نیاز برای پاسخ سریع تست‌ها
- 8 تذکرها و یادآوری‌های بسیار مفید در پاسخ‌نامه که تکمیل‌کننده آموزش مفاهیم درسی است.
- 9 آزمون استاندارد در پایان هر فصل برای محک زدن و اطمینان از تلاش و زحمتی که به کار بردید.
- 10 امکان استفاده از انیمیشن‌ها و آزمایش‌های جذاب و مفهومی مرتبط با درسنامه که به شما در یادگیری و تسلط مفاهیم کمک می‌کند.

### راهنمای استفاده از کتاب

**مرحله اول:** پیش از شروع در هر بخش، باید مطمئن باشید که مفاهیم درسی را که دبیر گرامی تدریس کرده‌اند به خوبی یاد گرفته‌اید و تمرینات کتاب درسی و مثال‌های آن را کار کرده باشید. توصیه می‌کنیم که در این مرحله، کتاب کار فیزیک ۲ مهروماه را کار کنید.

**مرحله دوم:** درسنامه‌ای را که در بخش مورد نظر آورده‌ایم به دقت مطالعه و خلاصه‌نویسی کنید.

**مرحله سوم:** تست‌های شاخص بخش، تست‌هایی که با علامت  مشخص شده‌اند را پاسخ دهید و حتما پاسخ‌نامه تشریحی را هم مطالعه کنید. راهبردهایی را که در پاسخ‌نامه آورده‌ایم خلاصه‌نویسی کنید. در این مرحله، مفاهیم این بخش در ذهن‌تان تثبیت می‌شود.

**مرحله چهارم:** دیگر تست‌های بخش را به ترتیب (سعی کنید ترتیب را رعایت کنید) پاسخ دهید. کوشیده‌ایم ترتیب تست‌ها از ساده به دشوار باشد.

**مرحله پنجم:** پاسخ تشریحی تست‌ها را مطالعه کنید تا بر مفاهیم درسی مسلط شوید. (اگرچه گزینه درست را انتخاب کرده باشید،) بخشی از یادگیری و تسلط شما با مطالعه پاسخ‌نامه انجام می‌شود.

**مرحله ششم:** در پایان هر فصل آزمون را پاسخ دهید.

## و اما قدردانی...

- در پایان وظیفه خود می‌دانم از همه همکاران مهروماهی عزیز که برای به ثمر رساندن این کتاب، مولفین را یاری نمودند سپاسگزاری کنم:
- جناب آقای احمد اختیاری، مدیر فرزانه انتشارات مهروماه که از هرگونه راهنمایی و حمایت ما فروگذاری نکردند!
  - جناب آقای استاد محمدحسین انوشه، مدیر شورای تالیف که از تجربه غنی تالیف و مدیریت خود، ما را بهره‌مند ساختند!
  - سرکار خانم زهرا خوشنود، مدیر اجرایی دروس اختصاصی و همکارانشان که زحمت فراوان در پیشبرد مراحل مختلف کتاب کشیده‌اند!
  - همکاران گروه هنری که با طراحی زیبای جلد و صفحه‌های داخل کتاب بر ارزش آن افزودند!
  - سرکار خانم سمیه جباری، مدیر تولید و همکارانشان که با پیگیری و تلاش ایشان کتاب به مرحله چاپ رسید!
  - سرکار خانم رویا طبسی که کتاب را با دقت هرچه تمام‌تر صفحه‌آرایی کردند و آراستند!
  - سرکار خانم الناز رضوانی و آقای محسن کامران‌پور حروف نگاران، آقای ساسان اسدی رسام شکل‌های کتاب!
  - از خانم فرزانه قنبری، مدیر روابط عمومی، آقای امیر انوشه مدیر سایت و همکارانشان که معرفی کتاب و رساندن آن به شمارا به‌عهده دارند و از آقای ذوالفقار بهبودی که آسایش همکاران را در انتشارات فراهم کردند، بسیار سپاسگزارم.

مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک

نصراله افاضل

# فهرست



۹

فصل اول الکتریسیته ساکن

۱۴۷

فصل دوم جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

۲۶۱

فصل سوم مغناطیس و القای الکترومغناطیسی

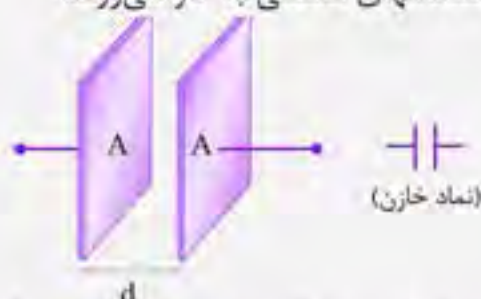
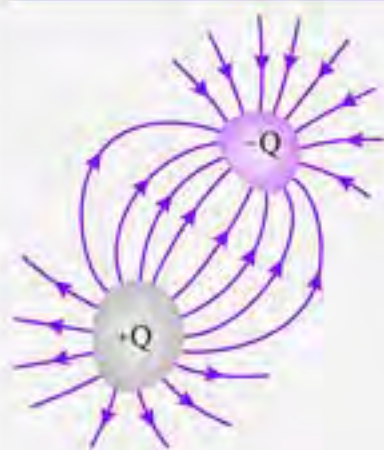
## خازن

وسیله (قطعه‌ای) الکتریکی است که برای ذخیره بار و انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.



### نکته

خازن‌ها در شکل‌ها و انواع گوناگون ساخته می‌شوند. یک خازن از دو بخش رسانا و یک محیط عایق که میان دو رساناست، تشکیل می‌شود. ساده‌ترین خازن‌ها، خازن تخت است. خازن تخت از دو صفحه فلزی (رسانا) تخت و موازی با یکدیگر تشکیل می‌شود که عایقی مانند هوا یا چوب پنبه و شیشه، میان دو صفحه قرار دارد. خازن‌ها به طور گسترده در صنعت الکترونیک و مدارهای الکترونیکی و در وسایل گوناگونی مانند تلویزیون، رایانه، گوشی همراه، اتومبیل، دستگاههای صنعتی به کار می‌روند.



ساختار خازن تخت،  $A$  مساحت مشترک صفحه‌های خازن و  $d$  فاصله دو صفحه است.

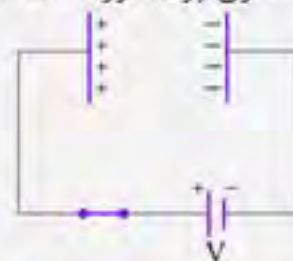
### باردار (شارژ) کردن خازن

اگر هر صفحه خازنی را به یکی از پایانه‌های یک باتری وصل کنیم، به دلیل وجود اختلاف پتانسیل در دو پایانه باتری، بین دو صفحه خازن نیز اختلاف پتانسیل پدید می‌آید و سبب می‌شود که باتری بار منفی (یعنی الکترونها) را از یک صفحه خازن به طرف پایانه مثبت خود بکشد و از پایانه منفی الکترون‌ها را به صفحه دیگر خازن براند. این عمل تا لحظه‌ای که اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن برابر اختلاف پتانسیل دو پایانه باتری شود، ادامه می‌یابد.

در این لحظه می‌گویند خازن پر (شارژ) شده است و اختلاف پتانسیل خازن برابر اختلاف پتانسیل باتری است.



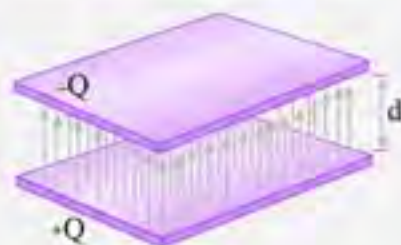
شارش بار منفی تا پر شدن خازن ادامه دارد.



لحظه‌ای که خازن پر شود شارش بار وجود ندارد.

### نکته

باتری الکترون‌ها را از یک صفحه به صفحه دیگر خازن جابه‌جا (پمپ) می‌کند و یکی از صفحه‌ها که الکترون از دست داده بار مثبت (+Q) و دیگری که الکترون گرفته بار منفی (-Q) می‌یابد.



اندازه بار صفحه‌های خازن یکسان است  $|-Q| = |+Q| = Q$  و در اصطلاح می‌گویند خازن بار  $Q$  دارد.<sup>۲</sup>

هنگامی که خازن بار الکتریکی دارد بین دو صفحه آن میدان الکتریکی پدید می‌آید و میدان الکتریکی خازن تخت یکنواخت است.

<sup>۲</sup> در این کتاب بار خازن را با نماد  $Q$  نیز نشان می‌دهیم.

## ظرفیت خازن و رابطه آن

اگر اختلاف پتانسیل  $V$  را به یک خازن اعمال کنیم، بار  $Q$  در آن ذخیره می‌شود. اگر ولتاژ  $V$  را کمتر یا بیشتر کنیم، بار خازن نیز کمتر یا می‌تواند بیشتر شود. به طوری که برای یک خازن با صفحه‌ها و شرایط معین، نسبت بار  $(Q)$  به ولتاژ  $(V)$ ، مقدار ثابتی است یعنی:

$$\frac{Q}{V} = \text{ثابت}$$

$$\frac{Q}{V} = C$$

این مقدار ثابت را ظرفیت خازن می‌نامند و آن را با  $C$  نشان می‌دهند یعنی:

در این رابطه اگر  $Q$  را بر حسب کولن و  $V$  را بر حسب ولت در نظر بگیریم، یکای ظرفیت خازن بر حسب  $\frac{C}{V}$  خواهد بود.

$$\frac{(C)}{(V)} = (F)$$

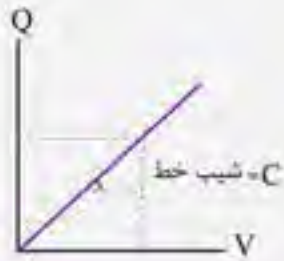
یکای  $\frac{C}{V}$  را فاراد می‌نامند و آن را با  $(F)$  نشان می‌دهند.

ظرفیت خازن به ولتاژ و بار خازن بستگی ندارد. اگر ولتاژ خازن مثلاً زیاد شود بار خازن نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد و نسبت  $\frac{Q}{V} = C$  ثابت می‌ماند.

### نکته

نمودار بار خازن بر حسب اختلاف پتانسیل دو سر آن را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت.

**یادآوری:** در رابطه  $Q = CV$  بار، تابعی از ولتاژ است و این رابطه شبیه رابطه ریاضی  $y = ax$  می‌باشد که نمودار آن به صورت خط می‌داند گذراست.



$$\begin{array}{ccc} Q = CV & & \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ y = ax & & \end{array}$$

### نکته

از لحظه‌ای که صفحه‌های خازن را به دو پایانه مولد می‌بندیم تا لحظه‌ای که خازن را پر شده در نظر می‌گیریم، بار خازن بر حسب زمان به صورت خطی افزایش نمی‌یابد بلکه به صورت تابع غیر خطی (شکل مقابل) است.



**مثال:** صفحه‌های یک خازن تخت را به یک باتری با اختلاف پتانسیل  $24V$  وصل می‌کنیم. اگر ظرفیت خازن  $6\mu F$  باشد:

الف) بار الکتریکی خازن چند میکروکولن خواهد شد؟

ب) اگر صفحه‌های خازن را به ولتاژ  $48V$  (دو برابر ولتاژ اولیه) وصل کنیم، ظرفیت خازن و بار خازن چند برابر می‌شوند؟

### پاسخ:

**الف:** در این حالت از رابطه  $\frac{Q}{V} = C$  استفاده می‌کنیم و داریم:

$$Q = CV \Rightarrow Q = 6(\mu F) \times 24(V) \Rightarrow Q = 144\mu(FV) \Rightarrow Q = 144\mu C$$

**ب:** اگر ولتاژ خازن را زیاد کنیم بار آن نیز زیاد می‌شود و ظرفیت خازن تغییر نمی‌کند و از رابطه  $Q = CV$  داریم:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{V_2}{V_1} \quad \frac{C_1 = C_2}{V_2 = 2V_1} \rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = 2$$

<sup>5</sup> هر خازنی بسته به ظرفیت و عایق آن، ولتاژ بیشینه‌ای را می‌تواند تحمل کند. اگر ولتاژ خازن از یک حدی بیشتر شود، بار خازن تخلیه می‌شود. در این باره در بحث‌های جلوتر (فروریزش الکتریکی) صحبت خواهیم کرد.

## انرژی خازن<sup>۱</sup>

هنگامی که باتری خازن را پر (شارژ) می‌کند، برای جابه‌جایی بارهای الکتریکی انرژی مصرف می‌کند. بخشی از این انرژی در خازن، یعنی بین دو صفحه آن و در فضایی که میدان الکتریکی خازن وجود دارد، ذخیره می‌شود. این انرژی از نوع انرژی پتانسیل الکتریکی است که پیش از این یا مفاهیم آن آشنا شده‌اید. می‌توان فرض کرد که کار باتری (نیروی خارجی) بر بارهای الکتریکی سبب ذخیره شدن این انرژی در خازن می‌شود.

اما باید توجه داشته باشید که همه بار خازن (یعنی  $Q$ ) در اختلاف پتانسیل  $\Delta V$  (یا همان  $V$  باتری) از یک صفحه به صفحه دیگر جابه‌جا نشده است بلکه به تدریج که بار خازن افزایش می‌یابد، ولتاژ خازن هم زیاد می‌شود تا خازن پر شود. از این رو می‌توان برای خازن ولتاژ متوسطی ( $\bar{V}$ ) در نظر گرفت و فرض کرد همه بار  $Q$  در این ولتاژ متوسط جابه‌جا شده‌اند. در این صورت انرژی ذخیره شده در خازن برابر  $W = Q\bar{V}$  است و چون رابطه بار برحسب خازن به صورت خطی است می‌توان  $\bar{V} = \frac{V+0}{2}$  را در نظر گرفت. داریم:

$$W = Q\bar{V} = Q \frac{V+0}{2} \Rightarrow W = \frac{1}{2} QV$$

از آنجا که تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار  $Q$  یعنی  $\Delta U$  برابر انرژی ذخیره شده در خازن ( $W = \Delta U$ ) است با در نظر گرفتن  $U$  به جای  $\Delta U$  می‌توانیم به رابطه انرژی ذخیره شده در خازن برسیم:

$$U = \frac{1}{2} QV$$

با استفاده از رابطه  $Q = CV$  یا  $V = \frac{Q}{C}$  می‌توانیم انرژی خازن را به صورت‌های مقابل نیز بنویسیم:

$$U = \frac{1}{2} CV^2, U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

### یک روش دیگر برای یافتن رابطه انرژی خازن

می‌توان انرژی خازن را از مساحت بین نمودار  $Q-V$  با محور  $V$  نیز به دست آورد:



**مثال:** در شکل مقابل خازن را با ولتاژ  $10V$  پر کرده‌ایم.  $C = 22\mu F$

الف) انرژی خازن چند ژول است؟

ب) اگر کلید را ببندیم چه پدیده‌ای رخ می‌دهد؟

پ) اگر لامپ تقریباً طی مدت  $1/10$  میلی‌ثانیه انرژی خازن را مصرف کند، آهنگ مصرف انرژی لامپ (توان) چند وات است؟

**پاسخ:**

**الف:** چون ولتاژ و ظرفیت خازن معلوم است برای محاسبه انرژی خازن از رابطه  $U = \frac{1}{2} CV^2$  استفاده می‌کنیم:

$$U = \frac{1}{2} \times 22 \times 10^{-6} (F) \times 10^2 (V) = 1/1 \times 10^{-3} J$$

**ب:** کلید که بسته شود، بار الکتریکی منفی از یک صفحه به صفحه دیگر خازن راه پیدا می‌کند و ضمن جابه‌جا شدن از لامپ عبور می‌کند و انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در خازن به صورت انرژی درونی و نور در لامپ آزاد و مصرف می‌شود.

**پ:** چون انرژی مصرف شده در لامپ را برابر همان انرژی ذخیره شده در خازن در نظر گرفتیم، می‌توان از تعریف توان، نوشت:

$$P = \frac{U}{t} = \frac{1/1 \times 10^{-3} (J)}{1/10 \times 10^{-2} (s)} = 1/1 (W)$$

### رابطه ظرفیت خازن تخت

اگر فضای بین دو صفحه خازن تخت هوا یا خلأ باشد، آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که ظرفیت این خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_x = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

در این رابطه،  $A$  مساحت هر یک از صفحه‌های خازن است که روبه‌روی یکدیگرند و برحسب مترمربع است،  $d$  فاصله دو صفحه

برحسب  $m$  و  $\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$  است.

<sup>۱</sup> این مبحث در کتاب درسی کمی جلوتر مطرح شده اما به نظر ما بهتر است اینجا مطرح و بررسی شود.

**مثال:** فاصله دو صفحه خازن تخت 5mm و مساحت هر صفحه آن 1cm<sup>2</sup> است.

الف) ظرفیت این خازن چقدر است؟

ب) اگر فاصله دو صفحه خازن را دو برابر کنیم، ظرفیت آن چند برابر می‌شود؟ ( $\epsilon_0 \approx 9 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$ )

**پاسخ:**

**الف:** از رابطه ظرفیت خازن تخت با عایق هوا می‌توان نوشت:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} = 9 \times 10^{-12} \times \frac{10 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} = 1/8 \times 10^{-12} F \Rightarrow C = 1/8 PF$$

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2} \quad \frac{A_1 = A_2}{d_2 = 2d_1} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{2d_1} = \frac{1}{2}$$

**ب:** می‌توان از رابطه ظرفیت خازن تخت استفاده کرد و نوشت:

### میدان الکتریکی خازن تخت

پیش از این دیدیم که بین دو صفحه خازن تخت که بار الکتریکی دارد میدان الکتریکی یکنواخت برقرار است و با توجه به رابطه میدان الکتریکی یکنواخت که پیش از این مبحث مطرح شده است  $|\Delta V| = Ed$  می‌توان برای خازن نوشت:

$$V = |\Delta V| \Rightarrow V_{\text{خازن}} = E_{\text{خازن}} d \Rightarrow E = \frac{V}{d}$$

**پرسش:** میدان الکتریکی خازن را چگونه می‌توان تغییر داد؟

**پاسخ:** با توجه به رابطه  $E = \frac{V}{d}$  برای خازن، هرگاه نسبت  $\frac{V}{d}$  تغییر کند، بزرگی میدان الکتریکی خازن هم تغییر می‌کند.

**مثال:** فاصله دو صفحه یک خازن تخت 1cm و خازن به باتری با ولتاژ 30 ولت وصل است.

الف) میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن چند  $\frac{V}{m}$  است؟

ب) بیشترین اختلاف پتانسیل دو نقطه از فضای بین دو صفحه خازن که در فاصله 2mm از یکدیگرند چند ولت است؟

**پاسخ:**

$$E = \frac{30(V)}{1 \times 10^{-2}(m)} = 3000 \left(\frac{V}{m}\right)$$

**الف:** از رابطه  $E = \frac{V}{d}$  استفاده می‌کنیم:

**ب:** چون بیشترین اختلاف پتانسیل در فاصله 2mm مطرح شده باید از رابطه  $|\Delta V| = Ed \cos \theta$  استفاده کنیم و  $\cos \theta$  را برابر 1

(یعنی بیشترین مقدار ممکن) قرار دهیم و چون میدان خازن یکنواخت است برای همه نقاط درون آن  $E = 3000 \left(\frac{V}{m}\right)$  است و داریم:

$$|\Delta V| = 3000 \times 2 \times 10^{-3} = 6V$$

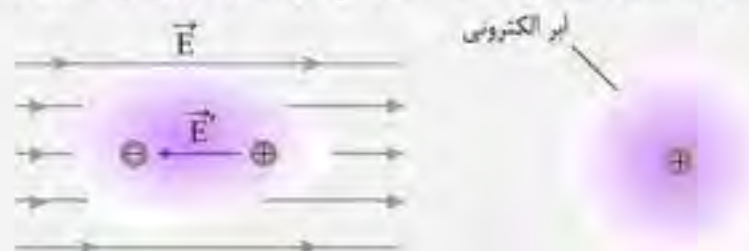
### اثر دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن

دی‌الکتریک همان ماده نارسنای الکتریکی است و در حالت طبیعی و عادی بارهای الکتریکی آزاد ندارد، اما اگر ماده دی‌الکتریک بین صفحه‌های خازن باردار قرار گیرد می‌تواند در ظرفیت بار، ولتاژ و انرژی آن تغییر ایجاد کند. برای توجیه و بررسی چگونگی اثر دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن ابتدا اثر دی‌الکتریک را بر میدان الکتریکی بررسی می‌کنیم.

### اثر دی‌الکتریک بر میدان الکتریکی

برخی دی‌الکتریک‌ها از مولکول‌های غیرقطبی تشکیل می‌شوند مانند متان و بنزن و برخی از مولکول‌های قطبی مانند آب، آمونیاک و کلریدریک اسید ساخته می‌شوند. در این بحث رفتار این دی‌الکتریک‌ها را در میدان الکتریکی بررسی می‌کنیم:

**1) دی‌الکتریک غیرقطبی در میدان الکتریکی:** در این حالت به سبب اثر میدان بر ابر الکترونی مولکول‌های دی‌الکتریک، ابر الکترونی خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا می‌شود و مرکز بارهای مثبت و منفی مولکول (اتم) از هم جدا می‌شوند و در یک طرف مولکول آثار بار منفی و در طرف دیگر آثار بار مثبت ظاهر شده و به اصطلاح می‌گویند مولکول دو قطبی یا قطبیده شده است.



در حضور میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و ابرالکترونی در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شود.

در نبود میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی برهم منطبق‌اند.



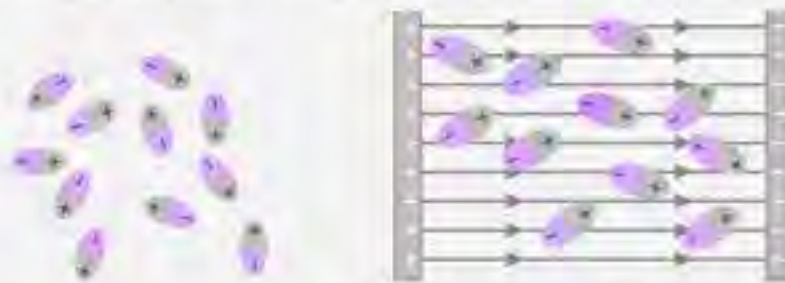
این قطبیده شدن هر مولکول، میدان الکتریکی خلاف جهت میدان الکتریکی خارجی پدید می‌آورد و ما آن را  $\vec{E}'$  می‌نامیم و این پدیده سبب می‌شود میدان الکتریکی خارجی ضعیف شود.

$$E_T = E - E'$$

### نکته

وجود دی الکتریک در میدان الکتریکی، سبب ضعیف شدن میدان می‌شود.

**۲** اثر دی الکتریک با مولکول‌های قطبی بر میدان الکتریکی: هر مولکول از این نوع دی الکتریک‌ها قطبیده هستند. اما در حالت عادی هر کدام جهت‌گیری کاتوره‌ای دارند و در مجموع ماده دی الکتریک آثاری از میدان الکتریکی از خود ندارد. اما با قرار گرفتن دی الکتریک در میدان الکتریکی خارجی، آرایش مولکول‌ها (دوقطبی‌ها) به گونه‌ای تغییر می‌کند که سر مثبت آن‌ها هم جهت میدان و سر منفی آن‌ها خلاف جهت میدان می‌چرخد و به گونه‌ای آرایش می‌یابند که میدان الکتریکی هر مولکول (یعنی  $\vec{E}'$ ) تقریباً خلاف جهت میدان خارجی ( $\vec{E}$ ) قرار می‌گیرد. و در مجموع میدان الکتریکی مولکولها یعنی  $E'$  از میدان خارجی  $E$  می‌کاهد.  $E_T = E - E'$



در نبود میدان الکتریکی، سمت‌گیری مولکول‌های دوقطبی نامنظم است.

در حضور میدان الکتریکی، مولکول‌های قطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی خارجی هم‌دیف کنند.

### نکته

بنابراین اگر دی الکتریک با مولکول‌های قطبیده هم در میدان الکتریکی قرار گیرد، میدان الکتریکی خارجی درون دی الکتریک ضعیف می‌شود.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که وجود دی الکتریک چگونه بر ظرفیت خازن اثر می‌گذارد؟ برای بررسی و پاسخ به این سؤال دو حالت در نظر می‌گیریم:

#### حالت اول: خازن به مولد متصل است.

در این حالت ولتاژ خازن برابر ولتاژ مولد و مقداری ثابت است. اگر دی الکتریک درون خازن ببریم، بنا به رابطه  $E = \frac{V}{d}$  چون در لحظه ورود دی الکتریک، میدان الکتریکی خازن باید کم شود و در نتیجه ولتاژ خازن کم می‌شود و چون خازن به مولد متصل است مولد در خازن بار بیشتری القا و جابه‌جا می‌کند تا ولتاژ خازن دوباره برابر ولتاژ مولد شود و بنابر رابطه  $Q = CV$  چون  $V$  تغییر نکرده اما  $Q$  زیاد شده است می‌توان نتیجه گرفت ظرفیت خازن ( $C$ ) افزایش یافته است.

#### حالت دوم: خازن بار الکتریکی دارد و از مولد جدا است.

در این حالت بار خازن ثابت است. (زیرا با وسیله دیگری مانند باتری یا خازن دیگر در ارتباط نیست و نمی‌تواند با آن‌ها بار مبادله کند) با ورود دی الکتریک در خازن، (کاملاً فضای خازن پر شود) میدان الکتریکی آن ضعیف می‌شود و بنابر رابطه  $E = \frac{V}{d_{\text{ثابت}}}$  می‌توان دریافت خازن  $V$  کم می‌شود و از رابطه  $Q_{\text{ثابت}} = CV$  چون  $V$  کم شده و  $Q$  ثابت مانده، می‌توان نتیجه گرفت، ظرفیت خازن زیاد شده است.

بنابراین: «ورود دی الکتریک به خازن سبب افزایش ظرفیت خازن می‌شود»

### ظرفیت خازن تخت با دی الکتریک

اگر فرض کنیم ظرفیت خازن که بین دو صفحه‌اش خلأ (یا هوا) است، برابر  $C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$  باشد، با قرار دادن دی الکتریک در خازن ظرفیت آن  $\kappa$  برابر می‌شود و می‌توان ظرفیت خازن با دی الکتریک ( $C$ ) را از رابطه مقابل به دست آورد:  $C = \kappa C_0 \Rightarrow C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$  در این رابطه  $\kappa$  را ثابت دی الکتریک می‌نامند.

واضح است که  $\kappa \geq 1$  است و یکای آن (یک) است. (یک ندارد)

ثابت دی الکتریک به جنس ماده دی الکتریک بستگی دارد و به ابعاد آن بستگی ندارد.

\* از حروف الفبای یونانی است که کاپا خوانده می‌شود.

ثابت دی الکتریک برخی عایق‌ها در دمای ۲۰°C

ثابت دی الکتریک	ماده دی الکتریک	ثابت دی الکتریک	ماده دی الکتریک
۳/۵	کاغذ	۱/۰۰۰۶	هوای ۱ atm
۴/۳	کوارتز	۲/۱	تفلون
۵	شیشه پیرکس	۲/۲	پارافین
۷	میکا	۲/۶	پلی استیرن
۸	آب خالص	۳/۱	میلار
۳۱۰	تیتانید استرانسیوم	۳/۴	بی‌وی‌سی

**مثال:** ظرفیت خازن تخت با دی الکتریک هوا  $C_1$  و به یک باتری با ولتاژ  $V$  وصل است. اگر فاصله دو صفحه آن را سه برابر و ماده‌ای با ثابت دی الکتریک ۵ (شیشه پیرکس) را بین دو صفحه آن قرار دهیم:

الف) ظرفیت خازن چند برابر می‌شود؟

ب) بار خازن چند برابر می‌شود؟

پ) انرژی خازن چند برابر می‌شود؟

• پاسخ:

**الف:** در حالتی که خازن به مولد وصل است ولتاژ خازن برابر ولتاژ مولد و ثابت فرض می‌شود و برای ظرفیت خازن می‌توان نوشت:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2} \quad \kappa_1=1, \kappa_2=5 \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{5}{1} \times \frac{1}{3} \rightarrow C_2 = \frac{5}{3} C_1$$

**ب:** بنا بر رابطه  $Q = CV$  و با توجه به این که  $V$  ثابت است می‌توان نوشت:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{V_2}{V_1} \quad V_2=V_1 \rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{5}{3}$$

**پ:** چون ولتاژ خازن ثابت است از رابطه  $U = \frac{1}{2} CV^2$  استفاده می‌کنیم و داریم:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{5}{3}$$



برای مشاهده انیمیشن یا آزمایش، رمزینۀ روبه‌رو را اسکن کنید.

برگرفته از کتاب درسی

۲۹۴. چه تعداد از عبارتهای زیر درست است؟

الف) خازن مانند باتری می‌تواند در مدار، جریان الکتریکی ثابت برقرار کند.

ب) خازن مانند باتری می‌تواند بار و انرژی الکتریکی در خود ذخیره کند.

پ) خازن بر خلاف باتری می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار زیادی در مدار شارژ دهد.

ت) اگر خازن را به یک باتری ببندیم شارش بار تا هنگامی ادامه می‌یابد که بار خازن برابر بار باتری شود.

- ۱ (۱)      ۲ (۲)      ۳ (۳)      ۴ (۴)

۲۹۵. فاراد معادل است با:

- ۱) ولت / کولن      ۲) کولن / ولت      ۳) ژول / ولت      ۴) کولن / ولت

برگرفته از مسئله کتاب درسی

۲۹۶. اگر با تغییر منبع برق، اختلاف پتانسیل دو سر خازنی را ۴ برابر کنیم، ظرفیت آن چند برابر می‌شود؟

- ۱ (۱)      ۲ (۲)      ۳ (۳)      ۴ (۴)

۲۹۷. اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن را از ۲۰ ولت به ۲۸ ولت تغییر می‌دهیم. اگر بار خازن  $4.0 \mu C$  افزایش یابد، ظرفیت خازن چند

برگرفته از مسئله کتاب درسی

میکروفاراد است؟

- ۱ (۱)      ۲ (۲)      ۳ (۳)      ۴ (۴)

۲۹۸. کدام گزینه درست است؟

۱) اگر خازن با بار  $Q$  پر شده باشد، بار هر صفحه آن  $\frac{Q}{2}$  است.

۲) اگر بار هر صفحه خازن  $Q$  باشد، بار خالص دو صفحه خازن نیز  $Q$  است.

۳) برای پر کردن خازن، باتری بار الکتریکی موجود در خودش را به خازن منتقل می‌کند.

۴) هر قدر ظرفیت یک خازن بیشتر باشد برای ذخیره کردن مقدار معینی بار در آن ولتاژ کمتری نیاز است.



۳۹۹. ظرفیت یک خازن تخت مربع شکل، که فاصله دو صفحه آن  $10^{-3} \text{ mm}$  است برابر  $1 \text{ F}$  است. اگر فضای بین دو صفحه خازن با دی الکتریک  $\kappa = 10$  پر شده باشد، طول هر ضلع صفحه خازن چند  $\text{m}$  است؟  $(\epsilon_0 \approx 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}})$

در ادامه از مسئله کمک بگیرید

- (۱)  $10^8$  (۲)  $10^6$  (۳)  $10^4$  (۴)  $10^2$

۳۰۰. اگر فاصله دو صفحه خازن تخت را ۴ برابر و طول هر ضلع صفحه‌های آن را دو برابر کنیم، ظرفیت خازن چند برابر می‌شود؟

- (۱) ۱ (۲)  $\frac{1}{4}$  (۳)  $\frac{1}{2}$  (۴)  $\frac{1}{8}$

۳۰۱. اگر اختلاف پتانسیل دو سر یک خازن دو برابر شود، بار الکتریکی و ظرفیت آن به ترتیب از راست به چپ هر کدام چند برابر می‌شود؟

در ادامه از مسئله کمک بگیرید

- (۱) ۲-۲ (۲)  $2 - \frac{1}{2}$  (۳) ۱-۲ (۴)  $1 - \frac{1}{2}$

### خازن متصل به مولد

۳۰۲. یک خازن به یک باتری متصل است. اگر صفحات خازن را در این حالت از یکدیگر دور کنیم:

- (۱) بار الکتریکی خازن ثابت می‌ماند. (۲) انرژی خازن ثابت می‌ماند.  
(۳) بار الکتریکی خازن افزایش می‌یابد. (۴) بار خازن کاهش می‌یابد.

۳۰۳. خازن تختی با عایقی با ثابت دی الکتریک ۲ دارای ظرفیت  $4 \times 10^{-2} \mu\text{F}$  و به اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت وصل است. اگر در این وضعیت عایق از بین دو صفحه خازن خارج شود، ظرفیت و بار خازن به ترتیب برابر است با:

در ضمن مطرح است

- (۱)  $4 \mu\text{C}$  و  $2 \times 10^{-2} \mu\text{F}$  (۲)  $8 \mu\text{C}$  و  $2 \times 10^{-2} \mu\text{F}$   
(۳)  $8 \mu\text{C}$  و  $4 \times 10^{-2} \mu\text{F}$  (۴)  $8 \mu\text{C}$  و  $16 \times 10^{-2} \mu\text{F}$

۳۰۴. بین دو صفحه خازن مسطحی هوا است و دو سر آن به یک اختلاف پتانسیل ثابتی وصل است. اگر با ثابت ماندن فاصله بین صفحات، یک تیغه شیشه‌ای بین آن صفحات قرار دهیم، بار الکتریکی خازن چگونه تغییر می‌کند؟

در ضمن مطرح است

- (۱) ثابت می‌ماند. (۲) کاهش می‌یابد.  
(۳) افزایش می‌یابد. (۴) بسته به ضخامت شیشه، ممکن است افزایش یا کاهش یابد.

۳۰۵. خازنی با تیغه‌های موازی به باتری‌ای بسته شده است که ولتاژ خروجی آن ثابت است. اگر صفحه‌های خازن را از هم دور کنیم.....

در ادامه از مسئله کمک بگیرید

- (۱) میدان الکتریکی کم می‌شود و بار تیغه‌ها نیز کم می‌شود. (۲) میدان الکتریکی تغییر نمی‌کند، اما بار تیغه‌ها زیاد می‌شود.  
(۳) میدان الکتریکی تغییر نمی‌کند، اما بار تیغه‌ها کم می‌شود. (۴) میدان الکتریکی زیاد می‌شود اما بار تیغه‌ها کم می‌شود.

۳۰۶. صفحات خازنی که دی الکتریک آن هوا است به مولدی متصل است. در همین حال یک قطعه کانوچو بین صفحات آن قرار می‌دهیم. کدام یک از گزاره‌های زیر درست است؟

- (۱) شدت میدان الکتریکی بین صفحات افزایش می‌یابد. (۲) شدت میدان الکتریکی بین صفحات تغییر نمی‌کند.  
(۳) شدت میدان الکتریکی بین صفحات کاهش می‌یابد. (۴) تغییر شدت میدان الکتریکی به نوع کانوچو بستگی دارد.

۳۰۷. خازن مسطحی به دو سر باتری وصل است. اگر فاصله بین صفحات آن را نصف کنیم، انرژی و بار الکتریکی آن به ترتیب از راست به چپ چند برابر می‌شود؟

- (۱) ۲ و  $\frac{1}{2}$  (۲)  $\frac{1}{2}$  و ۴ (۳) ۲ و ۴ (۴) ۲ و ۲

۳۰۸. اگر اختلاف پتانسیل بین دو صفحه رسانای موازی هم،  $200 \text{ V}$  و فاصله بین آن دو صفحه  $4 \text{ mm}$  باشد، شدت میدان الکتریکی بین آن دو صفحه چند نیوتون بر کولن است؟

در ادامه از مسئله کمک بگیرید

- (۱) ۵۰ (۲) ۵۰۰ (۳) ۵۰۰۰ (۴) ۵۰۰۰۰

### خازن جدا از مولد

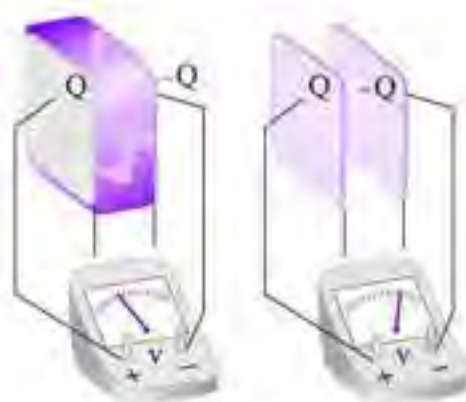
۳۰۹. خازن مسطحی را پس از پر شدن، از باتری جدا می‌کنیم. اگر بدون اتصال صفحات آن، دو صفحه را از هم دور کنیم، ظرفیت و اختلاف پتانسیل بین دو صفحه به ترتیب (از راست به چپ) چگونه تغییر می‌کند؟

در ضمن مطرح است

- (۱) افزایش - افزایش (۲) کاهش - کاهش (۳) کاهش - افزایش (۴) افزایش - کاهش

۳۱۰. خازن مسطحی را از باتری جدا کرده و سپس فاصله بین صفحات آن را دو برابر می‌کنیم. ولتاژ، انرژی و ظرفیت آن به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟

- (۱) افزایش - کاهش - افزایش (۲) افزایش - افزایش - کاهش  
(۳) کاهش - کاهش - افزایش (۴) کاهش - افزایش - کاهش



۳۱۱. شکل‌های زیر خازنی را نشان می‌دهند که در دو حالت به یک ولت‌سنج متصل است. کدام گزینه زیر درباره این شکل می‌تواند درست باشد؟  
 (۱) دی‌الکتریک بار خازن را افزایش می‌دهد.  
 (۲) دی‌الکتریک اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن را افزایش می‌دهد.  
 (۳) دی‌الکتریک ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد.  
 (۴) هر سه گزینه «۱»، «۲» و «۳» درست است.

۳۱۲. خازن پر شده‌ای را از باتری جدا کرده و دی‌الکتریک بین صفحات را برمی‌داریم. ظرفیت، انرژی و اختلاف پتانسیل آن به ترتیب از راست به چپ ..... می‌یابند.

- (۱) کاهش - کاهش - کاهش  
 (۲) کاهش - افزایش - افزایش  
 (۳) افزایش - افزایش - کاهش  
 (۴) افزایش - کاهش - افزایش

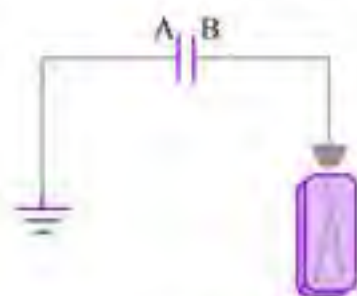
۳۱۳. اگر با ثابت نگه داشتن بار الکتریکی یک خازن فاصله بین صفحات آن را نصف کنیم، میدان الکتریکی بین دو صفحه آن چند برابر می‌شود؟  
 (برگرفته از مسئله کتاب درسی)

- (۱)  $\frac{1}{2}$  (۲) ۲ (۳)  $\sqrt{2}$  (۴) ۱

۳۱۴. خازنی را پس از شارژ شدن از مولد جدا می‌کنیم. سپس فاصله دو صفحه خازن را به نصف مقدار اولیه می‌رسانیم و در مرحله بعدی دی‌الکتریک  $\kappa = 4$  را بین صفحه‌های آن قرار می‌دهیم. تراکم بار الکتریکی سطحی صفحات خازن چند برابر می‌شود؟

- (۱) ۸ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴)  $\frac{1}{2}$

۳۱۵. دو صفحه فلزی A و B مطابق شکل زیر موازی هم قرار دارند. صفحه A را به زمین و صفحه B را به الکتروسکوپ وصل کرده‌ایم. ورقه‌های الکتروسکوپ باز هستند. اگر یک صفحه شیشه‌ای بدون بار بین این دو صفحه وارد کنیم، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ:



- (۱) کم می‌شود.  
 (۲) ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود.  
 (۳) زیاد می‌شود.  
 (۴) تغییر نمی‌کند.

### انرژی خازن

۳۱۶. اگر انرژی ذخیره شده در خازنی به ظرفیت ۴ میکروفاراد  $7/2$  میلی‌ژول باشد، اختلاف پتانسیل بین دو سر خازن چند ولت است؟

- (۱) ۶۰ (۲) ۶ (۳) ۳۰ (۴) ۲۰

۳۱۷. انرژی ذخیره شده در خازنی که به اختلاف پتانسیل  $1\text{ kV}$  وصل است برابر  $10^{-6}\text{ kWh}$  است. ظرفیت این خازن چند میکروفاراد است؟  
 (اصحیح: ۱۱)

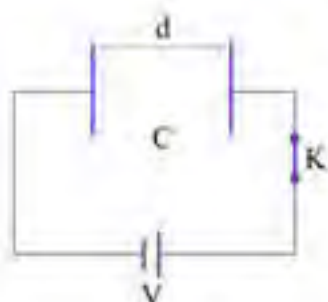
- (۱)  $3/6$  (۲)  $7/2$  (۳) ۳۶ (۴) ۷۲

۳۱۸. با تخلیه قسمتی از بار الکتریکی یک خازن پر شده، اختلاف پتانسیل دو سر آن ۸۰ درصد کاهش می‌یابد. انرژی این خازن چند درصد کاهش می‌یابد؟  
 (اصحیح: ۱۱)

- (۱) ۴۰ (۲) ۶۴ (۳) ۸۰ (۴) ۹۶

۳۱۹. ظرفیت خازنی  $22\mu\text{F}$  است. اگر بار الکتریکی آن ۲۰ درصد افزایش یابد، انرژی آن ۱۶ میکروژول افزایش می‌یابد. بار اولیه آن چند میکروکولن است؟  
 (اصحیح: ۱۱)

- (۱) ۲۰ (۲) ۴۰ (۳)  $2 \times 10^{-2}$  (۴)  $4 \times 10^{-2}$



۳۲۰. در شکل زیر، درحالتی که کلید بسته است انرژی خازن برابر U می‌باشد. در این حالت،  $2d$  به فاصله دو صفحه خازن اضافه می‌کنیم. سپس کلید K را باز می‌کنیم و دی‌الکتریک  $\kappa = 2$  را جایگزین هوای بین دو صفحه خازن می‌کنیم. انرژی خازن چند برابر U می‌شود؟

- (۱)  $\frac{1}{2}$  (۲) ۲ (۳) ۶ (۴)  $\frac{1}{6}$

۳۲۱. خازنی به ولتاژ ثابت V وصل است. اگر آن را از منبع جدا و فاصله دو صفحه آن را سه برابر کنیم، انرژی خازن چند برابر می‌شود؟ دلیل این تغییر انرژی چیست؟

- (۱)  $\frac{1}{3}$ ، انرژی متبع (باتری)  
 (۲) ۳، انرژی متبع (باتری)  
 (۳)  $\frac{1}{3}$ ، کار ما  
 (۴) ۳، کار ما



۳۲۲. یک خازن خالی را به یک باتری می‌بندیم و باتری  $24\mu\text{J}$  کار انجام می‌دهد و  $12\mu\text{C}$  بار در خازن ذخیره می‌شود. ظرفیت خازن چند میکروفاراد است؟

- ۲ (۱)
- ۳ (۲)
- ۶ (۳)
- ۱۲ (۴)

۳۲۳. در یک خازن تخت با میدان الکتریکی یکنواخت  $1000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ، الکترونی از حال سکون و از مجاور صفحه منفی شتاب می‌گیرد و با سرعت

$10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  به صفحه مقابل می‌رسد. فاصله دو صفحه از هم کدام است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ،  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{g}$ )

- ۲/۸۴mm (۴)
- ۲۸/۴cm (۳)
- ۲/۸۴cm (۲)
- ۲/۸۴m (۱)

### به هم بستن دو خازن به یکدیگر

۳۲۴. خازنی به ظرفیت  $C_1 = 3\mu\text{F}$  را با ولتاژ  $12\text{V}$  پر می‌کنیم. سپس آن را از مولد جدا کرده و دو صفحه آن را به دو سر خازن خالی  $C_2 = 6\mu\text{F}$  می‌بندیم. اختلاف پتانسیل خازن  $C_1$  چند ولت می‌شود؟

- ۲۰ (۱)
- ۴۰ (۲)
- ۸۰ (۳)
- ۱۲۰ (۴)

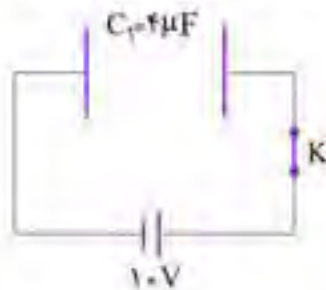
۳۲۵. یکی از دو خازن مشابه را با ولتاژ  $200$  ولت و دیگری را با ولتاژ  $400$  ولت پر کرده و از مولد جدا صفحه‌های ناهمنام آن‌ها را به هم وصل می‌کنیم. اگر ظرفیت هر یک  $5\mu\text{F}$  باشد، اختلاف پتانسیل مشترک آن‌ها ..... ولت و بار ذخیره شده در هر یک ..... میکروکولن خواهد بود.

- (۱) صفر و صفر
- (۲)  $3000$  و  $6000$
- (۳)  $1000$  و  $5000$
- (۴)  $3000$  و  $15000$

۳۲۶. خازنی به ظرفیت  $C_1 = 8\mu\text{F}$  را با باتری  $50$  ولتی پر می‌کنیم و پس از پر شدن، باتری را جدا می‌کنیم و صفحات آن را به صفحات یک خازن خالی به ظرفیت  $C_2$  وصل می‌کنیم. اگر اختلاف پتانسیل دو سر خازن  $C_1$   $10$  ولت کاهش یابد،  $C_2$  چند میکروفاراد است؟

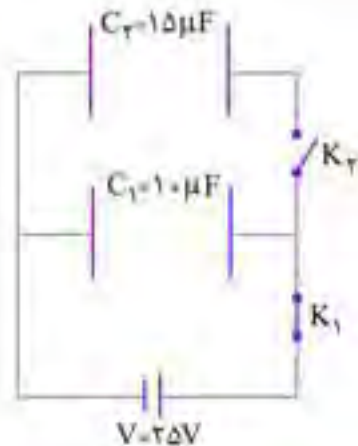
- ۳۲ (۱)
- ۱۰ (۲)
- ۸ (۳)
- ۲ (۴)

۳۲۷. در شکل زیر، خازن پر شده است، این خازن را از مولد جدا می‌کنیم، صفحه‌های آن را به صفحه‌های خازن  $C_2 = 2$  میکروفاراد که بار الکتریکی  $32\mu\text{C}$  دارد می‌بندیم. ولتاژ هر خازن پس از به هم بستن چند ولت می‌شود؟



- ۱۲ (۱)
- ۳ (۲)
- ۴/۳ (۳)
- ۳ (۴)

(۴) بسته به شرایط گزینه‌های «۱» و «۳» می‌تواند درست باشد.



۳۲۸. در شکل مقابل، خازن  $C_2$  خالی است. اگر ابتدا کلید  $K_1$  را باز کنیم سپس کلید  $K_2$  را ببندیم، چند میکروکولن بار الکتریکی بین دو خازن مبادله می‌شود؟

- ۲۵۰ (۱)
- ۱۵۰ (۲)
- ۱۰۰ (۳)
- صفر (۴)

### فروریزش الکتریکی

هنگامی که خازن تخت به اختلاف پتانسیل الکتریکی  $V$  بسته می‌شود، میدان الکتریکی یکنواخت  $E$  در بین صفحه‌های آن پدید می‌آید و رابطه  $E = \frac{V}{d}$  برقرار است. همچنین ملاحظه کردیم که میدان الکتریکی سبب دو قطبی شدن مولکول‌های دی‌الکتریک واقع در خازن می‌شود و هر قدر ولتاژ و در نتیجه میدان الکتریکی خازن بیشتر شود قطبش مولکول‌ها شدیدتر می‌شود تا جایی که ولتاژ خازن به حدی برسد که الکترونی‌هایی از مولکول‌های دی‌الکتریک جدا شوند و مولکول‌ها یونیزه شوند. این الکترونی‌های جدا و آزاد شده، دی‌الکتریک را از حالت نارسا به رسانای الکتریکی تبدیل می‌کنند و سبب انتقال بار از صفحه منفی به صفحه مثبت خازن می‌شوند. در نتیجه این عمل، بار خازن خالی می‌شود و به اصطلاح می‌گویند فروریزش الکتریکی در دی‌الکتریک رخ داده است.

اگر  $V_{\text{max}}$  بیشینه ولتاژ قابل تحمل برای خازن تخت (بدون این که فروریزش رخ دهد) و  $E_{\text{max}}$  بیشینه میدان الکتریکی قابل تحمل برای دی‌الکتریک خازن باشد، می‌توان نوشت:

$$E_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{d}$$

- ❖ فروریزش الکتریکی معمولاً سبب سوختن دی الکتریک می شود.
- ❖ فروریزش الکتریکی همراه با جرقه تولید صدا و گرما می کند.
- ❖ با قرار دادن دی الکتریک در خازن بیشینه ولتاژ قابل تحمل خازن افزایش می یابد.
- ❖ خازن ها را معمولاً با دو مشخصه معرفی می کنند: ۱- ظرفیت (C) ۲- بیشینه ولتاژ قابل تحمل خازن ( $V_{max}$ )
- ❖ وقوع آذرخش، جرقه الکتریکی هنگام قطع و وصل مدار الکتریکی، جرقه هایی که بین دست و بدن ما با اجسام دیگر پدید می آید، به دلیل پدیده فروریزش الکتریکی است.
- ❖ در فروریزش الکتریکی، انرژی انباشته شده در خازن به صورت جرقه (نور و گرما) آزاد (تلف) می شود.

۳۲۹. در پدیده فروریزش الکتریکی .....

- (۱) خازن خالی می شود.
- (۲) افزایش اختلاف پتانسیل دو سر صفحه های خازن، باعث تغییر ماهیت یا سوراخ شدن دی الکتریک جامد و سوختن خازن می شود.
- (۳) پس از جرقه زدن، بار الکتریکی خازن افزایش می یابد.
- (۴) گزینه های ۱ و ۲ درست است.

۳۳۰. کدام گزینه درست است؟

- (۱) حضور دی الکتریک در خازن سبب کاهش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن می شود.
- (۲) پدیده فروریزش در خازن به سبب قرار گرفتن دی الکتریک درون آن رخ می دهد.
- (۳) هر خازن ولتاژ بیشینه ای می تواند تحمل کند.
- (۴) هر سه گزینه ۱، ۲ و ۳ درست است.

۳۳۱. کدام یک از عبارات زیر درست هستند؟

- (الف) هر قدر مقدار ماده دی الکتریک بزرگ تر باشد، حداکثر میدان الکتریکی قابل تحمل آن بیشتر است.
- (ب) فروریزش دی الکتریک معمولاً منجر به سوختن آن می شود.
- (پ) خازن ها را معمولاً با دو مشخصه یعنی مقدار ظرفیت آن ها و بیشینه ولتاژ قابل تحمل آن ها مشخص می کنند.
- (ت) خازن ها در دو نوع تخت و استوانه ای ساخته می شوند.

- (۱) الف، ب و پ      (۲) ب و پ      (۳) الف، ب و ت      (۴) ب و ت

۳۳۲. فاصله دو صفحه خازن تخت ۲mm و حداکثر ولتاژ قابل تحمل آن  $5 \times 10^4$  ولت است. بیشترین میدان الکتریکی قابل تحمل برای

دی الکتریک خازن چند  $\frac{V}{m}$  است؟

- (۱)  $2/5 \times 10^4$       (۲)  $2/5 \times 10^7$       (۳)  $4 \times 10^4$       (۴)  $4 \times 10^{-4}$

۳۳۳. در یک خازن تخت با ولتاژ  $10^4 V$ ، پدیده فروریزش رخ می دهد. چگونه می توان حداکثر ولتاژ قابل تحمل برای این خازن را افزایش داد؟

- (۱) فاصله صفحه های آن را کم کنیم.
- (۲) فاصله صفحه های آن را زیاد کنیم.
- (۳) از دی الکتریک با ثابت کمتر استفاده کنیم.
- (۴) مساحت صفحه های خازن را زیاد کنیم.

۳۳۴. یک دی الکتریک، حداکثر میدان الکتریکی که می تواند تحمل کند،  $10^7 \frac{V}{m}$  است. اگر از این دی الکتریک در خازن های تخت زیر استفاده

و داخل خازن را پر کنیم، در کدام یک فروریزش الکتریکی رخ نمی دهد؟

- (الف)  $\begin{cases} V = 10^7 v \\ d = 2mm \end{cases}$       (ب)  $\begin{cases} V = 2 \times 10^7 v \\ d = 3m \end{cases}$       (پ)  $\begin{cases} V = 10^8 v \\ d = 0.5m \end{cases}$

- (۱) الف      (۲) ب      (۳) پ      (۴) الف و ب

۳۲۹.  ۱  ۲  ۳  ۴

بنابر آنچه در کتاب درسی و درس‌نامه مطرح شده است، با افزایش اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن و میدان الکتریکی آن، دی الکتریک شدیداً قطبیده شده و سپس ناگهان بار آزاد ایجاد می‌کند و رسانا می‌شود. این رسانا شدن دی الکتریک سبب تخلیه بار خازن می‌شود و چون همراه با گرماست، دی الکتریک جامد می‌سوزد.

۳۳۰.  ۱  ۲  ۳  ۴

دی الکتریک سبب افزایش ظرفیت خازن و افزایش بار و در نتیجه افزایش ولتاژ بیشینه آن می‌شود.

۳۳۱.  ۱  ۲  ۳  ۴

بیشترین میدان الکتریکی که دی الکتریک می‌تواند تحمل کند تا در آن فروریزش الکتریکی رخ ندهد، به جنس دی الکتریک بستگی دارد و خازن‌ها در انواع ورقه‌ای، میکا، سرامیکی، الکترولیتی و متغیر و آب خازن ساخته می‌شوند.

۳۳۲.  ۱  ۲  ۳  ۴

بنابر آنچه در درس‌نامه ذکر شده می‌توان نوشت:

$$E_{(max)} = \frac{V_{(max)}}{d} \Rightarrow E_{(max)} = \frac{5 \times 10^4}{2 \times 10^{-3}} = 2.5 \times 10^7 \frac{V}{m}$$

۳۳۳.  ۱  ۲  ۳  ۴

با توجه به درس‌نامه، می‌دانیم فروریزش الکتریکی مربوط به دی الکتریک خازن است. هر قدر تحمل دی الکتریک برای ولتاژ فروریزش بیشتر باشد، می‌توان حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن را افزایش داد. اما بنابر رابطه  $E_{(max)} = \frac{V_{(max)}}{d}$  چون بیشترین میدان الکتریکی قابل تحمل برای خازن مربوط به جنس دی الکتریک است،  $E_{max}$  مقدار ثابتی است و اگر فاصله دو صفحه را افزایش دهیم می‌توان با ولتاژ ( $V_{max}$ ) بیشتری همان نسبت  $\frac{V}{d}$  برای حالت اول را ایجاد کرد.

$$E_{(max)} = \frac{V_{(max)}}{d} \xrightarrow{E_{(max)} \text{ ثابت است}} \frac{V_{max}}{d_1} = \frac{V_{rmax}}{d_r} \xrightarrow{V_{rmax} > V_{max}} d_r > d_1$$

۳۳۴.  ۱  ۲  ۳  ۴

با توجه به درس‌نامه می‌توان نوشت:

$$E_{max} = \frac{V_{max}}{d} \Rightarrow V_{max} = E_{max} d$$

$$V_{max} = 10^4 \times 2 \times 10^{-3} = 2 \times 10^4 (V)$$

$$V_{max} = 10^4 \times 3 = 3 \times 10^4 (V)$$

$$V_{max} = 10^4 \times 0.5 = 5 \times 10^6 (V)$$

ملاحظه می‌شود که در خازن پ و الف، ولتاژ اعمال شده بیشتر از بیشینه ولتاژ قابل تحمل آن‌ها است و در این خازن‌ها فروریزش الکتریکی رخ می‌دهد و در خازن (ب) که بیشینه ولتاژ قابل تحمل آن بیشتر از ولتاژ اعمال شده به آن است، فروریزش رخ نمی‌دهد.

می‌دانیم که انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه  $U = \frac{1}{2}qV$  به دست می‌آید و در این رابطه بار  $q$  با اختلاف پتانسیل  $V$  (مربوط به باتری) از باتری عبور کرده است یعنی باتری انرژی  $U = qV$  را صرف کرده اما مقدار انرژی ذخیره شده در خازن  $U = \frac{1}{2}qV$  است. بنابراین نصف انرژی که باتری مصرف می‌کند در خازن ذخیره می‌شود و می‌توان نوشت:

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}U_{\text{مولد}} = \frac{1}{2} \times 24 = 12 \mu\text{J}$$

$$12 = \frac{1}{2} \times \frac{(12)^2}{C} \Rightarrow C = 6 \mu\text{F}$$

پس اگر از رابطه  $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$  استفاده کنیم داریم:

بر اساس قضیه کار و انرژی جنبشی، الکترون هنگام رسیدن به صفحه مقابل انرژی جنبشی دارد که به دلیل کار، میدان الکتریکی ایجاد شده است یعنی:

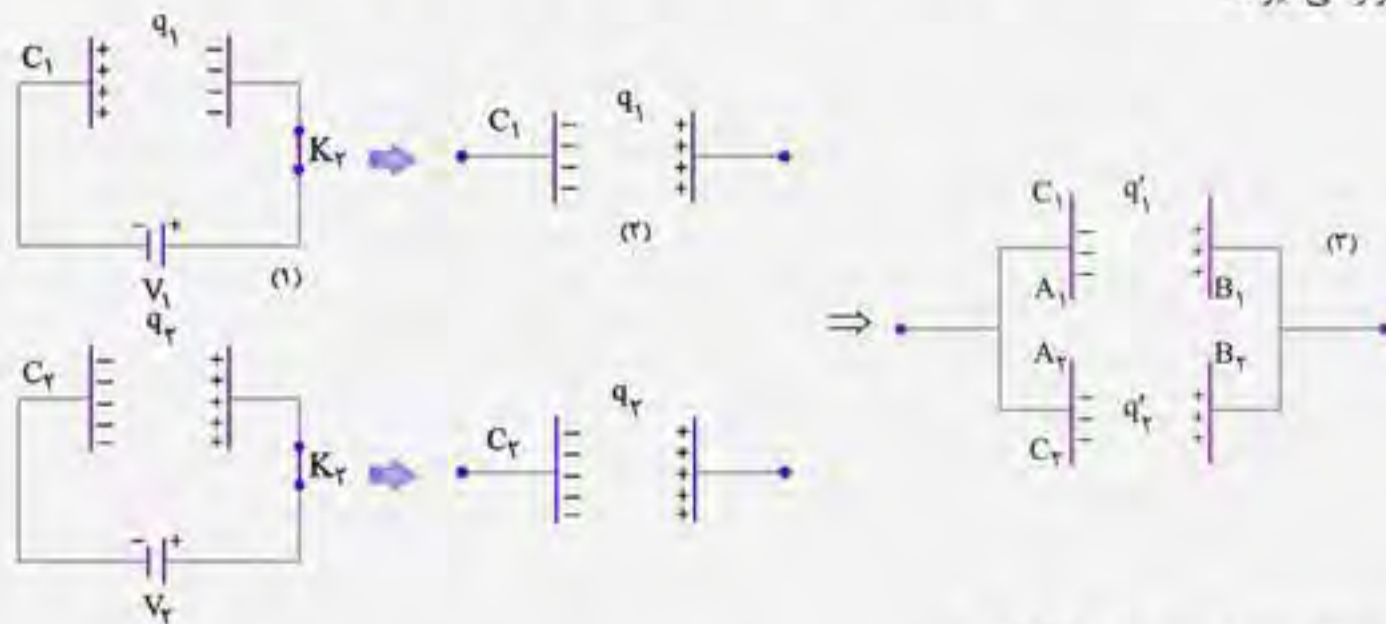
$$W_E = \Delta K \quad \frac{k_1 = 0}{W_E = qEd \cos \theta} \rightarrow qEd \cos \theta = \frac{1}{2}mv^2$$

چون جهت نیرو و جابه‌جایی الکترون یکسان است  $\cos \theta = 1$  است و با جای‌گذاری کمیت‌های مورد نظر در رابطه فوق می‌توان نوشت:

$$1/6 \times 10^{-19} \times 1000 \times d = \frac{1}{2} \times 9/1 \times 10^{-31} \times 10^{-2} \times (10^7)^2 \Rightarrow d = 2/84 \times 10^{-1} \text{m} \Rightarrow d \approx 28/4 \text{cm}$$

راهبرد ۱۹

اگر دو خازن با ظرفیت‌های  $C_1$  و  $C_2$  را به باتری‌هایی با اختلاف پتانسیل‌های  $V_1$  و  $V_2$  ببندیم تا بار  $q_1$  و  $q_2$  در آن‌ها ذخیره شوند، سپس خازن‌ها را از مولدها جدا کنیم و صفحه‌های آن‌ها را به هم ببندیم (وصل کنیم)، بین صفحه‌های خازن‌ها بار منتقل می‌شود و این انتقال بار تا لحظه‌ای ادامه می‌یابد که اختلاف پتانسیل دو خازن با یکدیگر برابر شود. در این حالت بارهای الکتریکی ساکن و در حالت تعادل الکتروستاتیک قرار می‌گیرند.<sup>۲</sup>



خازن‌ها از باتری جدا شده‌اند.

خازن‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند و با یکدیگر آنقدر بار مبادله کرده‌اند تا ولتاژ آن‌ها یکسان و برابر  $(V')$  شود.

**پرسش:** چرا پس از به هم بستن خازن‌ها ولتاژ آن‌ها با یکدیگر برابر می‌شود؟

**پاسخ:** پس از این‌که خازن‌ها بار مبادله کردند و بارهای صفحه‌های آن‌ها در حالت تعادل الکتروستاتیک قرار گرفتند و ساکن شدند می‌توان دریافت که پتانسیل الکتریکی صفحه  $B_1$  با پتانسیل الکتریکی صفحه  $B_2$  برابر می‌شود ( $V_{B_1} = V_{B_2}$ ) و همچنین پتانسیل الکتریکی صفحه  $A_1$  برابر پتانسیل الکتریکی صفحه  $A_2$  می‌شود. ( $V_{A_1} = V_{A_2}$ ). پس می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{matrix} V_{A_1}' = V_{A_2}' \\ V_{B_1}' = V_{B_2}' \end{matrix} \right\} \Rightarrow V_{B_1}' - V_{A_1}' = V_{B_2}' - V_{A_2}' \Rightarrow V_1' = V_2'$$

از این پس ولتاژ هر خازن (پس از اتصال به یکدیگر) را با  $V'$  نشان می‌دهیم.

**پرسش:** چگونه می‌توان  $V'$  را به دست آورد؟

**پاسخ:** از قانون پایستگی بار الکتریکی استفاده می‌کنیم. چون فقط دو خازن با یکدیگر بار مبادله کرده‌اند می‌توان گفت که مجموع بار الکتریکی خازن‌ها، پیش از به هم بستن آن‌ها ( $q_1 + q_2$ ) برابر مجموع بار الکتریکی خازن‌ها پس از به هم بستن آن‌ها ( $q_1' + q_2'$ ) است.

<sup>۲</sup> این مبحث مستقیم در کتاب درسی مطرح نشده است اما از مجموعه مطالبی که در کتاب آمده است می‌توان موارد آن را نتیجه گرفت. از این رو می‌تواند در بررسی‌ها و آزمون‌ها مطرح شود.



$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \xrightarrow{q=CV} C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V'_1 + C_2 V'_2$$

یعنی:

پس از به هم بستن  
قبل از به هم بستن

$$C_1 V_1 + C_2 V_2 = V'(C_1 + C_2)$$

چون  $V'_1 = V'_2 = V'$  است می توان نوشت:

$$\Rightarrow V' = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \quad \text{یا} \quad V' = \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2}$$

**نکته:** اگر صفحه‌های ناهمنام خازن‌ها به یکدیگر بسته شوند، رابطه ولتاژ خازن‌ها پس از اتصال آن‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$V' = \frac{|C_1 V_1 - C_2 V_2|}{C_1 + C_2} = \frac{|q_1 - q_2|}{C_1 + C_2}$$

اکنون می‌توانید دریابید که با معلوم بودن  $V'$  و  $C_1$  و  $C_2$ ، می‌توان از رابطه‌های  $q'_1 = C_1 V'$  و  $q'_2 = C_2 V'$  بار هر خازن پس از اتصال و همچنین از رابطه‌های  $U'_1 = \frac{1}{2} C_1 V'^2$  و  $U'_2 = \frac{1}{2} C_2 V'^2$  انرژی هر خازن پس از اتصال به یکدیگر را به دست آورد.

در این تست قبل از به هم بستن خازن‌ها به یکدیگر، خازن  $C_2$  خالی و بدون بار بوده است یعنی  $q_2 = 0$  است. از رابطه ولتاژ خازن‌ها پس از به هم بستن آن‌ها داریم:

$$V' = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \Rightarrow V' = \frac{3 \times 120 + 6 \times 0}{3 + 6} = 40 \text{ V} \Rightarrow V'_2 = V'_1 = V' \Rightarrow V'_1 = 40 \text{ V}$$

۳۲۵

از رابطه  $V' = \frac{|C_1 V_1 \pm C_2 V_2|}{C_1 + C_2}$  استفاده می‌کنیم. چون صفحه‌های ناهمنام خازن‌ها به یکدیگر بسته شده‌اند در صورت کسر فوق علامت

$$C_1 = C_2 = C \Rightarrow V' = \frac{|200 \times C - 400 \times C|}{C + C} \Rightarrow V' = \frac{200 \times C}{2C} \Rightarrow V' = 100 \text{ V}$$

منفی را در نظر می‌گیریم و داریم:

و با توجه به این که  $C_1 = C_2 = C = 5 \mu\text{F}$  است بار هر خازن پس از به هم بستن آن‌ها برابر است با:

$$C_1 = C_2 \Rightarrow q_1 = q'_1 = C V' \Rightarrow q'_1 = q'_2 = 5 \times 100 = 500 \mu\text{C}$$

۳۲۶

ولتاژ خازن  $C_1$  از مقدار  $V_1 = 50 \text{ V}$  به  $V'_1 = 50 - 10 = 40 \text{ V}$  می‌رسد و می‌دانیم که ولتاژ دو خازن پس از به هم بستن برابر می‌شود و در

این سؤال برابر با  $V' = 40 \text{ V}$  می‌شود، پس می‌توان نوشت:

$$V' = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \xrightarrow{V'_1 = 40} 40 = \frac{8 \times 50 + C_2 \times 0}{8 + C_2} \Rightarrow C_2 = 2 \mu\text{F}$$

۳۲۷

از راهبرد ۱۹، می‌دانیم که اگر صفحه‌های همنام دو خازن باردار را به هم ببندیم ولتاژ هر خازن پس از اتصال به یکدیگر از رابطه

$$V' = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \quad \text{و در صورتی که صفحه‌های ناهمنام آن‌ها را به هم ببندیم از رابطه} \quad V' = \frac{|C_1 V_1 - C_2 V_2|}{C_1 + C_2} \quad \text{به دست می‌آید. چون در}$$

صورت سؤال چگونگی به هم بستن خازن‌ها ذکر نشده است باید دو حالت را در نظر بگیریم پس داریم:

$$V' = \frac{|C_1 V_1 \pm C_2 V_2|}{C_1 + C_2} \quad C_1 V_1 = q_1 = 22 \mu\text{C} \rightarrow V' = \frac{|4 \times 10 \pm 22|}{4 + 2} \Rightarrow \begin{cases} V' = 12 \text{ V} \\ V' = \frac{4}{3} \text{ V} \end{cases}$$

۳۲۸

در حالتی که  $K_1$  بسته است فقط  $C_1$  به مولد وصل است و ولتاژ آن ۲۵ ولت است، پس از باز کردن  $K_1$  و بستن  $K_2$  دو خازن به هم بسته شده‌اند. از این رو بنابر راهبرد ۲۰، می‌توانیم ولتاژ هر خازن را پس از به هم بستن آن‌ها و سپس بار هر خازن و در نهایت بار مبادله شده بین

$$V' = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \quad V_2 = 0 \rightarrow V' = \frac{10 \times 25 + 0}{10 + 15} = 10 \text{ V}$$

آن‌ها را به دست آوریم:

$$q'_1 = C_1 V' = 10 \times 10 = 100 \mu\text{C}$$

اکنون بار هر خازن را پس از به هم بستن آن‌ها مشخص می‌کنیم:

$$q'_2 = C_2 V' = 15 \times 10 = 150 \mu\text{C}$$

چون  $C_2$  در ابتدا خالی بوده است ( $q_2 = 0$ ) می‌توانیم بار الکتریکی که خازن  $C_2$  دریافت کرده را به این صورت به دست آوریم:

$$\Delta q_2 = q'_2 - q_2 = 150 - 0 = 150 \mu\text{C}$$

که برابر همان مقدار بار مبادله شده بین دو خازن است.

از رابطه ظرفیت خازن یعنی  $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$  استفاده می‌کنیم تا مساحت هر صفحه (A) را به دست آوریم؛

$$1 = 1.0 \times 10^{-11} \times \frac{A}{1.0 \times 10^{-2}} \Rightarrow A = 1.0^8 \text{ m}^2 \xrightarrow{A=l^2} l^2 = 1.0^4 \Rightarrow l = 1.0^2 \text{ m}$$

این عدد نشان می‌دهد یک فاراد ظرفیت بسیار بزرگی است.

اگر هر ضلع صفحه خازن را دو برابر کنیم، مساحت آن چهار برابر می‌شود:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 1 \times \frac{4A_1}{A_1} \times \frac{d_1}{4d_1} = 1$$

می‌دانیم که ظرفیت خازن به اختلاف پتانسیل دو سر آن بستگی ندارد. اما بار الکتریکی خازن متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر آن است.

زیاد می‌شود  $q \nearrow \Rightarrow V \nearrow$  ثابت  $q = CV$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{C_2=C_1, V_2=2V_1} \frac{q_2}{q_1} = 1 \times \frac{2V_1}{V_1} \Rightarrow \frac{q_2}{q_1} = 2 \Rightarrow q_2 = 2q_1$$

راهنما ۱۷

همانگونه که در میحث اثر دی‌الکتریک بر خازن بیان کردیم، اگر خازن به یک باتری متصل باشد، چون اختلاف پتانسیل دو سر باتری را ثابت در نظر می‌گیریم با تغییر ظرفیت خازن، اختلاف پتانسیل دو سر خازن برابر اختلاف پتانسیل دو سر باتری و ثابت خواهد بود. در این حالت می‌توان نوشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} q = CV_{\text{ثابت}} \Rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} \\ U = \frac{1}{2} CV^2 (\text{ثابت}) \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} \\ E = \frac{V}{d} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1}{d_2} \end{array} \right.$$

یعنی اگر ظرفیت خازن (وصل به مولد) تغییر کند بار و انرژی خازن متناسب با ظرفیت خازن و میدان الکتریکی آن متناسب با عکس فاصله دو صفحه خازن تغییر می‌کند.

در این سؤال نیز (ثابت =  $V_{\text{خازن}}$ ) است و با استفاده از رابطه  $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$  ابتدا می‌توان تغییرات ظرفیت خازن را مشخص کرد سپس با توجه

به رابطه  $q = CV$  چگونگی بار الکتریکی را مشخص کنیم:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{\kappa_2=\kappa_1, A_2=A_1} \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{d_2 > d_1} C_2 < C_1$$

پس ظرفیت کم می‌شود و بار خازن نیز کاهش می‌یابد.

$$q = CV_{\text{ثابت}} \xrightarrow{\text{ظرفیت کم شده است}} \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} < 1 \Rightarrow q_2 < q_1$$

ابتدا بار خازن را با استفاده از رابطه  $q = CV$  به دست می‌آوریم. سپس چون خازن به ولتاژ  $200$  ولت وصل است، ولتاژ خازن ثابت می‌ماند و با

تغییر ظرفیت خازن بار آن نیز تغییر می‌کند پس می‌توان نوشت:

$$q = 4 \times 10^{-2} (\mu\text{F}) \times 200 (V) = 8 (\mu\text{C})$$

و چون ثابت دی‌الکتریک خازن از  $\kappa_1 = 2$  به  $\kappa_2 = 1$  تغییر کرده است می‌توان نوشت:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow C_2 = 4 \times 10^{-2} (\mu\text{F}) \times \frac{1}{2} = 2 \times 10^{-2} \mu\text{F}$$

و بار خازن برابر می‌شود با:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{V_2=V_1} \frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{2} \rightarrow q_2 = 8 (\mu\text{C}) \times \frac{1}{2} = 4 \mu\text{C}$$

می‌دانید که اگر خازنی به باتری وصل باشد، ولتاژ باتری و در نتیجه ولتاژ خازن را ثابت در نظر می‌گیریم و بنابر رابطه  $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$  اگر شیشه

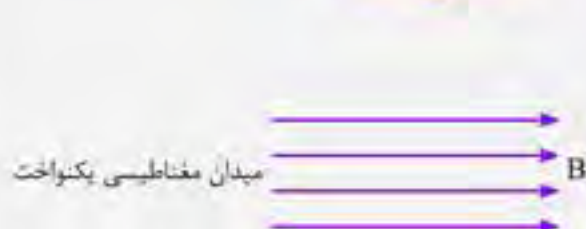
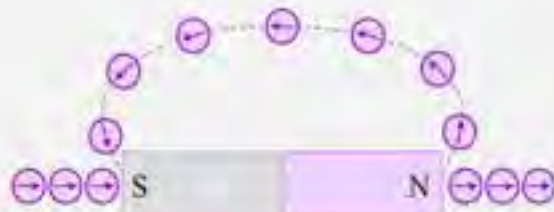
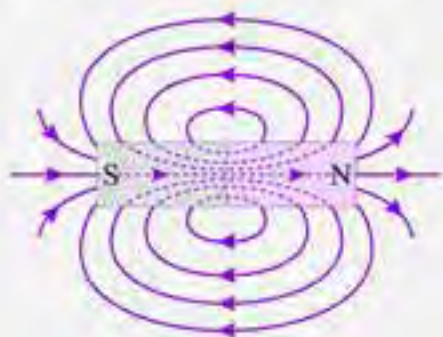
را به خازن وارد کنیم ثابت دی‌الکتریک ( $\kappa$ ) زیاد می‌شود پس ظرفیت خازن هم افزایش می‌یابد. اما از رابطه  $q = CV$  می‌توانیم بنویسیم:

$q$  بار خازن زیاد شده است.  $\rightarrow$  ظرفیت زیاد شده است.  $(\text{ثابت}) q = CV$



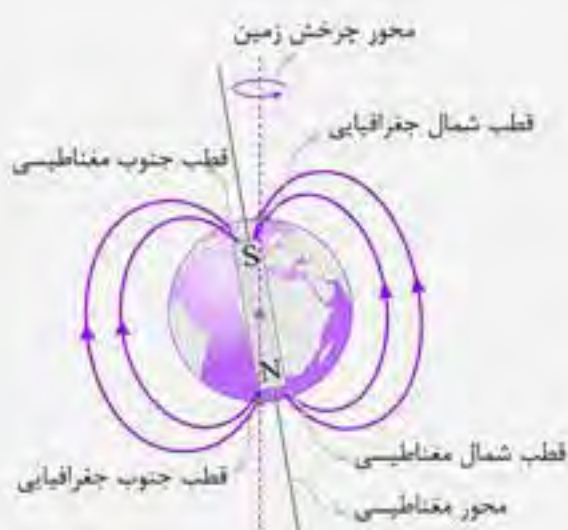
## آشنایی با خواص مغناطیسی و میدان مغناطیسی

- ۱ اولین بار خاصیت مغناطیسی به صورت طبیعی در ماده کانی مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) دیده شد.
- ۲ هر آهنربا دو قطب دارد. در محل قطب‌های آهنربا خاصیت مغناطیسی از سایر نقاط شدیدتر است.
- ۳ اگر یک آهنربا را از مرکز ثقل خود (گرانیگاه)، از نقطه‌ای بیابویزیم، قطبی از آن که به سمت شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد را N و قطبی که به سمت جنوب جغرافیایی قرار می‌گیرد را S می‌نامیم. قطب‌های هم‌نام همدیگر را دفع و قطب‌های ناهم‌نام همدیگر را جذب می‌کنند.
- ۴ جهت خطوط میدان مغناطیسی در هر آهنربا در فضای بیرون آن از قطب N به سمت قطب S و در درون آهنربا از قطب S به قطب N است. عقربه مغناطیسی (قطب‌نما) که یک آهنربای کوچک است، مماس بر این خطوط و در جهت خطوط می‌ایستد.



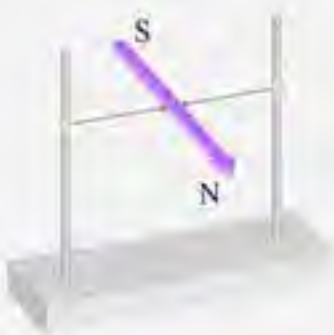
- ۵ خطوط میدان مغناطیسی برای تجسم میدان مغناطیسی رسم می‌شود. خطوط میدان مغناطیسی حتماً بسته‌اند و هیچ‌گاه همدیگر را قطع نمی‌کنند. این خطوط هر جا متراکم‌تر باشند، خاصیت مغناطیسی در آن نقطه شدیدتر است. اگر خطوط میدان با هم موازی بوده و از یکدیگر فاصله یکسانی داشته باشند، میدان یکنواخت و شدت میدان در تمام نقاط آن یکسان است.

### میدان مغناطیسی زمین



- ۱ زمین مثل یک آهنربای بزرگ است که قطب‌های مغناطیسی آن کاملاً بر قطب‌های جغرافیایی منطبق نمی‌باشد. اکنون فاصله بین قطب‌های جغرافیایی و مغناطیسی حدود ۱۸۰۰ کیلومتر است. انحراف عقربه قطب‌نما با امتداد شمال - جنوب جغرافیایی را زاویه میل مغناطیسی می‌نامند.
- ۲ همان‌طور که دیده می‌شود قطب شمال مغناطیسی مجاور قطب جنوب جغرافیایی و قطب جنوب مغناطیسی مجاور قطب شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد.
- ۳ عقربه قطب‌نما در محدوده استوا بطور افقی قرار می‌گیرد. اما در سایر نقاط، امتداد آن با افق زاویه‌ای می‌سازد که به این زاویه شیب مغناطیسی گفته می‌شود.

### خاصیت القای مغناطیسی



هرگاه قطعه‌ای از آهن را به یک آهنربا نزدیک کنیم، در اثر میدان مغناطیسی آهنربا، قطعه آهن هم خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند. چنین پدیده‌ای را خاصیت القای مغناطیسی می‌نامیم. سری از قطعه آهنی که مجاور قطبی از آهنرباست، با آن ناهم‌نام شده و در اثر خاصیت القای مغناطیسی همدیگر را جذب می‌کنند.

◀ برای مشاهده انیمیشن با آزمایش، رمزینه روبه‌رو را اسکن نمایید.



از آنچه که در درس نامه، درباره میدان الکتریکی ذکر شد، می دانیم میدان الکتریکی خازن تخت از رابطه  $E = \frac{V}{d}$  به دست می آید. در این سؤال چون خازن به مولد بسته شده است، از راهبرد ۱۶ می دانیم ولتاژ آن یعنی  $V$  ثابت است و با افزایش فاصله صفحه های خازن، میدان الکتریکی خازن کم می شود، یعنی:

$$E = \frac{V}{d} \rightarrow \text{کم می شود} \rightarrow \text{زیاد شده}$$

اما درباره بار خازن باید از رابطه  $q = CV$  و ظرفیت خازن استفاده کنیم:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \text{کاهش می یابد.}$$

$$q = CV \rightarrow \text{کم می شود.} \rightarrow \text{کاهش یافته}$$

چون خازن به مولد وصل است ولتاژ خازن ثابت است. اما می دانیم میدان الکتریکی خازن تخت از رابطه  $E = \frac{V}{d}$  مشخص می شود و در این سؤال علاوه بر  $V$  (که ثابت است) فاصله دو صفحه خازن ( $d$ ) نیز ثابت مانده پس میدان الکتریکی خازن نیز تغییر نمی کند.

$$E = \frac{V}{d} \rightarrow \text{ثابت می ماند.}$$

در این حالت ولتاژ خازن ثابت است و ابتدا تغییر ظرفیت خازن را مشخص می کنیم ( $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ )، سپس از رابطه های (ثابت)

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = 2$$

و  $q = CV$ ، تغییرات انرژی و بار خازن را به دست می آوریم.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} = 2 \text{ و } q = CV \rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} = 2$$

می توان از رابطه شدت میدان الکتریکی برای خازن استفاده کرد و نوشت:

$$|\Delta V| = Ed \Rightarrow E = \frac{200}{4 \times 10^{-2}} = 5000 \frac{N}{C}$$

### راهبرد ۱۸

اگر خازن به یک مولد وصل و شارژ شود و سپس آن را از مولد جدا کنیم و منزوی بماند، چون خازن به جسم دیگری وصل نیست و نمی تواند بار مبادله کند، بار خازن در صفحه ها نیز تغییر نمی کند، «یعنی اگر ظرفیت خازن را تغییر دهیم، بار خازن ثابت می ماند». این تغییر ظرفیت سبب می شود ولتاژ خازن، انرژی و میدان الکتریکی خازن تغییر کند؛ و برای تعیین چگونگی تغییر هر یک از این کمیت ها می توان نوشت:

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} q = CV \rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} \\ U = \frac{q^2}{2C} \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} \times \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} \\ E = \frac{V}{d} \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{d_1}{d_2} \end{array} \right.$$

یعنی «در خازن منزوی، ولتاژ و انرژی خازن متناسب با وارون (عکس) ظرفیت خازن هستند.»

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \rightarrow \text{کم می شود.}$$

در این سؤال نیز می توان نوشت:

$$q = CV \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} > 1 \rightarrow \text{زیاد می شود.}$$

و برای تعیین چگونگی تغییر ولتاژ خازن داریم:

خازن منزوی است و بار هر صفحه آن ثابت می ماند. بنابراین ابتدا تغییر ظرفیت خازن سپس تغییر ولتاژ و انرژی خازن را مشخص می کنیم:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2} \rightarrow \text{ظرفیت کم می شود}$$

$$q = CV \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} \rightarrow \text{ولتاژ افزایش می یابد}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} \rightarrow \text{انرژی افزایش می یابد.}$$



برای محاسبه تغییرات انرژی می توان از رابطه  $U = \frac{1}{2}qV$  نیز استفاده کرد:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{q_2}{q_1} \times \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{q \text{ ثابت است}} \frac{U_2}{U_1} = \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{V_2 > V_1} U_2 > U_1 \Rightarrow \text{انرژی افزایش می یابد.} \quad \boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۱}$$

خازن از مولد جداست و بار آن ثابت مانده است و با ورود دی الکتریک به آن ولتاژ خازن کاهش یافته است. پس از رابطه  $q = CV$  می توان دریافت ظرفیت خازن زیاد شده است.

$$q = CV \xrightarrow{q \text{ ثابت است}} C \xrightarrow{V \text{ کاهش یافته است}} \text{افزایش می یابد.} \quad \boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۲}$$

برداشتن دی الکتریک خازن سبب کاهش ظرفیت آن می شود. و چون خازن از باتری جدا و منزوی است تغییر اختلاف پتانسیل و انرژی آن را می توان به صورت زیر مشخص کرد:

$$q = CV \xrightarrow{q \text{ ثابت است}} \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} \xrightarrow{C_2 \text{ کمتر از } C_1 \text{ است}} V \text{ افزایش یافته}$$

$$U = \frac{1}{2}qV \xrightarrow{q \text{ ثابت است}} U \text{ افزایش یافته است.} \xrightarrow{C \text{ افزایش یافته است}}$$

$$C = k\epsilon_r \frac{A}{d} \xrightarrow{k \text{ کاهش یافته است}} C \text{ کاهش می یابد} \quad \boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۳}$$

توجه داریم که بار خازن ثابت (یعنی خازن منزوی) است. اگر فاصله صفحه های خازن را نصف کنیم ظرفیت خازن دو برابر می شود:

$$C = K\epsilon_r \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{d_2 = \frac{1}{2}d_1} C_2 = 2C_1$$

اما در این حالت که  $q$  ثابت است، ولتاژ خازن متناسب با عکس ظرفیت خازن تغییر می کند یعنی:

$$q = CV \xrightarrow{q \text{ ثابت است}} \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}$$

یعنی ولتاژ خازن نصف شده است. می دانیم میدان الکتریکی خازن از رابطه  $E = \frac{V}{d}$  به دست می آید. پس از رابطه  $E = \frac{V}{d}$  می توان استفاده

$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{d_2 = \frac{1}{2}d_1, V_2 = \frac{1}{2}V_1} \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2} \times 2 = 1$$

کرد و نوشت:

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۴}$$

چون خازن از مولد جدا شده با تغییر فاصله دو صفحه و دی الکتریک آن، بار خازن ثابت می ماند و در نتیجه تراکم بار تغییر نمی کند.

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۵}$$

در این سؤال دقت کنید که هر چند خازن به مولد وصل نیست اما همان طور که در راهبرد بیان کردیم به دلیل وصل بودن خازن به یک جسم (اینجا الکتروسکوپ) با تغییر ظرفیت خازن بار خازن ثابت نمی ماند. خازن می تواند با الکتروسکوپ بار مبادله کند. اما چگونه؟ برای پاسخ به این پرسش ابتدا چگونگی تغییر میدان الکتریکی خازن را مشخص می کنیم سپس چگونگی تغییر بار آن را تعیین می کنیم؛ از درس نامه دریافتیم که ورود دی الکتریک (در این جا شیشه) در خازن سبب کاهش میدان الکتریکی خازن و در نتیجه ولتاژ خازن می شود.

$$E = \frac{V}{d} \xrightarrow{E \text{ کم می شود}} V \text{ کاهش می یابد.} \xrightarrow{d \text{ ثابت است}}$$

چون خازن به الکتروسکوپ وصل است و الکتروسکوپ می تواند با خازن بار مبادله کند، کاهش ولتاژ خازن سبب می شود که تعادل الکتروستاتیکی خازن با الکتروسکوپ برای یک لحظه از بین برود و خازن از الکتروسکوپ بار بگیرد تا دوباره با آن به تعادل الکتروستاتیکی برسد. در نتیجه بار الکتروسکوپ کاهش می یابد و فاصله ورقه های آن کم می شود.

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۶}$$

از رابطه  $U = \frac{1}{2}CV^2$  استفاده می کنیم و به یکاهای کمیت ها دقت می کنیم:

$$U = \frac{1}{2}CV^2 \Rightarrow 7/2 \times 10^{-2} (J) = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-6} \times V^2 \Rightarrow V = 6.0V \quad \boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} \quad \text{۳۱۷}$$

### یادآوری:

می توانیم از رابطه  $U = \frac{1}{2}CV^2$  استفاده کنیم. اما پیش از آن یکاهای داده شده را باید مرتب کنیم:

اگر یکای توان (P) وات و یکای زمان (t) ثانیه باشد، یکای انرژی (U) ژول خواهد بود و در تبدیل یکای کیلووات ساعت (kWh) به ژول می توان نوشت:

$$P = \frac{U}{t} \Rightarrow U = P \times t$$

$$kWh \xrightarrow{\frac{kW \times 1000 \rightarrow W}{h \times 3600 \rightarrow s}} kWh \times (1000 \times 3600) = J$$

در این سؤال می‌توان نوشت:

$$U = 10^{-6} (\text{kWh}) \times 3600 \times 1000 = 3/6 \text{ J}$$

با توجه به این که ولتاژ خازن  $V = 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$  است داریم:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \rightarrow 3/6 = \frac{1}{2} \times C \times (10^3)^2 \Rightarrow C = 7/2 \times 10^{-6} (\text{F}) \Rightarrow C = 7/2 \mu\text{F}$$

۳۱۸

چون تغییر انرژی خازن مورد نظر است می‌توان از رابطه‌های  $U = \frac{1}{2} qV$  یا  $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$  یا  $U = \frac{1}{2} CV^2$  استفاده کرد، اما چون تغییر اختلاف پتانسیل خازن داده شده است و با فرض این که ظرفیت خازن ثابت مانده است می‌توان از رابطه  $U = \frac{1}{2} CV^2$  استفاده کرد و در دو حالت تغییر

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$$

انرژی را در نظر گرفت یعنی:

$$\frac{C_2 = C_1 \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{V_2 = 0.8V_1}{V_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{0.8V_1}{V_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = 0.64$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{4}{100} \Rightarrow \frac{U_2 - U_1}{U_1} = \frac{4 - 100}{100} \Rightarrow \frac{\Delta U}{U_1} = -\frac{96}{100} = -0.96$$

اما چون درصد تغییرات انرژی خازن مورد نظر است داریم:

۳۱۹

چون تغییرات بار الکتریکی و همراه با آن نیز تغییرات انرژی خازن داده شده است می‌توان از رابطه  $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$  استفاده کرد و داریم:

$$U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \rightarrow \begin{cases} U_2 = \frac{1}{2} \frac{q_2^2}{C} \\ U_1 = \frac{1}{2} \frac{q_1^2}{C} \end{cases} \Rightarrow U_2 - U_1 = \frac{1}{2C} (q_2^2 - q_1^2)$$

چون بار الکتریکی ۲۰ درصد افزایش یافته  $q_2 = 1/2 q_1$  است یعنی:

$$\frac{q_2 = q_1 + 0.2q_1}{2 \times 22 \mu\text{F}} \rightarrow 16 (\mu\text{J}) = \frac{1}{2 \times 22 \mu\text{F}} ((1/2 q_1)^2 - q_1^2) \Rightarrow 16 = \frac{1}{44} \times 0.44 q_1^2 \Rightarrow q_1 = 4 \mu\text{C}$$

۳۲۰

پاسخ را در دو مرحله بیان می‌کنیم. در مرحله اول کلید بسته است و خازن به باتری متصل و ولتاژ خازن ثابت است و چون فاصله بین دو صفحه  $2d$  افزایش یافته، این فاصله از  $d_1 = d$  به  $d_2 = 2d$  رسیده و ظرفیت خازن  $\frac{1}{3}$  برابر می‌شود:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{\kappa_2 = \kappa_1, A_2 = A_1} \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{d_2 = 2d, d_1 = d} \frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2}$$

و در این حالت برای مقایسه انرژی خازن از رابطه  $U = \frac{1}{2} CV^2$  استفاده می‌کنیم یعنی:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} \times \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \xrightarrow{V_2 = V_1} \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

در حالت دوم کلید باز است، پس بار خازن ثابت می‌ماند و با ورود دی‌الکتریک به درون خازن  $\kappa = 2$  ظرفیت آن ۲ برابر می‌شود:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} = 2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 \times \frac{C_2}{C_1} \xrightarrow{q_2 = q_1} \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{2} \quad (2)$$

و انرژی خازن نیز بنابراین رابطه  $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{(1) \times (2)}{U_2} \rightarrow \frac{U_2}{U_2} \times \frac{U_1}{U_1} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{4}$$

از رابطه‌های (۱) و (۲) می‌توان نتیجه گرفت:

۳۲۱

در این حالت بار خازن ثابت است و می‌توانیم از رابطه  $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$  استفاده کنیم و تغییرات انرژی آن را مشخص کنیم. اما پیش از آن باید

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \xrightarrow{d_2 = 2d_1} \frac{C_2}{C_1} = \frac{d}{2d} = \frac{1}{2}$$

چگونگی تغییر ظرفیت خازن را مشخص کنیم.

$$U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} \times \frac{q_2}{q_1} \xrightarrow{q_2 = q_1} \frac{U_2}{U_1} = 2$$

اکنون می‌توان نوشت:

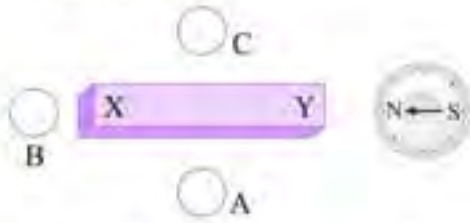
دو صفحه خازن بر یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند و برای زیاد کردن فاصله دو صفحه خازن ما باید کار انجام دهیم، از این رو کار ما به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود.

۱. چهار نقطه A، B، C و D روی یک صفحه قرار دارند و آهنربای تیغه‌ای نیز روی همین صفحه است. جهت میدان مغناطیسی حاصل از آهنربا درست نشان داده شده است؟



- (۱) D
- (۲) C
- (۳) B
- (۴) A

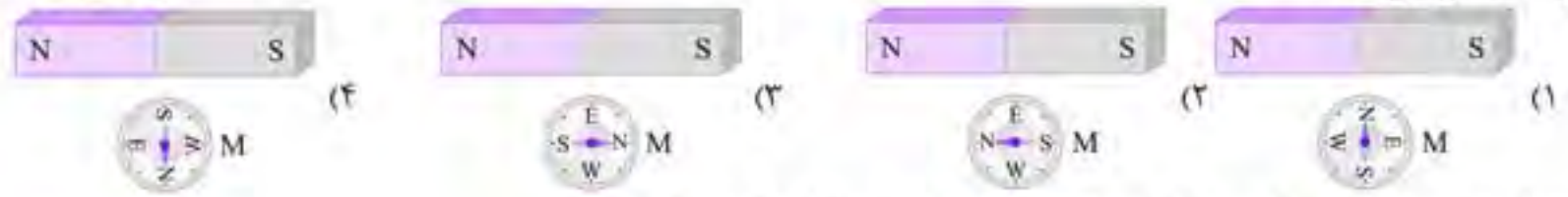
۲. شکل زیر یک آهنربای میله‌ای معمولی را نشان می‌دهد که در اطراف آن ۴ عقربه مغناطیسی قرار دارند. جهت قرار گرفتن عقربه‌های A، B و C به ترتیب کدام است؟



- (۱)  $\rightarrow$  و  $\leftarrow$
- (۲)  $\leftarrow$  و  $\rightarrow$
- (۳)  $\rightarrow$  و  $\rightarrow$
- (۴)  $\leftarrow$  و  $\leftarrow$

۳. در کدام یک از شکل‌های زیر عقربه مغناطیسی جهت میدان مغناطیسی آهنربا را در نقطه M که به یک فاصله از دو قطب آهنرباست درست نشان می‌دهد؟

(برگرفته از متن کتاب درسی)

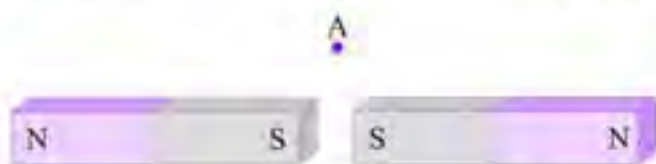


۴. یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل روبه‌رو، روی یک میز قرار دارد. یک عقربه مغناطیسی که آزادانه می‌تواند حول محور قائم بر میز بچرخد به آرامی روی مسیر دایره‌ای شکل به دور آهنربا یک دور می‌چرخد. در این مسیر عقربه چند درجه دوران می‌کند؟

(ریاضی ۹۴)

- (۱) ۱۸۰
- (۲) ۲۷۰
- (۳) ۳۶۰
- (۴) ۷۲۰

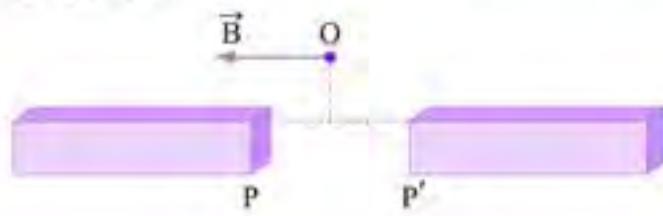
۵. جهت میدان مغناطیسی در نقطه A که فقط حاصل اثر دو آهنربای مشابه می‌باشد، کدام است؟



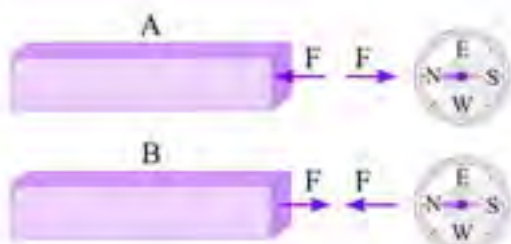
- (۱)  $\downarrow$
- (۲)  $\uparrow$
- (۳)  $\leftarrow$
- (۴)  $\rightarrow$

۶. P و P' دو قطب از دو آهنربای تیغه‌ای هستند. اگر میدان مغناطیسی در نقطه O روی عمود منصف PP' به صورت بردار B باشد، در این صورت P و P' به ترتیب از راست به چپ عبارتند از:

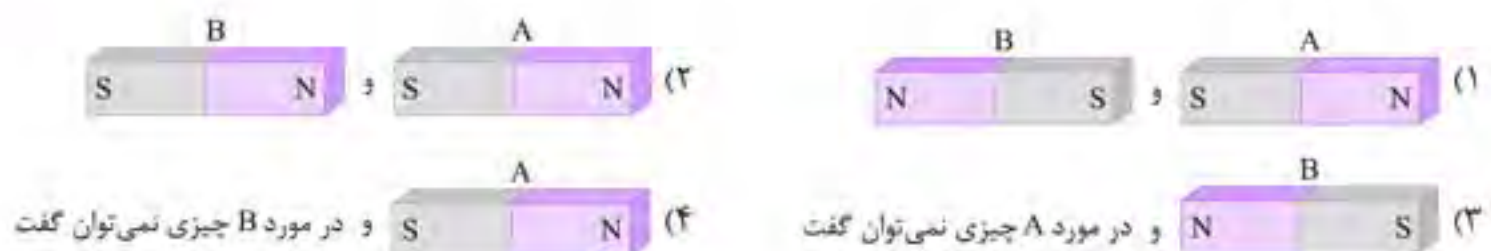
(کتور برحالی)



- (۱) N، N
- (۲) S، N
- (۳) N، S
- (۴) S، S



۷. میله‌های A و B را به قطب N یک عقربه مغناطیسی نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود سری از A که به N نزدیک شده آن را دفع کرده و سری از B که به N نزدیک شده آن را جذب می‌کند. کدام گزینه قطب‌های N و S میله‌های A و B را درست نشان می‌دهد؟



(۱) در مورد A چیزی نمی‌توان گفت و در مورد B چیزی نمی‌توان گفت

۸. یک آهن و یک آهنربا که از نظر ظاهر کاملاً مشابهند، در اختیار داریم. تنها با ملاحظه نیروی این دو بر یکدیگر، کدام گزینه درباره تشخیص آهن از آهنربا و تشخیص قطب‌های آهنربا درست است؟

(برگرفته از مکان کتاب درسی)

- (۱) آهنربا مشخص شده ولی قطب‌ها مشخص نمی‌شود.
- (۲) آهنربا و قطب‌هایش مشخص می‌شود.
- (۳) نه آهنربا و نه قطب‌ها مشخص نمی‌شود.
- (۴) اظهار نظر قطعی میسر نیست.

(برگرفته از مکان کتاب درسی)

۹. «خطوط میدان مغناطیسی خطوط بسته‌ای هستند.» این مطلب با کدام گزینه رابطه نزدیکی دارد؟

- (۱) آهنربای تک قطبی وجود ندارد.
- (۲) نیرو در راستای میدان است.
- (۳) نزدیک آهنربا میدان قوی است.
- (۴) میدان مغناطیسی از همه مواد عبور می‌کند.

(برگرفته از پرسش کتاب درسی)

۱۰. در کدام شکل نحوه قرار گرفتن سوزن‌های آویخته از آهنربا نادرست نشان داده شده است؟



۱۱. کدام گزینه معرف میدان مغناطیسی یکنواخت است؟

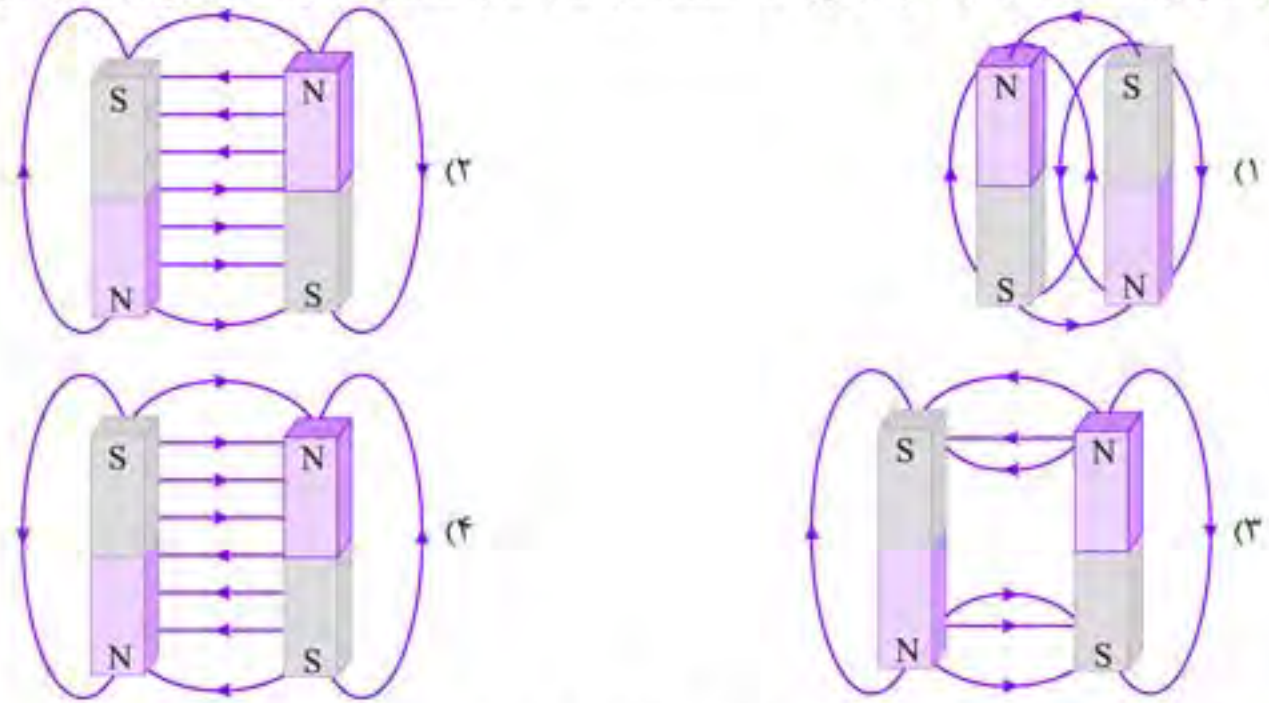


(برگرفته از مکان کتاب درسی)

۱۲. در مورد میدان مغناطیسی زمین کدام گزینه درست است؟

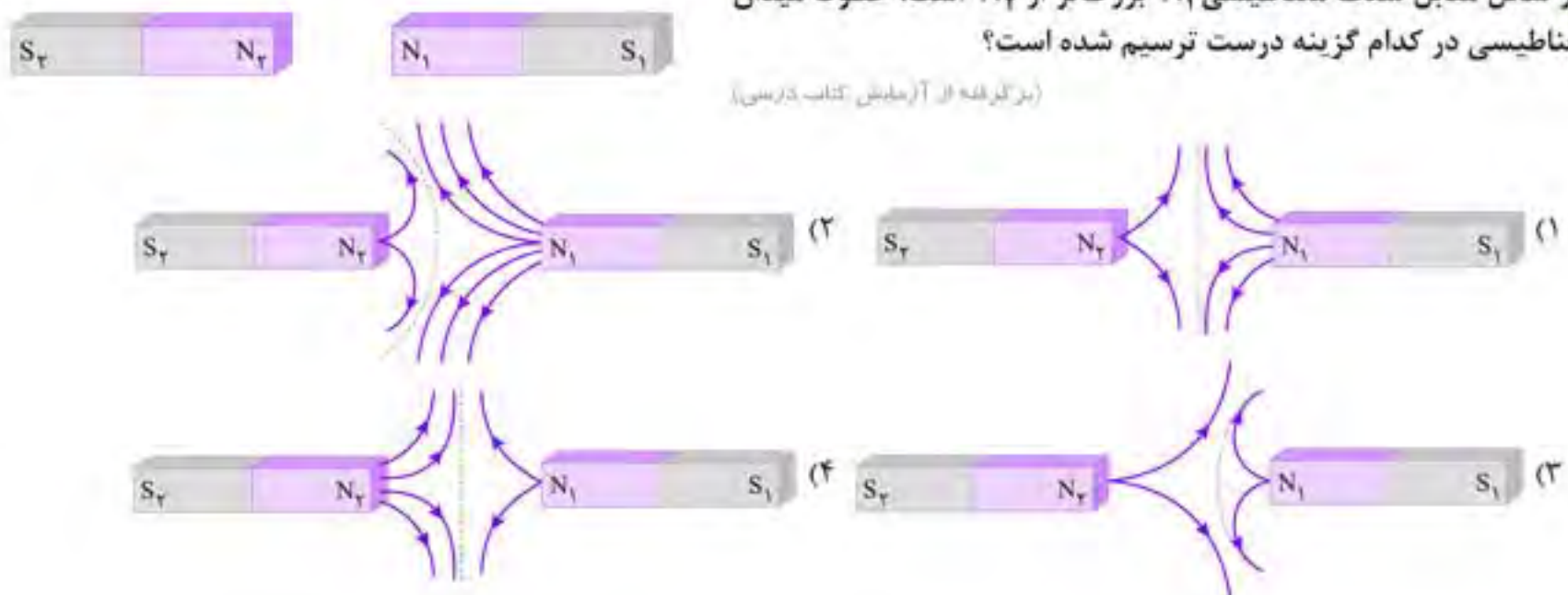
- (۱) قطب N مغناطیسی در شمال جغرافیایی قرار دارد و به همین دلیل به آن قطب N می‌گویند.
- (۲) منظور از میل مغناطیسی، زاویه‌ای است که امتداد عقربه مغناطیسی با سطح افق می‌سازد.
- (۳) شیب مغناطیسی، انحراف امتداد عقربه مغناطیسی با امتداد شمال - جنوب جغرافیایی است.
- (۴) قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی زمین منطبق نمی‌باشند.

۱۳. دو آهنربای میله‌ای مشابه در کنار هم قرار داده شده‌اند. در کدام شکل خط‌های میدان مغناطیسی در فضای اطراف آن‌ها درست رسم شده‌اند؟



۱۴. در شکل مقابل شدت مغناطیسی  $N_1$  بزرگ‌تر از  $N_2$  است. خطوط میدان مغناطیسی در کدام گزینه درست ترسیم شده است؟

(برگرفته از آزمایش کتاب درسی)





۱۵. چنانچه شدت میدان مغناطیسی آهنربای (۱) بزرگتر از آهنربای (۲) باشد، شکل خطوط میدان در کدام گزینه درست رسم شده است؟



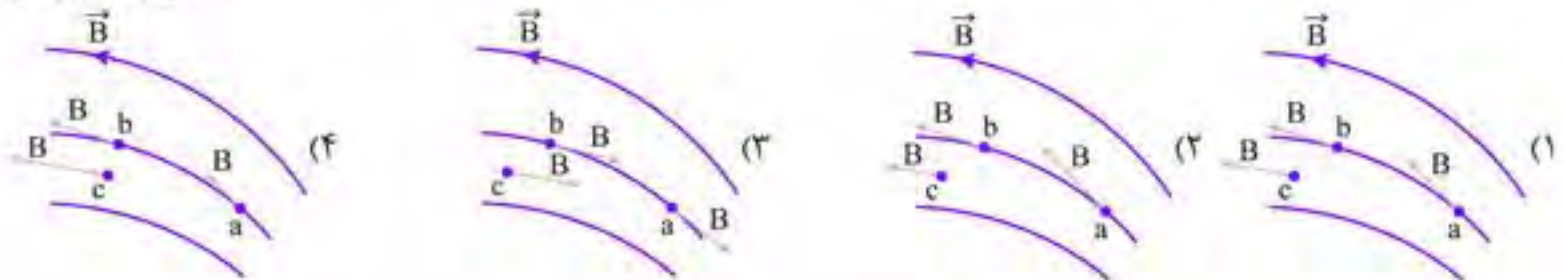
(برگرفته از متن کتاب درسی)

۱۶. در مورد کاربردهای میدان مغناطیسی کدام گزینه نادرست است؟

- (۱) نانوذره‌های مغناطیسی با پوشش خاص شیمیایی می‌توانند در کنترل سلول‌های سرطانی به کار روند.
- (۲) یک نوع آهنربای طبیعی به فرمول  $Fe_3O_4$  وجود دارد.
- (۳) میدان مغناطیسی حاصل از عضله‌های کوچک از مرتبه  $10^{-12} T$  هستند.
- (۴) مغناطیس‌سنج‌های بسیار حساس که میدان‌های مغناطیسی کوچک بدن را اندازه‌گیری می‌کنند، اسکویید نامیده می‌شوند.

۱۷. شکل خطوط میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا رسم شده است. در کدام شکل اندازه و جهت بردار میدان درست ترسیم شده است؟

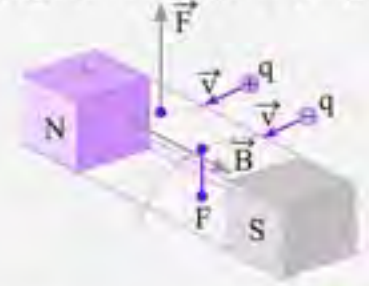
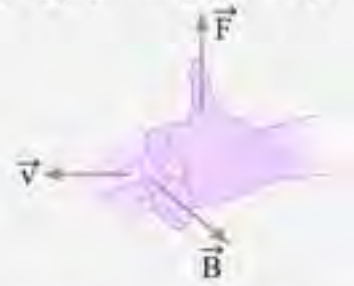
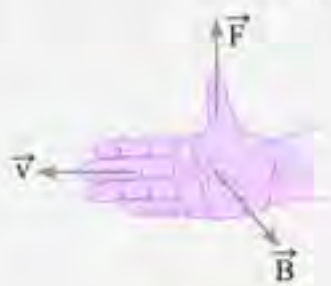
(برگرفته از پرسش کتاب درسی)



### نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

اگر ذره باردار متحرکی خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند، از طرف میدان بر آن نیرویی وارد می‌شود. ویژگی‌های این نیرو به شرح زیر است:

- ۱. نیروی وارد بر بار متحرک در میدان مغناطیسی، هم بر بردار سرعت ( $\vec{v}$ ) و هم بر بردار میدان ( $\vec{B}$ ) عمود است. (می‌توانیم بگوییم بر صفحه گذرنده از دو بردار  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  عمود است).
- ۲. جهت نیروی وارد بر بار مثبت از قاعده دست راست تعیین می‌شود (جهت نیروی وارد بر بار منفی همواره خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است). به این ترتیب که اگر چهار انگشت دست راست را به گونه‌ای در جهت حرکت بار قرار دهیم که هنگام خم شدن انگشتان در جهت  $\vec{B}$  (میدان) قرار بگیرند، انگشت شست نشان‌دهنده جهت  $\vec{F}$  (نیرو) است. یا می‌توانیم بگوییم  $\vec{v}$  (حرکت بار) در امتداد چهار انگشت دست راست بوده و  $\vec{B}$  (میدان مغناطیسی) از کف دست راست خارج شده و  $\vec{F}$  (نیروی مغناطیسی) در جهت شست دست راست است.



- ۳. وقتی بار درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حال حرکت است اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر آن از فرمول مقابل تعیین می‌شود:

$$|F| = |q| v B \sin \theta$$

منظور از  $|q|$  اندازه بار الکتریکی،  $v$  تندی (اندازه سرعت)،  $B$  اندازه (شدت) میدان مغناطیسی و  $\theta$  زاویه بین بردار  $\vec{v}$  با بردار  $\vec{B}$  است.

چون برای اولین بار در این فرمول  $B$  به کار رفته است، یکای میدان مغناطیسی از همین فرمول به دست می‌آید:

$$\text{یکای SI میدان مغناطیسی} \equiv \frac{N}{C \cdot (\frac{m}{s})} = \frac{N}{A \cdot m}$$

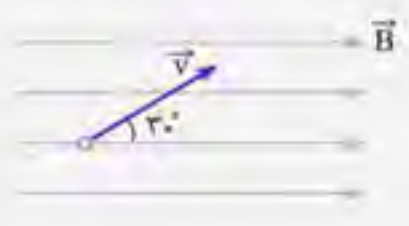
که می‌دانیم  $\frac{N}{A \cdot m}$  را تسلا (T) می‌نامند.

هم چنان که می‌دانید تسلا واحد بزرگی برای محاسبه شدت میدان است، واحد فرعی دیگری برای میدان وجود دارد به نام گاوس.

$$1T = 10^4 G$$

بنابه تعریف داریم:

**مثال:** ذره‌ای با بار الکتریکی  $q = -1.0 \text{ mC}$  را با سرعت  $1.0^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در یک میدان مغناطیسی یکنواخت  $\frac{1}{10} \text{ T}$  پرتاب می‌شود.

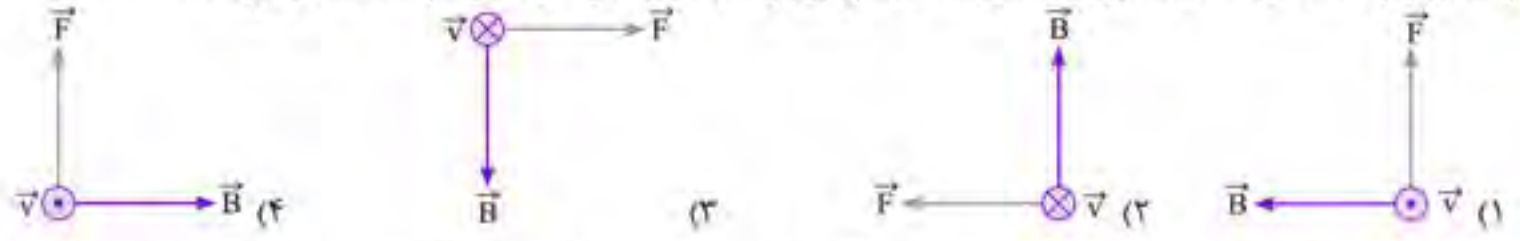


بزرگی و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر ذره را به دست آورید.  
**پاسخ:** با استفاده از رابطه  $F = |q| v B \sin \theta$  می‌توان نوشت:

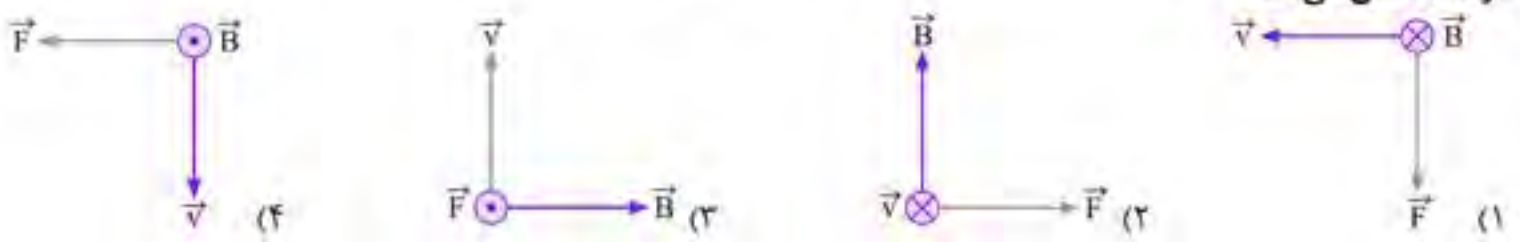
$$F = 1.0 \times 10^{-3} \times 1.0^3 \times \frac{1}{10} \times \sin 30^\circ \Rightarrow F = 0.05 \text{ N}$$

با استفاده از قاعده دست راست می‌توان دریافت نیروی مغناطیسی وارد بر ذره رو به بیرون صفحه است.

۱۸. در شکل زیر کدام گزینه جهت نیروی الکترومغناطیسی بر بار مثبت در حال حرکت را درست نشان می‌دهد؟



۱۹. یک الکترون با سرعت  $\vec{v}$  عمود بر میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  حرکت می‌کند و به آن نیروی  $\vec{F}$  وارد می‌شود. کدام شکل وضعیت این سه بردار را درست نشان می‌دهد؟

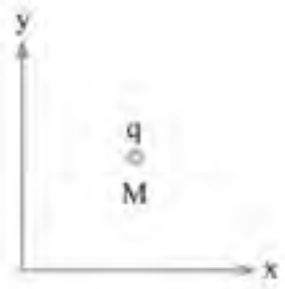


۲۰. فرض کنید ذره باردار در یک میدان مغناطیسی حرکت می‌کند. به چنین ذره‌ای یک نیروی مغناطیسی وارد می‌شود.  
 (۱) بردارهای نیرو و سرعت می‌توانند هر زاویه‌ای با هم داشته باشند.  
 (۲) بردارهای نیرو و میدان مغناطیسی می‌توانند هر زاویه‌ای با هم داشته باشند.  
 (۳) بردارهای سرعت و میدان مغناطیسی می‌توانند هر زاویه‌ای با هم داشته باشند.  
 (۴) هیچ‌یک از موارد بالا درست نیست.

۲۱. در یک مکان، میدان مغناطیسی یکنواخت و جهت آن رو به شمال است. اگر در این مکان ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت و در راستای قائم رو به پایین پرتاب شود، نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر آن وارد می‌شود به کدام سمت خواهد شد؟

- (۱) شمال (۲) جنوب (۳) مغرب (۴) مشرق

۲۲. بار نقطه‌ای مثبت  $q$  در نقطه  $M$  قرار دارد. تا زمانی که بار  $q$  ساکن است، نیرویی به آن وارد نمی‌شود. هرگاه آن را در صفحه  $xy$  حرکت دهیم، به سمت چپ خود منحرف می‌شود. کدام گزینه در مورد میدان‌ها در نقطه  $M$  درست است؟ (از جرم ذره صرف‌نظر کنید.)



- (۱) میدان مغناطیسی عمود بر صفحه شکل و به سمت داخل است.  
 (۲) میدان مغناطیسی عمود بر صفحه شکل و به سمت خارج است.  
 (۳) میدان مغناطیسی در جهت  $-x$  است.  
 (۴) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم وجود دارند.

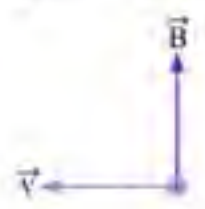
۲۳. یک ذره کیهانی با بار مثبت از بالای خط استوا به طور عمود به سمت کره زمین در حرکت است. در آن لحظه، نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی زمین بر آن وارد می‌شود، به کدام جهت است؟

- (۱) شرق (۲) غرب (۳) شمال (۴) جنوب

۲۴. میدان مغناطیسی زمین را افقی و رو به شمال فرض کنید. حال اگر در این میدان، یک الکترون در راستای قائم رو به بالا در حرکت باشد، نیرویی که از طرف میدان بر این الکترون وارد می‌شود، به کدام جهت است؟

- (۱) جنوب (۲) شمال (۳) مغرب (۴) مشرق

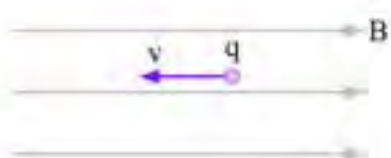
۲۵. اگر ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت، با سرعت  $v$  مطابق شکل وارد میدان  $B$  شود، در چه راستا و جهتی به آن نیرو وارد می‌شود؟



- (۱) عمود بر صفحه کاغذ و به سمت خارج  
 (۲) عمود بر صفحه کاغذ و به سمت داخل  
 (۳) در صفحه کاغذ و هم‌سو با  $B$   
 (۴) در صفحه کاغذ و در سوی مخالف  $B$



۲۶. در شکل زیر نیروی وارد به بار در کدام جهت است؟



(۲)  $\odot$

(۴) هیچ کدام

(۱)  $\otimes$

(۳)  $\downarrow$

$\vec{F}$

۲۷. ذره‌ای باردار، با سرعت  $v$  در راستای میدان مغناطیسی یکنواخت  $B$  و در خلاف جهت میدان وارد آن می‌شود. سرعت ذره تحت اثر میدان چگونه تغییر می‌کند؟

(۱) تغییر نمی‌کند.

(۲) افزایش می‌یابد.

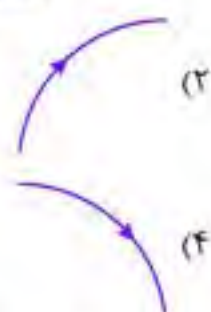
(۳) کاهش می‌یابد.

(۴) بسته به نوع بار الکتریکی کاهش یا افزایش می‌یابد.



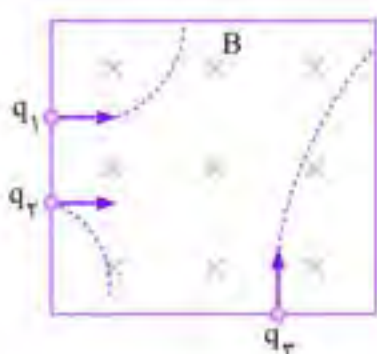
۲۸. در شکل مقابل، الکترونی با سرعت  $v$  در مسیری عمود بر میدان مغناطیسی در حرکت است. نیروی الکترومغناطیس وارد بر الکترون در یک لحظه نشان داده شده است. از آن لحظه، قسمتی از مسیر حرکت الکترون در میدان کدام است؟

(ریاضی، خارج ۸۲)



۲۹. چنانچه بارهای الکتریکی نشان داده‌شده در شکل، با سرعت یکسان وارد منطقه میدان یکنواخت شده باشند، کدام گزینه درست است؟

(برگرفته از مسائل کتاب درسی)



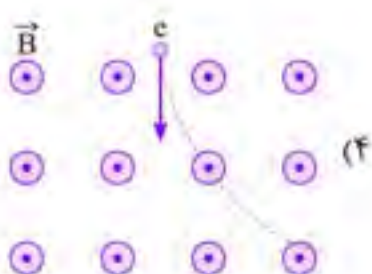
(۱)  $\frac{|q_3|}{m_3} > \frac{|q_1|}{m_1} > \frac{|q_2|}{m_2}$  و  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام

(۲)  $\frac{|q_3|}{m_3} > \frac{|q_1|}{m_1} > \frac{|q_2|}{m_2}$  و  $q_3$  و  $q_2$  هم‌نام

(۳)  $\frac{|q_3|}{m_3} < \frac{|q_1|}{m_1} < \frac{|q_2|}{m_2}$  و  $q_1$  و  $q_3$  هم‌نام

(۴)  $\frac{|q_3|}{m_3} < \frac{|q_1|}{m_1} < \frac{|q_2|}{m_2}$  و  $q_3$  و  $q_2$  هم‌نام

۳۰. کدام شکل مسیر حرکت یک الکترون را که با سرعت اولیه  $v$  وارد یک میدان مغناطیسی شده و هیچ نیروی دیگری به آن اثر نمی‌کند، نادرست نشان می‌دهد؟



۳۱. بار الکتریکی  $q > 0$  در یک میدان مغناطیسی یکنواخت در حال چرخش است. اگر مسیر حرکت بار  $q$  مطابق شکل باشد، جهت میدان مغناطیسی کدام است؟

(ریاضی ۹۱)



(۱)  $\rightarrow$

(۲)  $\leftarrow$

(۳)  $\odot$

(۴)  $\otimes$



مهرماه



۳۲. در شکل مقابل، الکترونی به طور یکنواخت در مسیر دایره‌ای می‌چرخد. اگر میدانی که الکترون را در این مسیر نگه داشته است، یکنواخت باشد، آن میدان ..... است و نسبت به صفحه ..... است. (بررسی تاریخ ۱۱)

(۱) مغناطیسی، درون‌سو  
(۲) مغناطیسی، برون‌سو  
(۳) الکتریکی، برون‌سو  
(۴) الکتریکی، درون‌سو

$$F = qvB\sin\theta$$

۳۳. الکترونی با سرعت  $5 \times 10^6 \frac{m}{s}$  در راستایی که با میدان مغناطیسی یکنواخت  $100 G$  زاویه  $30^\circ$  می‌سازد، وارد میدان می‌شود. نیروی وارد بر آن از طرف میدان مغناطیسی چند نیوتون است؟ (بار الکتریکی الکترون  $1/6 \times 10^{-19}$  کولن است.)

(۱)  $4 \times 10^{-14}$  (۲)  $4 \times 10^{-16}$  (۳)  $4 \times 10^{-17}$  (۴)  $4 \times 10^{-15}$

۳۴. پروتونی با سرعت  $2 \times 10^6 \frac{m}{s}$  وارد میدان مغناطیسی یکنواخت  $34$  میلی‌تسلا می‌شود. اگر جهت سرعت پروتون با جهت میدان زاویه  $30^\circ$  درجه بسازد، شتابی که پروتون تحت اثر این میدان می‌گیرد، چند متر بر مجذور ثانیه است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$  و  $m_p = 1/7 \times 10^{-27} kg$  است.)

(۱)  $1/6 \times 10^{13}$  (۲)  $1/6 \times 10^{14}$  (۳)  $3/2 \times 10^{12}$  (۴)  $3/2 \times 10^{13}$

۳۵. در یک میدان مغناطیسی یکنواخت بر یک ذره باردار که راستای حرکتش با خطوط میدان زاویه  $60^\circ$  می‌سازد، نیرویی به بزرگی  $F$  وارد می‌شود. اگر راستای حرکت این ذره با خطوط میدان زاویه  $30^\circ$  بسازد، بزرگی نیروی وارد بر آن چند  $F$  خواهد شد؟

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

۳۶. ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت، با سرعت  $v$  وارد میدان مغناطیسی یکنواختی می‌شود. راستای حرکت ذره با راستای میدان مغناطیسی چه زاویه‌ای باید بسازد تا نیروی وارد بر ذره بیشینه شود؟

(۱)  $\frac{\pi}{6}$  (۲) صفر (۳)  $\frac{\pi}{4}$  (۴)  $\frac{\pi}{2}$

۳۷. اگر یک ذره آلفا ( ${}^4_2He$ ) با سرعت  $4 \times 10^5 \frac{m}{s}$  عمود بر میدان مغناطیسی  $5$  تسلا وارد میدان شود، نیروی وارد بر آن چند نیوتون خواهد بود؟ (بار الکتریکی پروتون  $1/6 \times 10^{-19}$  کولن است.)

(۱)  $3/2 \times 10^{-14}$  (۲)  $6/4 \times 10^{-14}$  (۳)  $6/4 \times 10^{-15}$  (۴)  $3/2 \times 10^{-15}$

۳۸. در مکانی که میدان مغناطیسی یکنواخت  $4$  تسلا برقرار است، ذره‌ای با بار الکتریکی  $50 \mu C$  با سرعت  $200 \frac{m}{s}$  به سمت مغرب در حرکت است. اگر خطوط میدان مغناطیسی افقی و جهت میدان به سمت شمال باشد، نیروی الکترومغناطیسی وارد بر ذره چند نیوتون و به کدام جهت است؟

(۱)  $2 \times 10^{-3}$ ، شمال (۲)  $2 \times 10^{-3}$ ، جنوب (۳)  $4 \times 10^{-4}$ ، بالا (۴)  $4 \times 10^{-4}$ ، پایین

۳۹. ذره‌ای به جرم  $0.2$  گرم با بار الکتریکی  $4 \mu C$ ، با سرعت  $200 \frac{m}{s}$  به سمت مغرب و افقی حرکت می‌کند. جهت و اندازه میدان مغناطیسی (برحسب تسلا)، که قادر است مسیر ذره را در همان جهت و افقی نگه دارد کدام است؟ ( $g = 10 \frac{m}{s^2}$ )

(۱) شمال،  $0.25$  (۲) جنوب،  $0.25$  (۳) مشرق،  $2/5$  (۴) مغرب،  $2/5$

۴۰. ذره‌ای به جرم  $500$  میلی‌گرم با سرعت  $10^3 \frac{m}{s}$  به طور عمود وارد میدان مغناطیسی یکنواخت  $4$  میلی‌تسلا می‌شود. اگر بار الکتریکی ذره  $50 \mu C$  باشد، شتابی که ذره تحت تأثیر میدان می‌گیرد، چند متر بر مجذور ثانیه است؟

(۱)  $0.40$  (۲)  $0.4$  (۳)  $0.20$  (۴)  $0.2$

۴۱. الکترونی با سرعت  $2 \times 10^6 \frac{m}{s}$  وارد میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت  $0.5$  تسلا می‌شود. اگر راستای حرکت الکترون با راستای میدان زاویه  $30^\circ$  درجه بسازد، نیروی وارد بر آن چند نیوتون است؟ (بار الکتریکی الکترون  $1/6 \times 10^{-19}$  کولن است.)

(۱)  $8\sqrt{3} \times 10^{-15}$  (۲)  $8 \times 10^{-14}$  (۳)  $8\sqrt{3} \times 10^{-14}$  (۴)  $8 \times 10^{-15}$

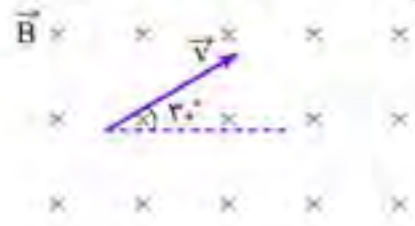
۴۲. الکترونی با سرعت  $4 \times 10^6$  متر بر ثانیه در راستایی که با میدان مغناطیسی یکنواخت  $50$  میلی‌تسلا زاویه  $30^\circ$  می‌سازد در حرکت است. بزرگی نیروی وارد بر آن از طرف میدان مغناطیسی چند نیوتون است؟ (بار الکتریکی الکترون  $1/6 \times 10^{-19}$  کولن است.)

(۱)  $1/6 \times 10^{-11}$  (۲)  $1/6\sqrt{3} \times 10^{-14}$  (۳)  $1/6 \times 10^{-14}$  (۴)  $1/6\sqrt{3} \times 10^{-11}$

۴۳. اگر یک الکترون و یک پروتون با سرعت مساوی، عمود بر یک میدان مغناطیسی یکنواخت وارد میدان بشوند، کدام جمله در مورد آنها درست است؟

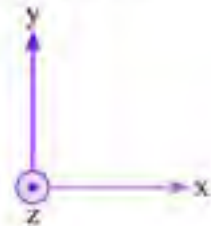
- (۱) اندازه نیرویی که به هر دو ذره وارد می‌شود، یکسان است.
- (۲) میزان انحراف پروتون در میدان بیشتر است.
- (۳) هر دو ذره در یک جهت منحرف می‌شوند ولی انحرافشان نامساوی است.
- (۴) هر سه گزینه درست است.

۴۴. در شکل زیر میدان مغناطیسی یکنواخت  $100\text{G}$  درون سو برقرار است. بار  $q = 2.0\text{mC}$  را با سرعت  $v = 1.2 \times 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در این میدان پرتاب می‌کنیم. نیروی وارد بر بار و جهت آن کدام گزینه است؟



- (۱)  $\frac{1}{10}$
- (۲)  $\frac{2}{10}$
- (۳)  $\frac{1}{10}$
- (۴)  $\frac{2}{10}$

۴۵. به ذره‌ای با بار مثبت که در جهت  $+x$  حرکت می‌کند، نیروی مغناطیسی در جهت  $+z$  وارد می‌شود.



- (۱) میدان مغناطیسی الزاماً در جهت  $+y$  است.
- (۲) میدان مغناطیسی الزاماً در جهت  $-y$  است.
- (۳) میدان مغناطیسی الزاماً در جهت  $+z$  است.
- (۴) جهت میدان مغناطیسی را نمی‌توان یافت.

۴۶. نیروی  $\vec{F}$  وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  در حرکت است، در شکل نشان داده شده است. جهت سرعت الکترون کدام است؟



- (۱)  $\vec{v} \searrow$
- (۲)  $\vec{v} \rightarrow$
- (۳)  $\vec{v} \swarrow$
- (۴) گزینه‌های ۲ و ۳ می‌توانند درست باشند.

۴۷. مطابق شکل، بار الکتریکی منفی، با سرعت  $\vec{v}$  (درون سو) در حرکت است و نیروی وارد بر آن از طرف میدان مغناطیسی  $\vec{F}$  است. جهت میدان مغناطیسی کدام است؟

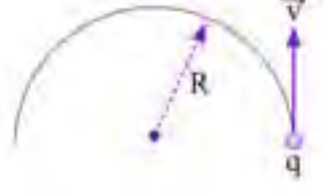


- (۱)  $\uparrow$
- (۲)  $\rightarrow$
- (۳)  $\downarrow$
- (۴)  $\leftarrow$

۴۸. یک دسته الکترون در یک مسیر افقی از جنوب به شمال وارد یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌شوند. اگر الکترون‌ها به طرف مشرق منحرف شوند، جهت میدان مغناطیسی به کدام سمت می‌تواند باشد؟

- (۱) قائم - به طرف بالا
- (۲) قائم - به طرف پایین
- (۳) افقی - به طرف مشرق
- (۴) افقی - به طرف مغرب

۴۹. بار متحرکی خطوط میدان مغناطیسی را قطع می‌کند. چنانچه این بار فقط تحت تأثیر نیروی میدان مغناطیسی باشد، کار این نیرو وقتی ذره مطابق شکل، مسیری به طول  $\frac{1}{4}$  محیط دایره را طی می‌کند، چقدر است؟



- (۱)  $|q|vBR$
- (۲)  $|q|vB\pi R$
- (۳)  $|q|vB(2R)$
- (۴) صفر

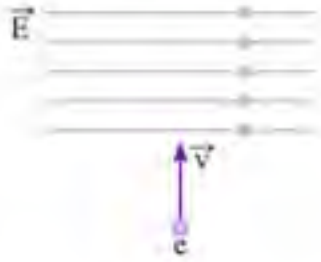
۵۰. باری به بزرگی  $0.5\text{mC}$  با سرعت  $\vec{v} = 3\vec{i} + 4\vec{j} (\frac{\text{m}}{\text{s}})$  در حال حرکت است و وارد میدانی یکنواخت به معادله  $\vec{B} = 5\vec{j} (\text{T})$  می‌شود. اندازه نیروی وارد بر این بار چقدر است و جهت آن به کدام سمت است؟

- (۱)  $7/5 \times 10^{-3} \text{N}$  و در جهت محور  $Z$
- (۲)  $7/5 \times 10^{-3} \text{N}$  و خلاف جهت محور  $Z$
- (۳)  $12/5 \times 10^{-3} \text{N}$  و در جهت محور  $Z$
- (۴)  $12/5 \times 10^{-3} \text{N}$  و خلاف جهت محور  $Z$

۵۱. بار  $-10 \mu\text{C}$  با سرعت  $\vec{v} = 5\vec{i} + 5\vec{j} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$  در میدانی به معادله  $\vec{B} = 0.2\vec{i} \text{ (T)}$  حرکت می‌کند. بزرگی نیروی وارد به بار چند نیوتون بوده و جهت آن به کدام سمت است؟
- (۱)  $10^{-5}$  و در جهت محور Z  
 (۲)  $10^{-5}$  و در خلاف جهت محور Z  
 (۳)  $\sqrt{2} \times 10^{-5}$  و در جهت محور Z  
 (۴)  $\sqrt{2} \times 10^{-5}$  و در خلاف جهت محور Z

### بار در دو میدان $\vec{E}$ و $\vec{B}$

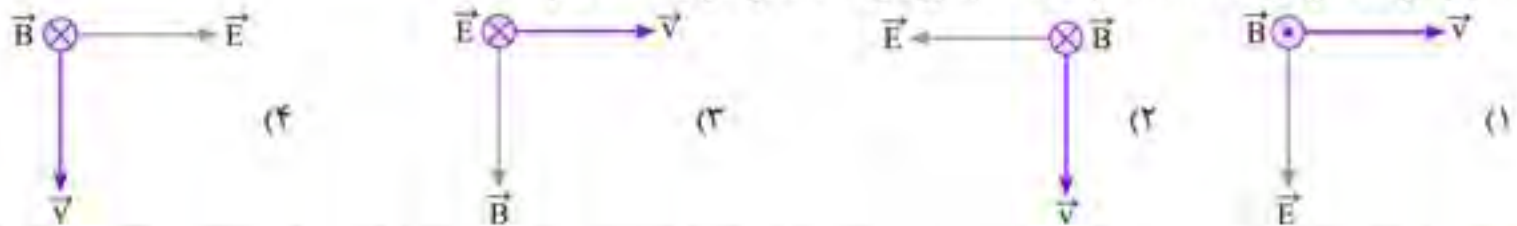
۵۲. شکل زیر الکترونی را هنگام عبور از میدان الکتریکی یکنواخت نشان می‌دهد. برای آن که ذره بدون انحراف از این میدان بگذرد، از میدان مغناطیسی یکنواخت استفاده شده است. میدان مغناطیسی باید ..... باشد.



- (۱) موازی راستای  $\vec{v}$  و هم‌سو با آن  
 (۲) موازی راستای  $\vec{E}$  و در خلاف جهت آن  
 (۳) عمود بر صفحه شکل و به سمت بیرون صفحه  
 (۴) عمود بر صفحه شکل و به سمت داخل صفحه

۵۳. یک دسته الکترون در فضایی که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی وجود دارند، با سرعت  $v$  حرکت می‌کنند. اگر الکترون‌ها مسیر مستقیم حرکت خود را حفظ کنند، وضعیت میدان‌های  $\vec{E}$ ،  $\vec{B}$  و سرعت  $\vec{v}$  کدام است؟

(رابطه ۱۸)

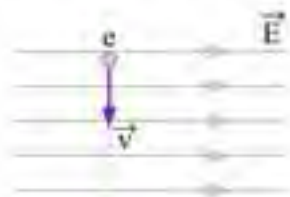


۵۴. یک باریکه الکترون از محیطی می‌گذرد که شامل یک میدان الکتریکی و یک میدان مغناطیسی است. مشاهده می‌شود اندازه و جهت سرعت الکترون‌ها طی عبور از این محیط ثابت است. کدام یک از گزینه‌ها درست است؟

(المسئله ۱۸)

- (۱) میدان الکتریکی حتماً بر باریکه عمود است. میدان مغناطیسی ممکن است بر باریکه عمود باشد یا نباشد.  
 (۲) میدان الکتریکی و مغناطیسی هر دو حتماً بر باریکه عمودند.  
 (۳) میدان مغناطیسی حتماً با باریکه موازی است. میدان الکتریکی ممکن است با باریکه موازی باشد یا نباشد.  
 (۴) میدان الکتریکی و مغناطیسی حتماً با هم موازی‌اند، اما با باریکه موازی نیستند.

۵۵. الکترونی، مطابق شکل با سرعت ثابت روی خط راست از یک میدان الکتریکی عبور می‌کند. کدام گزینه بزرگی و جهت میدان مغناطیسی را درست نشان داده است؟ (از وزن ذره، صرف‌نظر شود.)



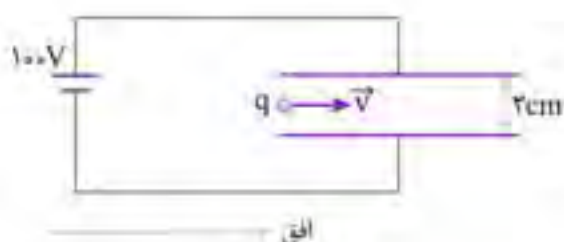
- (۱)  $B = \frac{E}{v}$  و  $\otimes$   
 (۲)  $B = Ev$  و  $\otimes$   
 (۳)  $B = \frac{E}{v}$  و  $\odot$   
 (۴)  $B = Ev$  و  $\odot$

۵۶. بار  $q$  با سرعت  $500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  از شرق به غرب در حال حرکت است. اگر میدان مغناطیسی به بزرگی  $100 \text{ G}$  در جهت بالا به پایین در فضا وجود داشته باشد، میدان الکتریکی در فضا چقدر باشد، تا این ذره منحرف نشود؟ (از وزن ذره صرف‌نظر کنید.)

- (۱)  $5 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  به سمت شرق  
 (۲)  $5 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  به سمت غرب  
 (۳)  $5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  به سمت جنوب  
 (۴)  $5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  به سمت شمال

۵۷. حداقل میدان مغناطیسی چقدر و در چه جهتی باشد تا بار متحرک بدون انحراف از فضای بین صفحات خازن بگذرد؟

(محرک در صفحه ۱۸)



( $m = 10 \text{ g}$  و  $v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ،  $q = 2 \mu\text{C}$ )

- (۱)  $1 \text{ T}$  و بیرون‌سو  
 (۲)  $1 \text{ T}$  و درون‌سو  
 (۳)  $100 \text{ T}$  و بیرون‌سو  
 (۴)  $100 \text{ T}$  و درون‌سو

## نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

اگر سیم حامل جریاتی در میدان مغناطیسی قرار گیرد به طوری که با خطوط میدان موازی نباشد، بر سیم از طرف میدان نیرویی اثر می‌کند که خصوصیات آن به شرح زیر است:

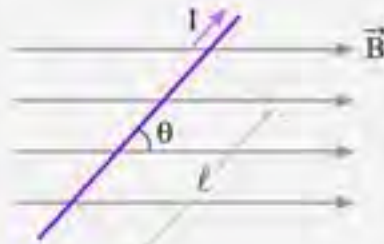


- این نیرو بر امتداد سیم و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است.
- جهت نیروی وارد بر سیم هم از قاعده دست راست تعیین می‌شود. اگر انگشتان دست راست در جهت شدت جریان الکتریکی قرار گیرد و اگر انگشتان را خم کنیم تا به سمت  $B$  بچرخد، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.

اندازه نیروی وارد بر سیم از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$F = I l B \sin \theta$$

$l$  (برحسب  $m$ ) طولی از سیم است که در معرض میدان قرار دارد و  $\theta$  زاویه بین امتداد جریان سیم با جهت بردار  $B$  است.



**مثال:** از سیمی مستقیم جریان  $10$  آمپر عبور می‌کند. اگر سیم با میدان مغناطیسی  $2T$  زاویه  $60^\circ$  بسازد، بر  $50$  سانتی‌متر از این سیم که درون میدان است، چه نیرویی وارد می‌شود؟ جهت نیرو را مشخص کنید.

**پاسخ:** رابطه  $F = I l B \sin \theta$  را به کار می‌بریم:

$$F = 10 \times 0.5 \times 2 \times \sin 60^\circ \Rightarrow F = \frac{\sqrt{3}}{2} N$$

با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو درون سیم خواهد بود.

(کنکور ابریشانی)



۵۸. با توجه به شکل زیر، جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم طویل حامل جریان (رو به بیرون صفحه) کدام است؟

- به سمت چپ و عمود بر سیم
- به سمت راست و عمود بر سیم
- به طرف بالا و عمود بر سیم
- به طرف پایین و عمود بر سیم

۵۹. اگر میدان مغناطیسی زمین را افقی و به سمت شمال فرض کنیم، جهت جریان الکتریکی در یک سیم راست در چه جهتی باشد، تا

نیروی الکترومغناطیسی وارد بر آن از طرف میدان مغناطیسی زمین بیشینه و در راستای قائم رو به بالا باشد؟

- به سوی شرق
- به سوی شمال
- به سوی غرب
- به سوی جنوب

۶۰. یک سیم برق به طور افقی کشیده شده و جریان الکتریکی ثابتی به سمت مشرق از آن می‌گذرد، نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی

زمین بر آن وارد می‌شود، تقریباً به کدام جهت است؟

(تصریح خارج آزمون)

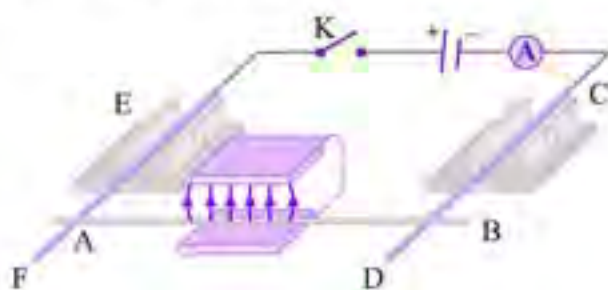
- شمال
- جنوب
- پایین
- بالا

۶۱. دو میله رسانای  $CD$  و  $EF$  در مداري که شامل مولد، آمپرسنج و کلید قطع و وصل است، توسط دو گیره عایق به صورت افقی نگه

داشته شده‌اند و میله رسانای  $AB$  که از بین قطبین یک آهنربای  $U$  شکل عبور کرده، روی دو میله افقی  $CD$  و  $EF$  تکیه دارد. اگر

(برگرفته از آزمایش کتاب دوس)

کلید  $K$  را وصل کنیم، میله  $AB$  چگونه حرکت می‌کند؟



- به سمت بیرون آهنربا می‌لغزد.
- به سمت داخل آهنربا می‌لغزد.
- به سمت بالا پرتاب می‌شود.
- به تکیه‌گاه فشرده می‌شود.

## پاسخ‌نامه‌ی تشریحی

۱. ۱ ۲ ۳ ۴

برای حل چنین تست‌هایی باید به چند اصل توجه کنید.

۱ ابتدا شکل خطوط میدان را رسم کنید، میدان در خارج آهنربا از قطب N به S و در درون آن از قطب S به N است.

۲ عقربه مغناطیسی یا بردار شدت میدان در هر نقطه مماس بر خطوط میدان و در جهت آن است.

حالا برویم سراغ تست خودمان:

در شکل، خطوط میدان را رسم کرده‌ایم و در نقاط معین شده، بردار مماس بر خطوط را ترسیم کردیم. فقط در نقطه B میدان درست نشان داده شده است.

۲. ۱ ۲ ۳ ۴

باتوجه به وضعیت قرارگیری عقربه مغناطیسی، متوجه می‌شویم که سر Y آهنربا قطب S و در نتیجه سر X آهنربا قطب N است. حال با توجه به شکل خطوط میدان که در بیرون آهنربا از قطب N به قطب S است می‌توان نحوه قرارگیری عقربه مغناطیسی در نقاط A، B و C را تعیین کرد.

۳. ۱ ۲ ۳ ۴

برای حل چنین تست‌هایی باید به اصل زیر توجه کرد.

ابتدا خط میدان را رسم کنید و در نقطه موردنظر، مماسی بر خط میدان و هم‌جهت با آن ترسیم کنید. چون نقطه M دقیقاً وسط N و S است، مماس در آن نقطه افقی بوده و جهت آن مطابق شکل به سمت راست است. عقربه مغناطیسی هم در امتداد همین خط و در همین جهت می‌ایستد به گونه‌ای که قطب N معرف جهت بردار است.

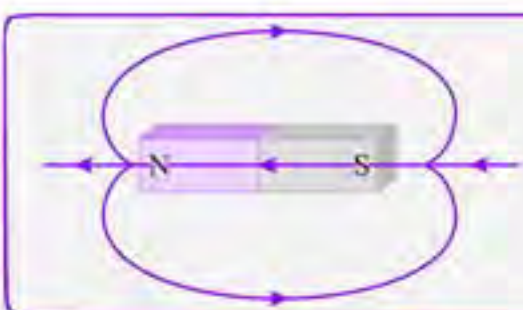
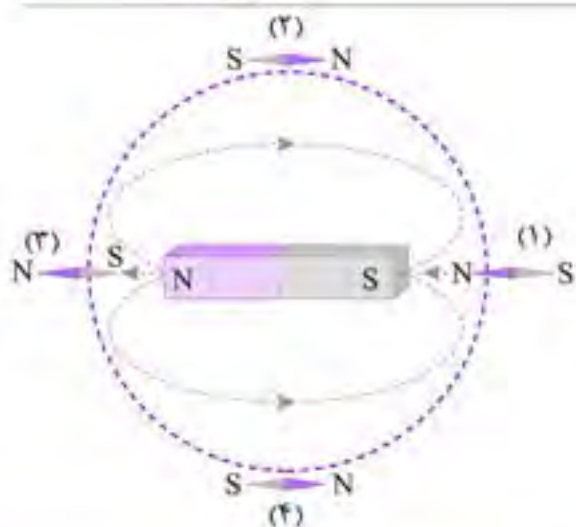
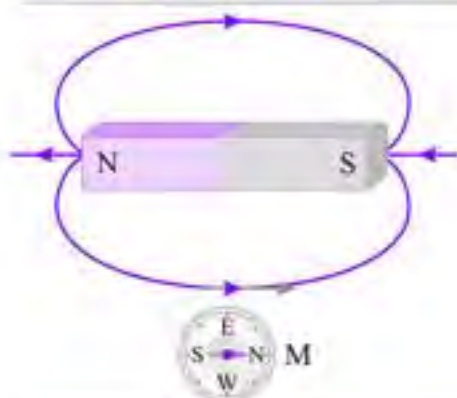
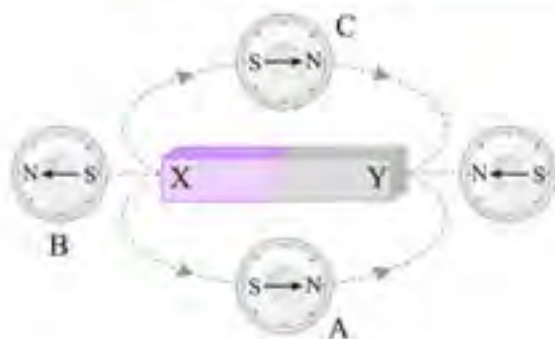
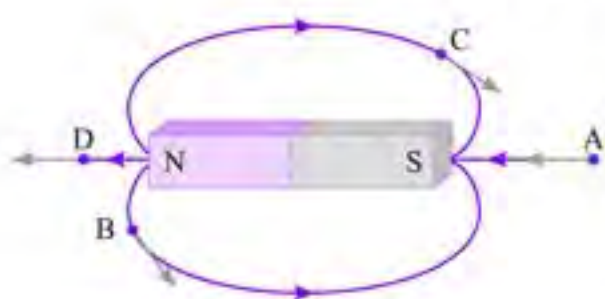
۴. ۱ ۲ ۳ ۴

کافی است به وضعیت عقربه مغناطیسی در نقاط مشخص شده توجه کنید (عقربه مغناطیسی در هر نقطه مماس بر خطوط میدان و در جهت آن قرار می‌گیرد). از نقطه (۱) تا (۲) عقربه  $180^\circ$  از (۲) تا (۳)  $180^\circ$  از (۳) تا (۴)  $180^\circ$  و در نهایت از (۴) تا (۱)  $180^\circ$  و در مجموع  $4 \times 180^\circ = 720^\circ$  چرخیده است.

۵. ۱ ۲ ۳ ۴

راهنمای ۱

حتماً با توجه به نکات گفته‌شده تا این‌جا، تا اندازه‌ای قادر به تجسم خطوط میدان هستید. بد نیست با هم مروری بر شکل خطوط میدان داشته باشیم.  
الف: آهنربای منفرد (تک)



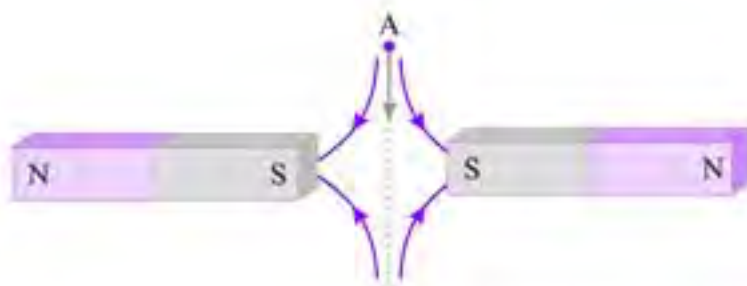
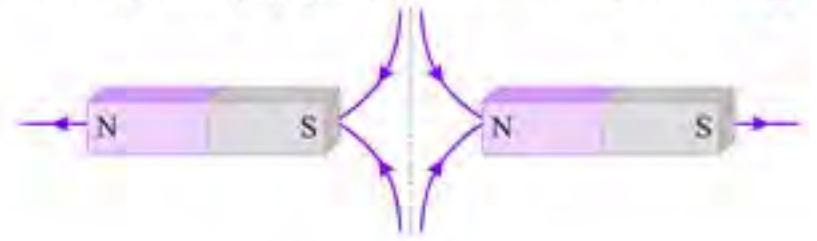
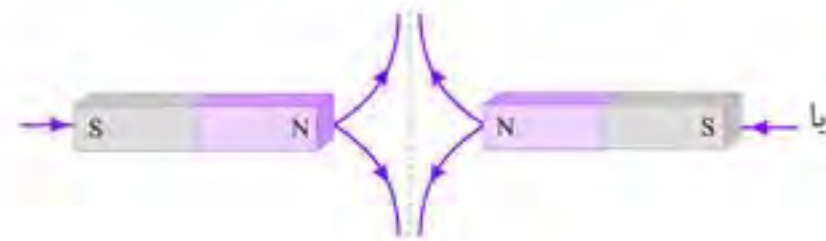


ب:



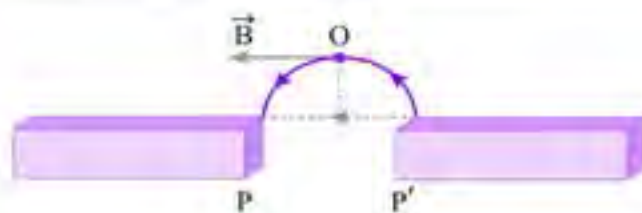
۱ دو آهنربای مشابه که قطب‌های ناهم‌نام آن‌ها مقابل هم است.

۲ دو آهنربای مشابه که قطب‌های هم‌نام آن‌ها مقابل هم است.



شکل خطوط میدان را رسم می‌کنیم، حتماً توجه دارید که قطب‌های هم نام همدیگر را دفع می‌کنند و عقربه مغناطیسی یا بردار شدت میدان مماس بر خطوط میدان و در جهت آن‌ها است.

۶. ۱ ۲ ۳ ۴



با توجه به درس‌نامه ارایه‌شده در تست‌های قبلی، P و P' حتماً باید ناهم‌نام باشند و جهت میدان از P' به سمت P باشد. پس P' قطب N و P قطب S است.

۷. ۱ ۲ ۳ ۴

با دیدن دافعه مغناطیسی یک نتیجه می‌توان گرفت: حتماً دو سر نزدیک‌شده به هم، هم‌نام هستند (قطب‌های مشابه) ولی با دیدن جاذبه مغناطیسی دو احتمال داریم: **الف:** دو سر نزدیک‌شده به هم ناهم‌نام هستند (قطب‌های نامشابه) **ب:** یکی از دو میله آهنربا و دیگری آهن (ماده فرومغناطیس است)

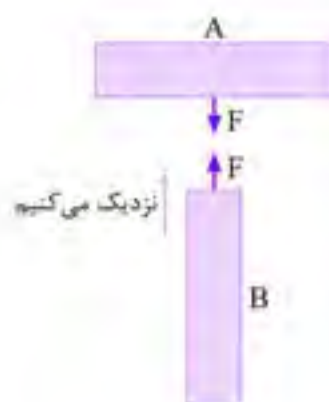
در مورد A می‌توانیم قضاوت قطعی کنیم ولی در مورد B نه.

۸. ۱ ۲ ۳ ۴

می‌رسیم به سوال بسیار معروفی در مورد تشخیص قطب‌های آهنربا:

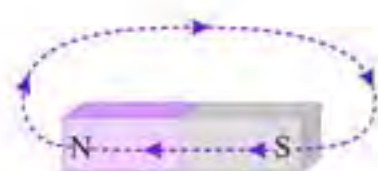


میله آهنی فاقد خاصیت مغناطیسی است، اما آهنربا دارای خاصیت مغناطیسی است که در دو سر آن این خاصیت بیشینه (یعنی قطب‌ها) و در وسط آن بسیار کوچک است. کافی است یکی از دو میله را به صورت افقی قرار داده و دیگری را در امتداد عمودمنتصف میله اول به آرامی به آن نزدیک کنیم. اگر: **الف:** با نزدیک کردن B به A نیرویی دیده نشد (یا نیروی بسیار ضعیفی دیدیم) B میله آهنی و A آهنربا بوده است (وسط آهنربای میله‌ای خاصیت مغناطیسی چندانی ندارد).



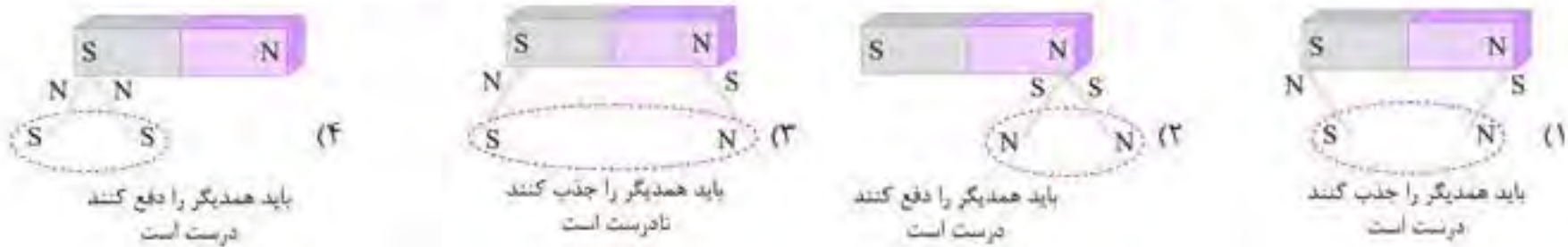
**ب:** با نزدیک کردن B به A نیروی مغناطیسی رویت شده B آهنربا است و A میله آهنی. پس توانستیم میله آهن و آهنربا را تعیین کنیم ولی با این آزمایش نمی‌توان قطب‌های آهنربا را تشخیص داد.

۹. ۱ ۲ ۳ ۴



می‌دانیم خطوط میدان مغناطیسی بسته هستند و از طرفی این خطوط در بیرون آهنربا از قطب N خارج شده و به قطب S وارد می‌شود و درون آهنربا از S به سمت N است و همین دلیل بسته‌بودن خطوط است.

می‌دانیم در اثر القای خاصیت مغناطیسی، سری از سوزنی که به قطب آهنربا چسبیده با آن ناهم‌نام و سر دیگر هم‌نام است.



میدان یکنواخت، میدانی است که بردار میدان در تمام نقاط آن برابر باشد. میدان کمیتی است برداری؛ وقتی می‌گوییم میدان در تمام نقاط یکسان است باید:

- ۱ جهت آن در تمام نقاط یکسان باشد ← خطوط میدان خطوط مستقیم و با هم موازی باشند.
- ۲ اندازه آن در تمام نقاط یکسان باشد ← فاصله خطوط میدان از هم (تراکم آن‌ها) یکسان باشد. بنابراین میدان یکنواخت با خطوط موازی و هم‌فاصله معرفی می‌شود.

زمین مثل یک آهنربای بزرگ است که قطب S آن در مجاورت شمال جغرافیایی زمین (نه دقیقاً بر روی آن) و قطب N هم در مجاورت جنوب جغرافیایی زمین قرار دارد (**گزینه ۱** نادرست و **گزینه ۴** درست است). می‌دانیم که امتداد مغناطیسی با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یکی نیست. به اختلاف این دو امتداد در هر نقطه زاویه میل گفته می‌شود (میل مغناطیسی).

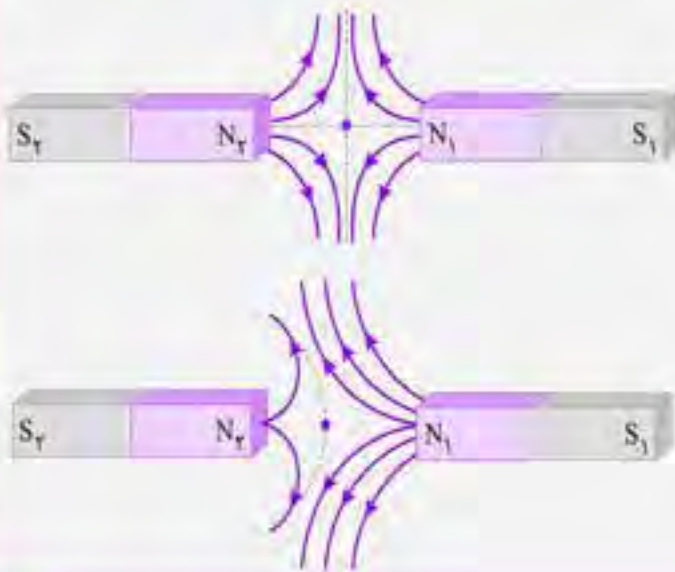
میدان مغناطیسی زمین در بسیاری از نقاط، افقی (موازی سطح زمین) نیست. زاویه امتداد عقربه مغناطیسی با افق را در هر نقطه شیب مغناطیسی می‌گویند. بنابراین در **گزینه ۳ و ۲** دقیقاً میل و شیب مغناطیسی جابه‌جا تعریف شده است.

خط‌های میدان مغناطیسی متقاطع نمی‌باشند. نزدیک قطب‌ها تراکم آن‌ها بیشتر است و در خارج آهنربا از قطب N خارج به قطب S وارد می‌شوند. در آهنربای میله‌ای در دوسر آهنربا (قطب‌ها) خاصیت مغناطیسی بیشینه و در وسط آهنربا خاصیت مغناطیسی بسیار ضعیف است.

راهبرد ۲

برای تشخیص وضعیت خطوط میدان، خوب است چند نکته را با هم مرور کنیم:

- ۱ خطوط میدان در بیرون آهنربا از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شود.
- ۲ هرچه میدان قوی‌تر باشد، تراکم خطوط میدان بیشتر است.
- ۳ اگر دو قطب هم‌نام روبه‌روی هم قرار گرفته باشند و شدت مغناطیسی آن‌ها با هم برابر باشد، دقیقاً در وسط دو قطب، میدان صفر است. اگر یکی از دو قطب ضعیف‌تر باشد، این نقطه (یعنی نقطه‌ای که میدان صفر است) به آن نزدیک‌تر خواهد بود.
- ۴ خاصیت مغناطیسی از آهنربا منتشر می‌شود. اگر شدت انتشار قطب یک آهنربا از قطب دیگری قوی‌تر باشد، خطوط میدان آهنربای قوی‌تر روی خط میدان آهنربای ضعیف‌تر اثر می‌گذارد.



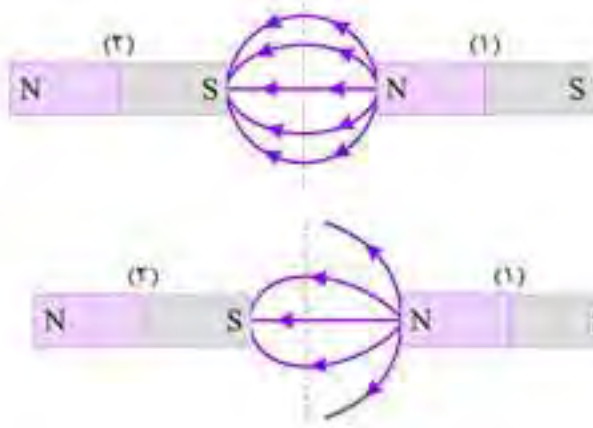
با این مقدمه به میدان دو آهنربای یکسان (هم‌شدت) و دو آهنربای غیریکسان (با شدت متفاوت) توجه کنید.

**الف: دو آهنربای هم‌شدت (یکسان):** محور تقارن، خطی است که درست در وسط فاصله دو قطب قرار گرفته و خطوط میدان کاملاً متقارن است.

**ب: دو آهنربای غیرهم‌شدت:** نقطه‌ای که میدان در آن صفر است به آهنربای ضعیف‌تر نزدیک بوده و خطوط میدان آهنربای قوی‌تر، خطوط میدان آهنربای ضعیف‌تر را تحت اثر قرار داده و تعداد (تراکم) خطوط در نزدیکی آهنربای قوی‌تر بیشتر است.

با توجه به توضیحات بالا، خطوط میدان در **گزینه ۲** درست رسم شده است.

توجه دارید که خطوط میدان از قطب N خارج شده و به قطب S وارد می‌شود. **نقطه:** اگر دو آهنربا هم‌شدت باشند، نقطه تغییر جهت (شکست) خطوط خارج شده از N، درست وسط دو آهنربا است.



**ب:** اگر شدت دو آهنربا یکسان نباشد نقطه تغییر جهت (شکست) به آهنربای ضعیف‌تر، نزدیک‌تر است و تعداد (تراکم) خطوط میدان رسم شده در کنار آهنربای قوی‌تر باید بیشتر باشد.

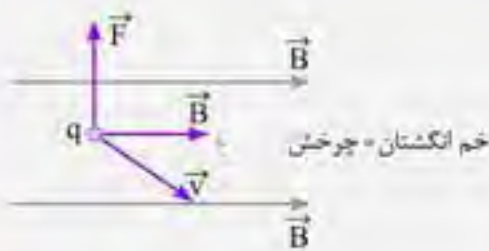
برای مطالعه دقیق‌تر باید نگاهی به فناوری و کاربردهای ذکر شده در کتاب داشته باشید. گزینه‌های «۱»، «۲» و «۴» کاملاً از روی کتاب ذکر شده‌اند.

میدان مغناطیسی حاصل از عضله‌های کوچک در حدود  $10^{-10}$  T (یک میلیونیم میدان مغناطیسی زمین) بوده و میدان مغناطیسی حاصل از عملکرد مغز در حدود  $10^{-12}$  T است.

بردار میدان در هر نقطه بر خطوط میدان مماس و هم‌جهت با آن است. هرچه تراکم خطوط میدان بیشتر باشد اندازه میدان و در نتیجه طول بردار معرف میدان در آن نقطه نیز بزرگتر خواهد بود.

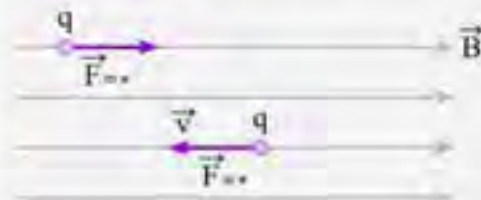
راهبرد ۳

راستا و جهت نیروی وارد به بار متحرک در میدان مغناطیسی را چگونه تعیین کنیم؟ باید از قاعده تجربی دست راست استفاده کنیم. در این قانون توجه کنید که:



۱ خم انگشتان دست راست جهت چرخش  $\vec{v}$  به سمت بردار  $\vec{B}$  را نشان می‌دهد. بعضی از بچه‌ها می‌پرسند خوب  $\vec{v}$  را در هر دو جهت می‌توانیم بچرخانیم تا به  $\vec{B}$  برسد. منظور زاویه کوچک‌تر بین این دو بردار است. در این صورت شست دست راست معرف جهت و امتداد  $\vec{F}$  است.

۲ در مورد بارهای متحرک، چنان‌چه بار منفی باشد، باید جهت تعیین شده توسط قانون خم دست راست را برعکس (قرینه) کنید یا از قانون دست چپ به همین شرح استفاده کنید.

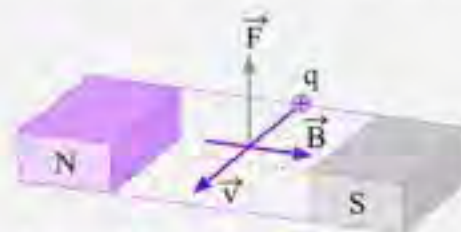


۱ شرط وجود نیروی القایی این است که بردار سرعت بار متحرک، خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند. اگر بردار سرعت بار متحرک با خطوط میدان موازی باشد به آن‌ها نیرویی اثر نخواهد کرد.

۲ زاویه بین  $\vec{v}$  با  $\vec{B}$  هر مقداری می‌تواند باشد ولی  $\vec{F}$  لزوماً بر هر دوی آن‌ها عمود است. به عبارت دیگر، باید بگوییم  $\vec{F}$  بر صفحه حامل  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  عمود است. (می‌توان گفت  $\vec{F}$  بر صفحه‌ای که  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  بر روی آن قرار می‌گیرند عمود است.) روش نمایش بردارها در فضا:

در بحث تعیین نیروی القایی، متوجه شده‌اید که با توجه به این که  $\vec{F}$  بر صفحه  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  عمود است، ناچاریم بردارها را در یک دستگاه ۳ بعدی نمایش دهیم. برای این کار دو روش معمول است:

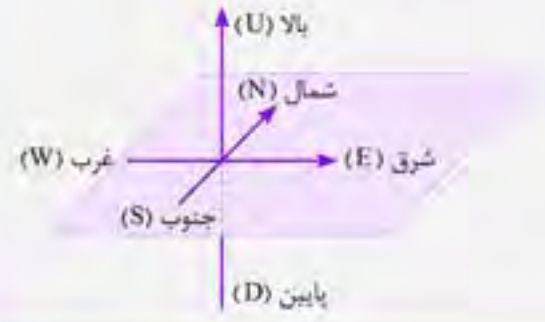
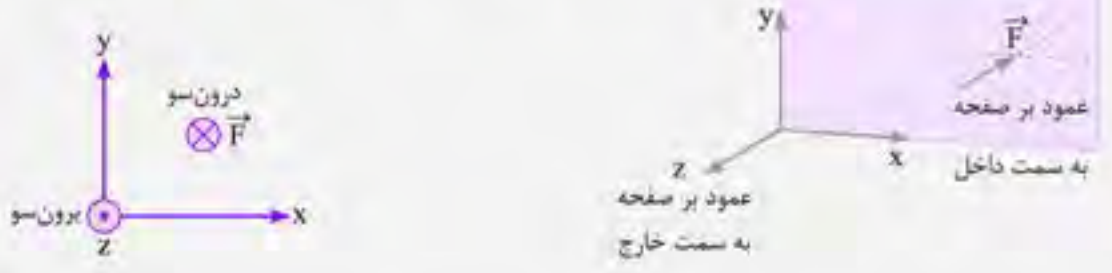
۱ تجسم سه بعدی در صفحه: در این روش دستگاه  $Z, Y, X$  را در صفحه ترسیم و تجسم می‌کنیم (صرفاً تجسم است و گرنه می‌دانیم صفحه دو بعدی است). در این روش بایستی بردارها را همواره با محورهای اصلی مقایسه کرد.



میدان از قطب N به قطب S یعنی در جهت محور X ها و حرکت بار مثبت در امتداد محور Z ها است. در این صورت نیروی القایی به سمت بالا یعنی در جهت محور Y ها است.

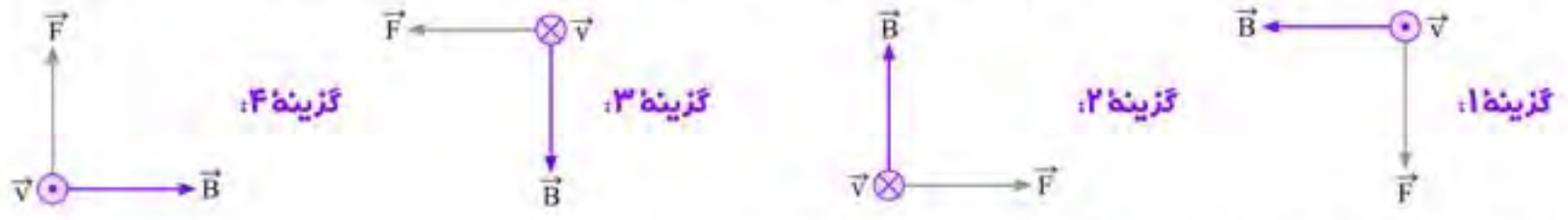


۲ در روش دوم صفحه را دوبعدی در نظر می‌گیریم. در این صورت اگر برداری عمود بر صفحه و به سمت خارج باشد، برون‌سو و با نماد  $\odot$  نمایش داده می‌شود و اگر عمود بر صفحه و به سمت داخل باشد درون‌سو و با نماد  $\otimes$  نمایش داده می‌شود.



۳ در تکمیل این نکته‌ها بد نیست به این موضوع هم اشاره شود که در بعضی از تست‌ها به جهت‌های جغرافیایی اشاره می‌کنند. در چنین مسائلی محورهای عبارت خواهند بود از: (شمال - جنوب) و (شرق - غرب) و این دو با هم صفحه افقی را می‌سازند و (بالا - پایین) که بر صفحه افق عمود است.

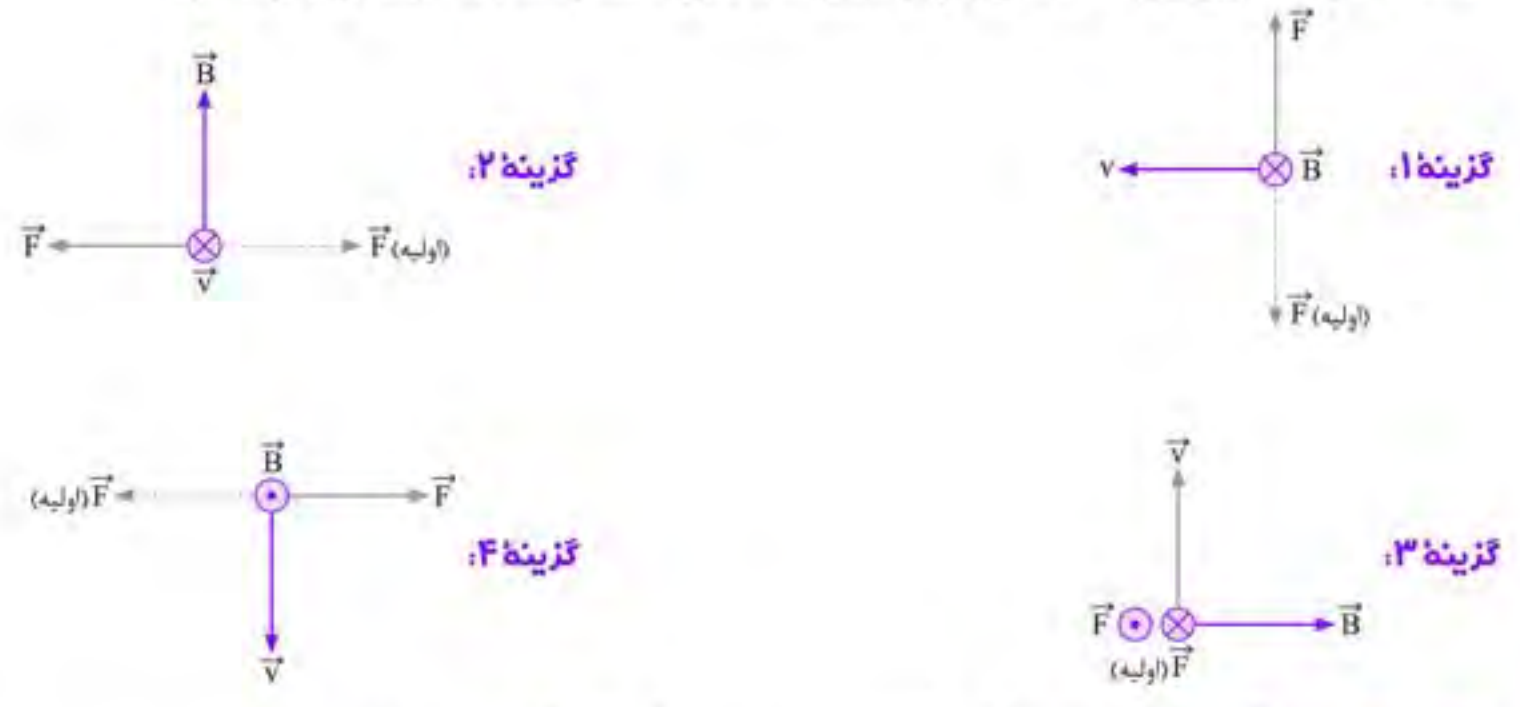
بریم سراغ حل تست: برای تسلط، در هر ۴ گزینه بردار نیرو را رسم می‌کنیم. به عبارتی با توجه به جهت  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  را تعیین می‌کنیم.



با مقایسه با گزینه‌ها، فقط جهت نیرو در **گزینه ۴** درست نمایش داده شده است.

۱۹.  ۱  ۲  ۳  ۴

روش اول: از قاعده خم دست راست استفاده می‌کنیم و می‌بینیم که در کدام گزینه با توجه به جهت  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  و  $\vec{F}$  درست ترسیم شده و حتماً دقت دارید که بار منفی است. یعنی پس از تعیین  $F$  با قانون دست راست باید جهت آن را قرینه کرد.



در **گزینه ۳** جهت  $F$  درست داده شده است. اگر بار مثبت بود، سه گزینه دیگر درست بودند.

روش دوم: حل تست هم به این ترتیب است که چون بار متحرک منفی است، به جای قاعده دست راست از قاعده دست چپ استفاده می‌کنیم. (با همان شرح، یعنی خم انگشتان دست چپ، گردش  $\vec{v}$  به سمت  $\vec{B}$  و شست دست چپ نیروی مغناطیسی را نشان می‌دهد).

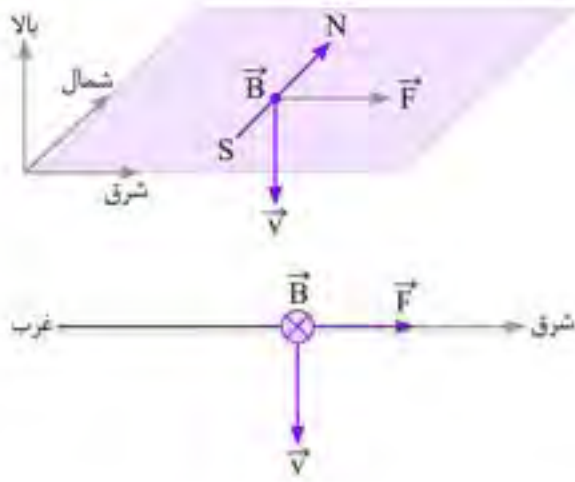
۲۰.  ۱  ۲  ۳  ۴

حتماً درس‌نامه را خوب خوانده‌اید ولی تکرار دوباره آن بی‌ضرر است!

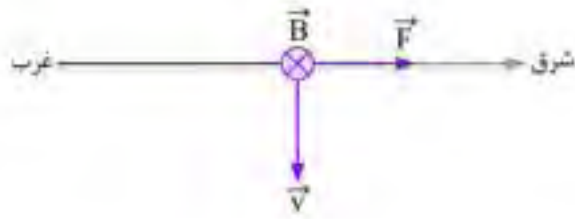
اگر به ذره باردار متحرکی یا سیم حامل جریانی در یک میدان مغناطیسی نیرویی اثر کند، این نیرو حتماً بر سرعت و میدان عمود است. ولی سرعت و میدان هر زاویه‌ای می‌توانند با هم بسازند.



**روش اول:** با توجه به قاعده دست راست و شکل مقابل نیروی وارد به بار مثبت به سمت شرق است.

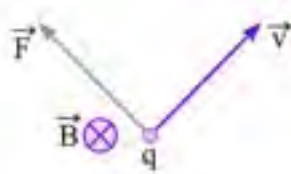


**روش دوم:**



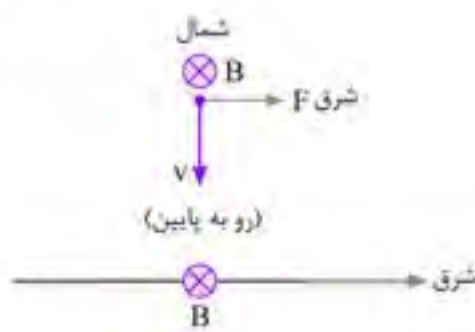
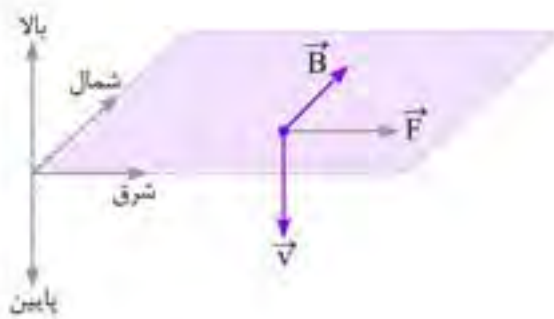
جرم ذره ناچیز است، پس نیروی وزن به این ذره اثر نمی‌کند ( $W = 0$ ). در حالت سکون نیروی مغناطیسی هم به ذره اثر نمی‌کند. ( $V = 0 \Rightarrow F = 0$ )

چون در مسئله ذکر شده در این حالت هیچ نیرویی به ذره اثر نمی‌کند، نباید در فضا میدان الکتریکی داشته باشیم ( $E = 0$ ).



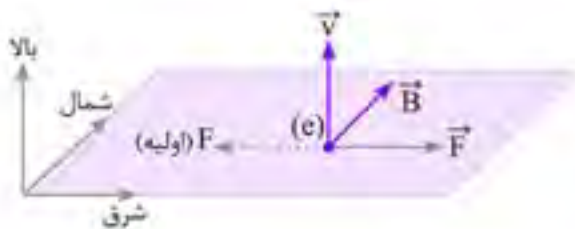
پس از حرکت ذره، به آن نیرویی به سمت چپ روی صفحه (xoy) اثر کرده، که حاصل وجود یک میدان مغناطیسی است. این میدان حتماً بر نیرو عمود است پس یا درون سو است یا برون سو. چون بار مثبت و انحراف به سمت چپ است (مثلاً در شکل مقابل)، با توجه به قاعده دست راست، میدان باید درون سو باشد.

می‌دانیم میدان مغناطیسی زمین رو به شمال و در استوا افقی است.

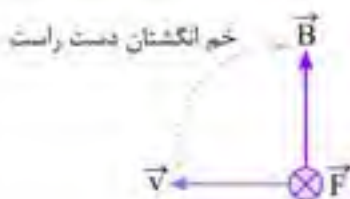


با توجه به قاعده دست راست نیروی وارد به بار مثبت به سمت شرق است.

توجه کنید که بار منفی است و پس از تعیین جهت اولیه  $F$ ، باید آن را قرینه کنیم.



طبق قاعده دست راست جهت نیرو درون سو است، یعنی عمود بر صفحه به سمت داخل.

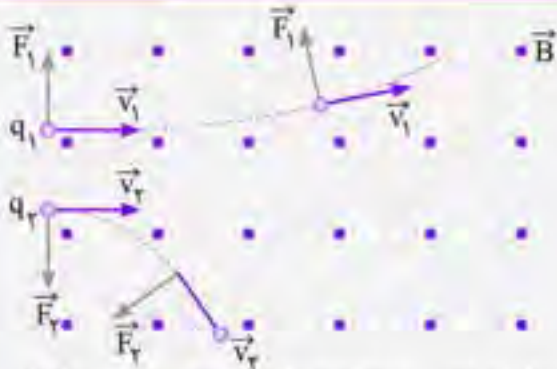


طبق رابطه  $F = |q|vB\sin\theta$  چون بار به موازات میدان حرکت می‌کند ( $\theta = 180^\circ = \pi$ ) نیرویی به بار وارد نمی‌شود.

برای این که به بار متحرک، از طرف میدان نیرویی وارد شود، باید بار متحرک خطوط میدان را قطع کند (نباید با آن موازی حرکت کند). هم‌چنین با توجه به فرمول نیرو می‌توانستید بگویید ( $F = |q|vB\sin\theta$ ) اگر  $\theta = 0^\circ$  یا  $\theta = \pi$  باشد  $\sin\theta = 0$  بوده و نیرویی به بار اثر نمی‌کند.



راهنمای ۴



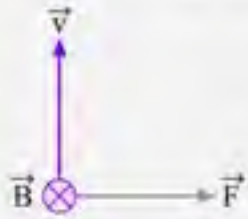
- مسیر انحراف بار متحرک در میدان مغناطیسی:
- اگر بار متحرک خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند، مسیر حرکت آن حتماً قسمتی منحنی از یک منحنی (دایره) خواهد بود.
  - در هر نقطه، بردار مماس بر مسیر، بردار سرعت در آن نقطه را نشان می‌دهد.
  - در هر نقطه، بردار عمود بر مسیر به سمت داخل قوس (منحنی مسیر)، بردار نیرو یا شتاب را در آن نقطه نشان می‌دهد.

۴ با توجه به قاعده دست راست برای  $(\vec{B}$  و  $\vec{v}$ )، چنانچه نیرویی که به دست می‌آید با نیروی رسم شده (یعنی به سمت داخل منحنی مسیر) یکی باشد، بار مثبت و اگر برخلاف آن باشد، بار منفی است. در شکل بالا بار  $q_1$  منفی و بار  $q_2$  مثبت است.

۵ هرچه شعاع انحنای مسیر کمتر (کوچکتر) باشد، اثر نیرو (که از نظر ما شتاب حاصل از نیرو است) یعنی  $\frac{F}{m}$  وارد به آن ذره بیشتر است. پس دقت کنید شعاع انحنای مسیر، اثر نیرو را نشان

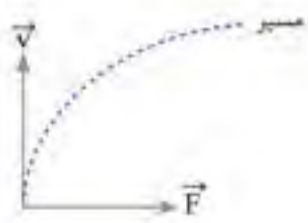
می‌دهد و نه خود نیرو. در مورد شکل بالا داریم:

$$R_2 < R_1 \Rightarrow \frac{F_2}{m_2} > \frac{F_1}{m_1}$$

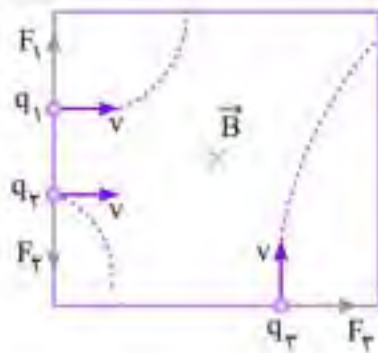


با توجه به راهنمای مطالعه شده داریم:

- با توجه به جهت  $\vec{B}$  و  $\vec{F}$ ، بردار سرعت را به دست می‌آوریم. توجه کنید چون بار منفی است،  $\vec{v}$  به سمت بالا است. (با قانون دست راست  $\vec{v}$  به سمت پایین به دست می‌آید).
- مسیر انحراف را  $\vec{v}$  و  $\vec{F}$  تعیین می‌کند ( $\vec{F}$  باید به سمت داخل منحنی انحراف و  $\vec{v}$  بر آن مماس باشد).



- با توجه به قاعده دست راست،  $q_1$  بار مثبت،  $q_2$  و  $q_3$  بارهای منفی هستند (چون جهت انحراف آن‌ها، خلاف جهت نیرویی است که از قاعده دست راست به دست می‌آید).

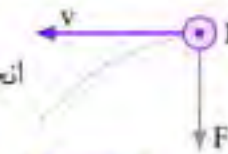


۲ هرچه شعاع انحنای مسیر کوچکتر باشد اثر نیرو  $(\frac{F}{m})$  بزرگتر است. با توجه به یکسان بودن  $v$ ،  $B$  و  $\sin\theta$  داریم:

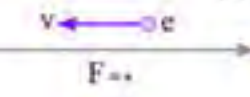
$$\left\{ \begin{aligned} F &= |q| v B \sin\theta \\ \frac{F_2}{m_2} &> \frac{F_1}{m_1} > \frac{F_3}{m_3} \Rightarrow \frac{|q_2|}{m_2} > \frac{|q_1|}{m_1} > \frac{|q_3|}{m_3} \end{aligned} \right.$$

توجه کنید که بار الکترون منفی است و پس از این که نیروی وارد بر بار را از قاعده دست راست تعیین کردید، باید آن را وارون کنید.

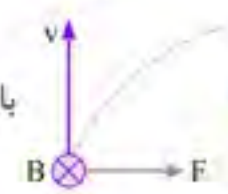
گزینه ۱: انحراف باید به سمت پایین باشد. (درست است).



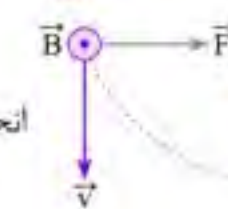
گزینه ۲: چون بار در امتداد خطوط میدان حرکت کرده به آن نیرویی اثر نمی‌کند و منحرف نمی‌شود.



گزینه ۳: باید به سمت راست منحرف شود. (گزینه نادرست است).

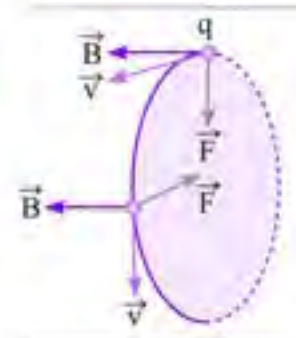


گزینه ۴: انحراف باید به سمت راست باشد. (گزینه درست است).





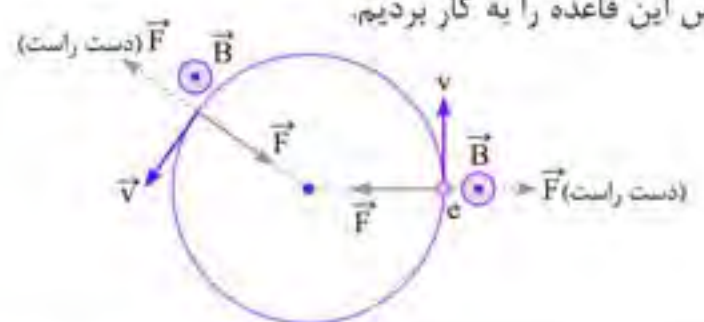
۱ ۲ ۳ ۴ ۳۱



همان‌طور که گفتیم نیروی مغناطیسی وارد به بار متحرک همواره به سمت داخل قوس (مسیر) انحراف است و سرعت مماس بر مسیر. با استفاده از قاعده دست راست برای چند نقطه دلخواه جهت B را تعیین کرده‌ایم. همان‌طور که دیده می‌شود برای همه این نقاط  $\vec{B}$  به سمت چپ است.

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۲

نیروی مغناطیسی وارد به ذره به سمت داخل قوس مسیر و سرعت مماس بر قوس مسیر است. با توجه به این که نیرو برای بار منفی رسم شده و می‌خواهیم از قاعده دست راست استفاده کنیم، جهت نیرو را برعکس کرده سپس این قاعده را به کار بردیم.



در ضمن باید دقت کرد هم‌چنان‌که در شکل دیده می‌شود، این نیرو در نقاط مختلف مسیر جهت متفاوتی دارد. میدان الکتریکی یکنواخت حتماً نیرویی با جهت ثابت وارد می‌کند. به همین دلیل میدان حتماً مغناطیسی بوده است.

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۳

با توجه به فرمول نیروی وارد بر بار متحرک از سوی میدان داریم:

$$F = |q| v B \sin \theta = 1/6 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^6 \times 0.1 \times \frac{1}{2} = 4 \times 10^{-15} \text{ N}$$

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۴

$$F = qvB \sin \theta = 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^6 \times 34 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 34 \times 1/6 \times 10^{-16} \text{ N}$$

چون می‌خواهیم شتاب را حساب کنیم، لازم نیست ضرب‌های عددی مربوط به محاسبه نیرو را تا آخر انجام دهیم به امید ساده‌شدن!

$$a = \frac{F}{m} = \frac{34 \times 1/6 \times 10^{-16}}{1/7 \times 10^{-27}} = 3/2 \times 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۵

در این تست نیروی وارد بر بار تنها به دلیل تغییر زاویه حرکت، تغییر کرده است.

$$F = |q| v B \sin \theta \xrightarrow{\text{ثابت } B, v, q} \frac{F_2}{F_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{1/2}{\sqrt{3}/2} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۶

$$F = |q| v B \sin \theta \Rightarrow (\theta = \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow F_{\max})$$

پیش از این هم اشاره کردیم که اگر زاویه بین سرعت و خطوط میدان برابر  $\frac{\pi}{2}$  باشد، با حفظ پارامترهای دیگر، نیرو بیشینه خواهد شد و اگر بار موازی خطوط میدان حرکت کند (هم‌جهت یا خلاف جهت) نیرو صفر خواهد بود.

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۷

ذره آلفا ( $\alpha$ ) هسته هلیوم است که دو بار مثبت دارد ( ${}^4\text{He}^{++}$ ).

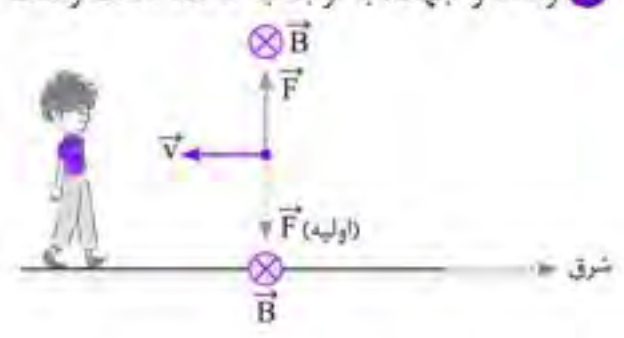
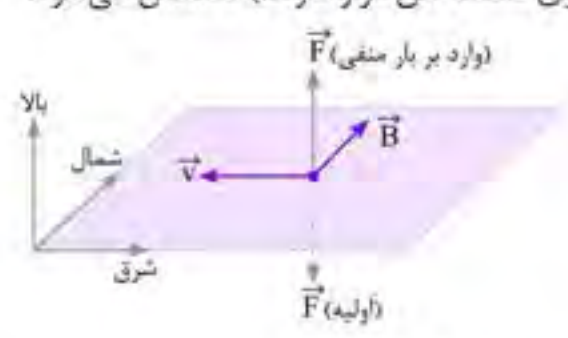
$$F = |q| v B \sin \theta = (2 \times 1/6 \times 10^{-19}) \times 4 \times 10^5 \times \frac{1}{2} \times 1 = 6/4 \times 10^{-14} \text{ N}$$

۱ ۲ ۳ ۴ ۳۸

$$F = |q| v B \sin \theta = 50 \times 10^{-6} \times 200 \times 0.4 \times 1 = 4 \times 10^{-4} \text{ N}$$

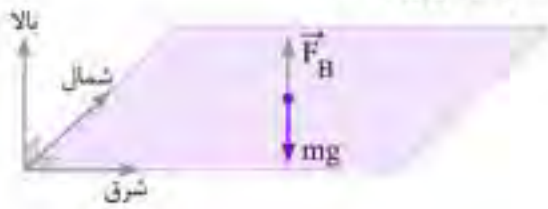
۱ اندازه نیرو برابر است با؛

۲ راستا و جهت، با توجه به قاعده دست راست (با یادآوری این نکته که جهت‌های جغرافیایی روی صفحه افق قرار دارند)، مشخص می‌شود.



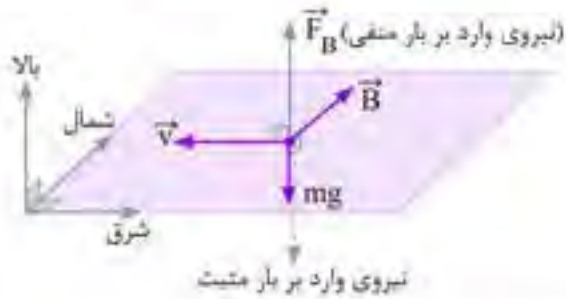
جهت اولیه تعیین شده با دست راست به سمت پایین است ولی چون علامت بار منفی است، نیرو به سمت بالا به آن اثر می‌کند.

در این مسئله می‌خواهیم نیروی مغناطیسی اثر وزن را خنثی کند. در حالت حدی فرض می‌کنیم میدان عمود بر مسیر حرکت ذره است تا حداقل اندازه ممکن میدان را تعیین کنیم. مطابق شکل، نیروی مغناطیسی باید به سمت بالا و هم‌اندازه با وزن باشد.



$$|\vec{mg}| = |\vec{F}_B| = 0.2 \times 10^{-2} \times 10 = 2 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$F_B = |q|vB\sin\theta \Rightarrow 2 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-6} \times 200 \times B \times 1 \Rightarrow B = 0.25 \text{ T}$$



برای تعیین جهت میدان، از قاعده دست راست استفاده می‌کنیم. با این توضیح که چون بار منفی است باید فرض کنیم نیروی مغناطیسی به سمت پایین به بار مثبت اثر می‌کند. با این توضیحات جهت میدان مغناطیسی به سمت شمال خواهد شد.

با توجه به فرمول نیروی وارد بر بار متحرک از سوی میدان مغناطیسی داریم:

$$F = |q|vB\sin\theta = 50 \times 10^{-6} \times 10^3 \times 4 \times 10^{-2} \times 1 = 2 \times 10^{-4} \text{ N} \quad (m = 500 \text{ mg} = 500 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg})$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2 \times 10^{-4}}{500 \times 10^{-3} \times 10^{-3}} = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

با توجه به فرمول نیروی وارد از طرف میدان به بار متحرک داریم:

$$|\vec{F}| = |q|vB\sin\theta = 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^6 \times 0.5 \times \frac{1}{4} = 8 \times 10^{-15} \text{ N}$$

با توجه به فرمول نیروی وارد بر بار متحرک از سوی میدان مغناطیسی داریم:

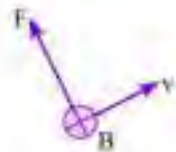
$$|\vec{F}| = |q|vB\sin\theta = 1/6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-3} \times \frac{1}{4} = 1/6 \times 10^{-14} \text{ N}$$

طبق رابطه  $F = |q|vB\sin\theta$  اندازه نیروی مغناطیسی وارد به دو ذره یکسان است. توجه دارید که اندازه بار الکترون و پروتون باهم برابر بوده و فقط علامت بارشان فرق می‌کند. (گزینه ۱ درست)، چون جرم پروتون بیشتر است انحراف آن کمتر خواهد بود (گزینه ۲ نادرست). بار الکترون منفی و بار پروتون مثبت و در نتیجه جهت نیروی القایی وارد بر آن‌ها در دو سوی متفاوت است (گزینه ۳ نادرست).

دقت کنید که با توجه به شکل، سرعت بار عمود بر میدان مغناطیسی است (زاویه بین بردار سرعت و بردار میدان  $90^\circ$  است) و از رابطه

$$F = |q|vB\sin\theta \xrightarrow{\theta=90^\circ, B=1.0 \times 10^{-2} = 10^{-2} \text{ T}} F = 2.0 \times 10^{-2} \times 10^3 \times 10^{-2} \Rightarrow F = 0.2 \text{ N}$$

نیروی مغناطیسی وارد بر بار متحرک داریم:



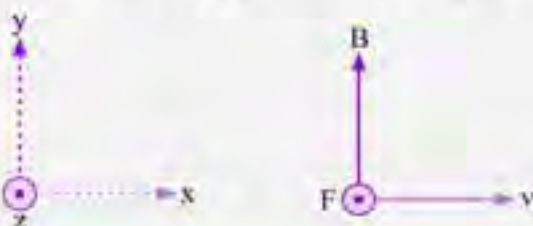
با توجه به قاعده دست راست، جهت نیروی وارد بر بار را به دست آورده و در شکل نشان داده‌ایم.

راهبرد ۵

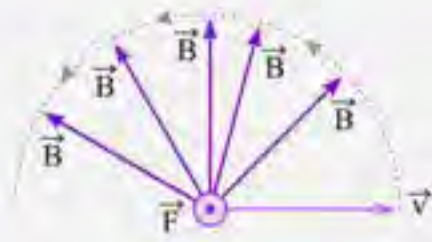
(کمی تأمل)

حالا وقت آن رسیده است که به یک موضوع بسیار مهم و فنی و حرفه‌ای اشاره کنیم. اگر با استفاده از قاعده دست راست جهت نیروی وارد به بار متحرک یا سیم حامل جریان را تعیین کنیم، جواب یکتا است، یعنی همان یک جواب را داریم (اگر  $\vec{v}$  و  $\vec{B}$  معلوم باشند فقط یک راستا و جهت برای  $\vec{F}$  وجود دارد). ولی اگر  $\vec{F}$  و  $\vec{B}$  معلوم باشند و از روی آن‌ها  $\vec{v}$  را تعیین کنیم، یا  $\vec{F}$  و  $\vec{v}$  معلوم باشند و  $\vec{B}$  را تعیین کنیم، مسئله بی‌نهایت جواب دارد! شاید باورش مشکل باشد.

اول مثالی را حل کنیم و بعد نتیجه‌گیری کنیم. مطابق شکل بار مثبتی در حال حرکت است و نیروی وارد بر آن برون‌سو است. جهت میدان مغناطیسی را به دست آورید.



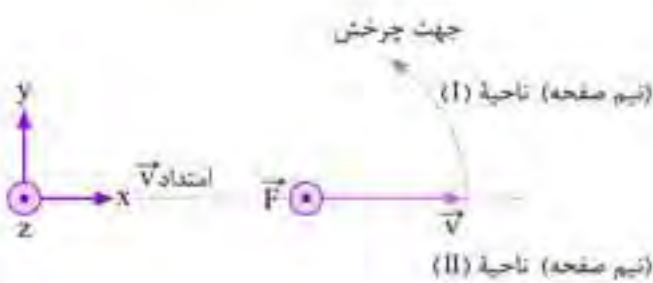




با استفاده از قاعده خم دست راست  $\vec{B}$  را تعیین کنید. خیلی‌ها می‌گویند  $B$  در جهت محور  $y$ ‌ها باید باشد تا  $F$  برون‌سو شود. این گروه از دانش‌آموزان اشتباه نکرده‌اند ولی این تنها جواب مسئله نیست. یادتان باشد خم انگشتان دست راست جهت چرخش  $v$  به سمت  $B$  بود. هر برداری برای  $B$  تصور کنید که در این جهت چرخش (مقصد این چرخش) باشد یک جواب مسئله است. یعنی ابتدا باید جهت چرخش را تعیین کنیم. تمام بردارهایی که در این جهت باشند یک جواب مسئله هستند.

- اگر خوب دقت کنید تمام این جواب‌ها در یک نیم‌صفحه واقع شده‌اند که عمود بر  $\vec{F}$  است. پس مسئله را باید چگونه حل کرد؟
- با توجه به جهت داده شده برای  $\vec{v}$  و  $\vec{F}$  (یا  $\vec{B}$  و  $\vec{F}$ ) قاعده دست راست را به کار برده و جهت خم انگشتان دست راست را به گونه‌ای تعیین کنید که شست در امتداد و جهت  $\vec{F}$  باشد.
  - در یک نیم‌صفحه که عمود بر  $\vec{F}$  است هر برداری که در جهت چرخش خم انگشتان قرار گیرد یک پاسخ قابل قبول است. این نیم‌صفحه توسط امتداد بردار  $\vec{v}$  (یا  $\vec{B}$ ) تعیین می‌شود.

حالا بیایید یک بار دیگر مسئله را گام به گام حل کنیم.



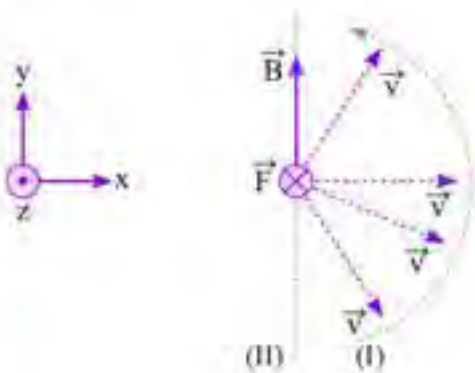
- چون  $F$  در امتداد محور  $Z$ ‌هاست و  $v$  و  $B$  باید روی صفحه  $xoy$  باشند.
- امتداد  $v$  این صفحه را به دو قسمت تقسیم می‌کند. ناحیه (I) و (II).
- برای این که تمام پاسخ‌های قابل قبول  $B$  تعیین شوند، از قانون دست راست استفاده می‌کنیم. اگر بخواهیم نیرو برون‌سو باشد جهت چرخش باید از  $v$  شروع شده و پادساعتگرد باشد.

(IV) پس تمام بردارهای واقع در نیم صفحه I یک جواب برای  $B$  هستند.

شاید بهتر بود به جای عبارت به کار رفته در **گزینه ۴**، طراح محترم می‌نوشت، بیش از یک جهت برای  $B$  می‌توان یافت. به هر حال ما قادریم تمام بردارهای صحیح  $\vec{B}$  را تعیین کنیم.

۴۶.

با توجه به درس‌نامه و بر اساس روش آموزش داده‌شده عمل می‌کنیم. (فقط چون بار منفی است از دست چپ استفاده کرده‌ایم)



- چون  $F$  در امتداد محور  $Z$ ‌ها است،  $\vec{B}$  و  $\vec{v}$  روی صفحه  $xoy$  قرار دارند.
- $\vec{B}$  را امتداد می‌دهیم تا صفحه را به دو ناحیه (I) و (II) تقسیم کند.
- $\vec{B}$  باید مقصد گردش انگشتان دست چپ باشد، پس نیم صفحه I، ناحیه جواب است.

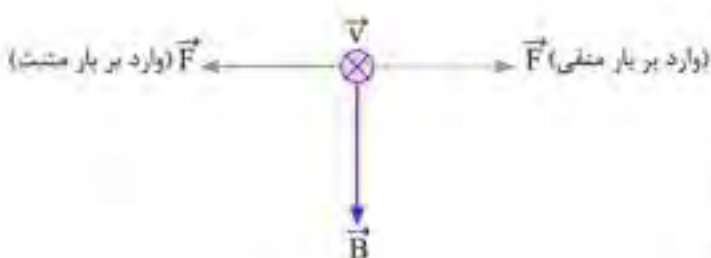
هر  $v$  که در این ناحیه قرار گیرد، جوابی قابل قبول است.

پس هم **گزینه ۲** و هم **گزینه ۳** می‌توانند یک جواب قابل قبول تست باشند (دقت کنید که **گزینه ۱** قابل قبول نیست چون  $\vec{v}$  در ناحیه (II) قرار دارد).

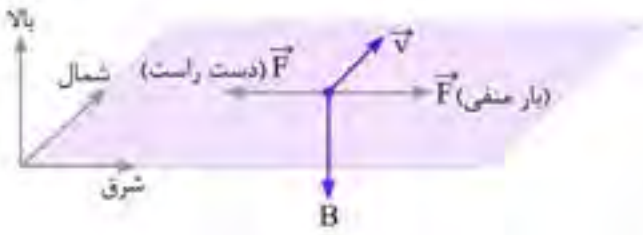
۴۷.

مثل چند تست قبلی چون می‌خواهیم جهت قابل قبول  $B$  را تعیین کنیم، باید مسئله را در چند مرحله حل کنیم و انتظار داریم که بی‌نهایت جواب برای  $B$  به دست آوریم. ولی بیایید به مسئله نگاه دقیق‌تری بکنیم. می‌دانیم که  $\vec{F}$  باید هم بر  $\vec{v}$  و هم بر  $\vec{B}$  عمود باشد، پس در نتیجه **گزینه ۴ و ۲** بلافاصله حذف می‌شوند. تنها می‌ماند **گزینه ۱** و **گزینه ۳**، چون بار منفی است و سرعت درون‌سو است، اگر  $B$  به سمت بالا باشد نیروی اولیه به سمت راست خواهد شد که باید آن را قرینه کنیم.

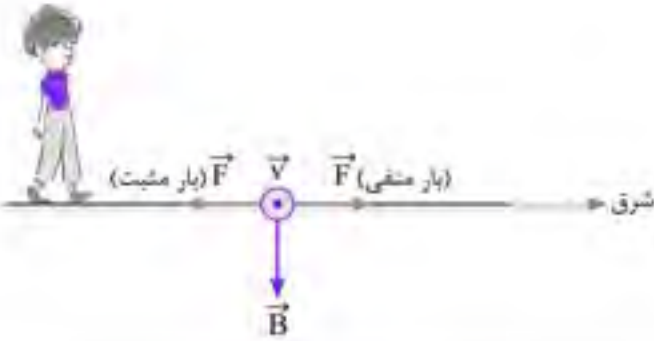
پس فقط می‌ماند **گزینه ۳** که پاسخ درست است. یعنی بین بی‌نهایت جواب قابل قبول فقط یکی از آن‌ها در گزینه‌ها است.



سؤال کنکور هم می‌تواند غلط یا ناقص باشد! حتماً از حل تست‌های قبلی به این نتیجه رسیده‌اید که وقتی  $\vec{F}$  و  $\vec{v}$  معلوم باشند، برای  $\vec{B}$  بی‌نهایت جواب قابل قبول داریم.



برای این که چنین مسائلی تنها یک جواب داشته باشند، باید در صورت سؤال قید شود «چنانچه میدان مغناطیسی حداقل باشد جهت آن کدام است؟» در این شرایط  $\vec{B}$  باید حتماً بر  $\vec{v}$  عمود باشد و در این شرایط فقط یک جواب داریم. حالا با همین فرض مسئله را حل می‌کنیم (توجه داریم که بار هم منفی است). از روی شکل مشخص است که  $B$  باید به سمت پایین باشد. (اگر نیروی وارد بر الکترون به سمت مشرق باشد، نیروی وارد به بار مثبت به سمت غرب است و شما قاعده دست راست را باید برای بار مثبت به کار ببرید.) راه دیگر تجسم میدان به شکل مقابل است.



۱ می‌دانیم امتداد حرکت در هر لحظه همان امتداد و جهت سرعت است.

۲ می‌دانیم نیروی مغناطیسی بر سرعت عمود و در نتیجه در هر لحظه بر جابه‌جایی عمود است.

۳ با توجه به فرمول کار  $W = Fd \cos \theta$  چون زاویه نیرو و جابه‌جایی در هر لحظه  $\frac{\pi}{2}$  و  $\cos \frac{\pi}{2} = 0$  است، کار این نیرو صفر است.

بد نیست این‌جا اشاره کنیم طبق رابطه کار و انرژی به دلیل این که کار کل صفر است (چون در صورت سؤال قید شده که بار تنها تحت تأثیر نیروی مغناطیسی است)، اندازه سرعت تغییر نمی‌کند، پس به خاطر داشته باشید: اگر بار متحرکی فقط تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار داشته باشد، اندازه سرعتش تغییر نمی‌کند.

راهبرد ۶

نگاهی دقیق‌تر به نیروی مغناطیسی:

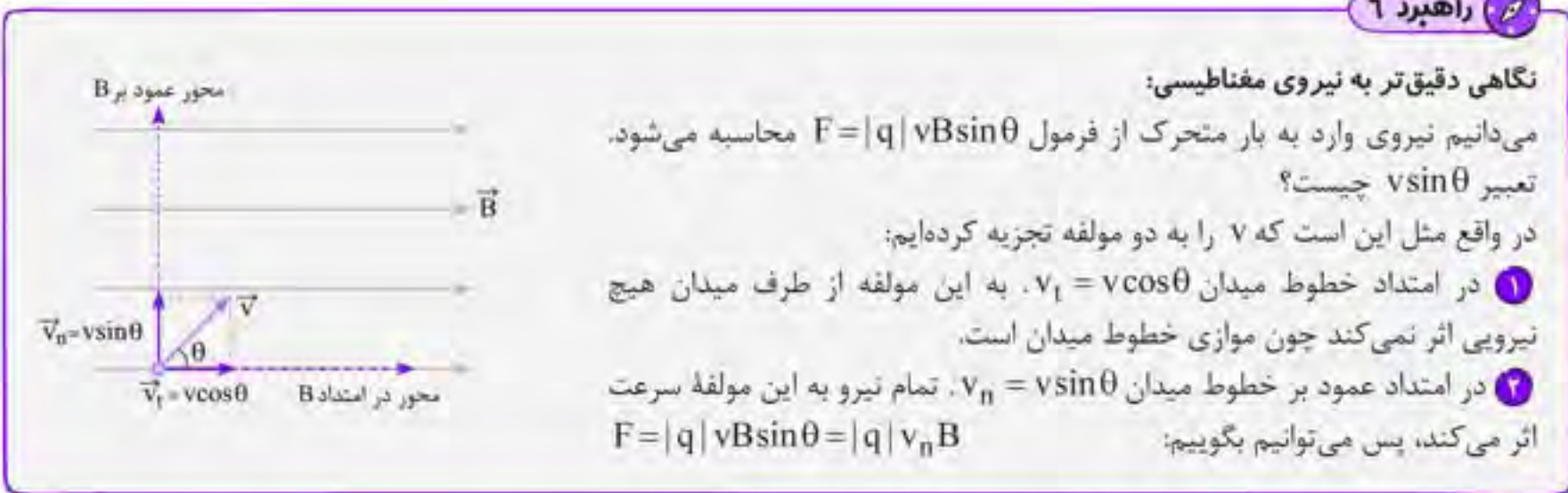
می‌دانیم نیروی وارد به بار متحرک از فرمول  $F = |q| v B \sin \theta$  محاسبه می‌شود. تعبیر  $v \sin \theta$  چیست؟

در واقع مثل این است که  $v$  را به دو مولفه تجزیه کرده‌ایم:

۱ در امتداد خطوط میدان  $v_{\parallel} = v \cos \theta$ . به این مولفه از طرف میدان هیچ نیرویی اثر نمی‌کند چون موازی خطوط میدان است.

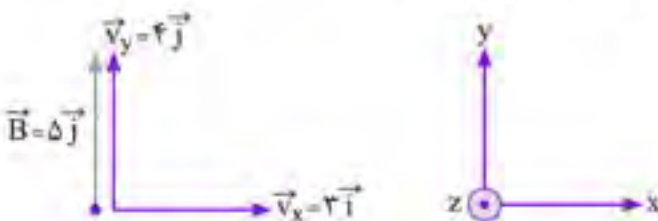
۲ در امتداد عمود بر خطوط میدان  $v_{\perp} = v \sin \theta$ . تمام نیرو به این مولفه سرعت اثر می‌کند، پس می‌توانیم بگوییم:

$$F = |q| v B \sin \theta = |q| v_{\perp} B$$



یکی از کاربردهای مهم چنین تفسیری را در حل این تست خواهید دید.

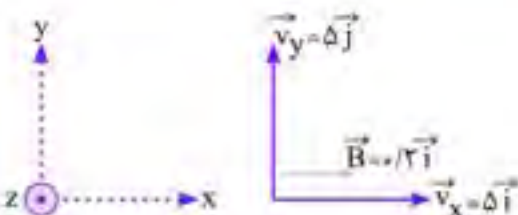
لازم نیست بردار سرعت را به دست آورید آن را به صورت مولفه‌های سازنده‌اش رسم کنید و میدان مغناطیسی را هم نمایش دهید. چون  $\vec{v}_y$  در امتداد  $\vec{B}$  است به این مولفه نیرویی اثر نمی‌کند و تمام نیرو به مولفه  $\vec{v}_x$  اثر می‌کند که بر  $\vec{B}$  عمود است.



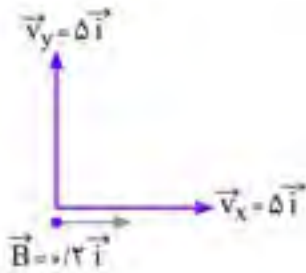
$$F = |q| v B \sin \theta = 0.5 \times 10^{-3} \times 3 \times 5 \times 1 = 7.5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

و با توجه به قاعده دست راست این نیرو برون‌سو یعنی در جهت محور  $z$ ‌ها است.

بردار سرعت (به صورت مولفه‌های سازنده‌اش) و میدان را رسم کنید.



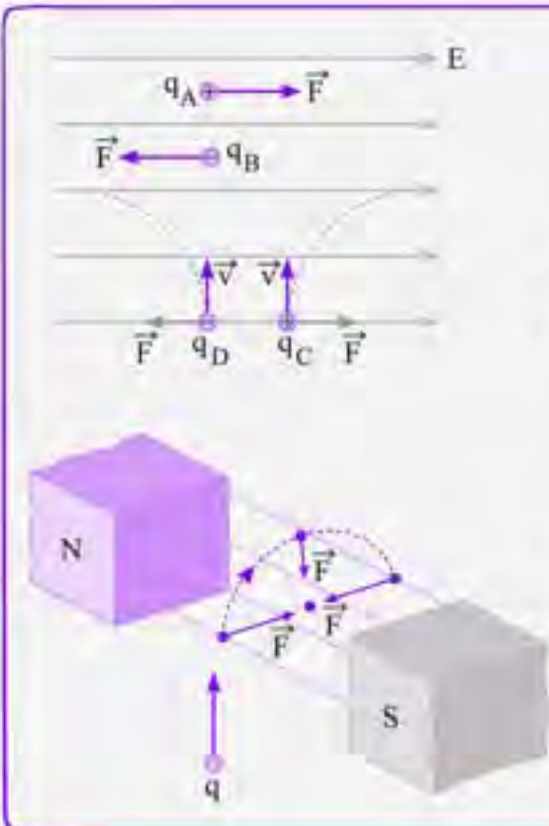
میدان به مولفه  $\vec{v}_x$  که با آن هم‌امتداد است نیرویی وارد نمی‌کند و نیرو به مولفه  $\vec{v}_y$  اثر می‌نماید.



$$F = |q| v B \sin \theta = 10^{-5} \times 5 \times 0.2 = 10^{-5} \text{ N}$$

با توجه به قاعده دست راست، نیرو درون سو شده اما چون بار منفی است باید جهت آن را برعکس کنیم. پس نیرو در جهت محور Z ها است.

راهنمای ۷



مقایسه نیروی وارد بر ذره باردار در میدان الکتریکی و مغناطیسی یکنواخت:

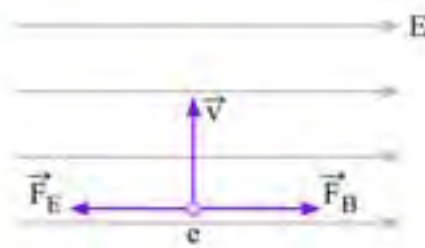
میدان الکتریکی:

به ذرات باردار در میدان الکتریکی، نیرو در امتداد میدان اثر می‌کند. اگر بار مثبت باشد، در جهت میدان و اگر منفی باشد نیرو خلاف جهت میدان اثر خواهد کرد. ذرات باردار ساکن وقتی رها شوند در امتداد خطوط میدان حرکت خواهند کرد و اگر حرکت کنند مسیر آن‌ها به گونه‌ای است که تمایل دارند کم‌کم در امتداد خطوط میدان قرار گیرند.

میدان مغناطیسی:

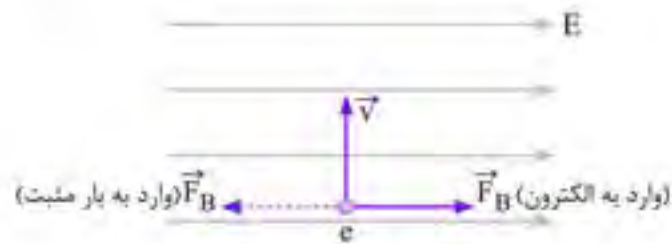
میدان مغناطیسی به ذرات باردار ساکن هیچ نیرویی وارد نمی‌کند. اگر بار متحرکی خطوط میدان را قطع کند، نیروی وارد به ذرات باردار متحرک هم بر میدان مغناطیسی و هم بر سرعت ذره عمود است. در این صورت مسیر حرکت ذره قسمتی از یک منحنی خواهد بود.

پس از این مقدمه برویم سراغ حل مسئله:

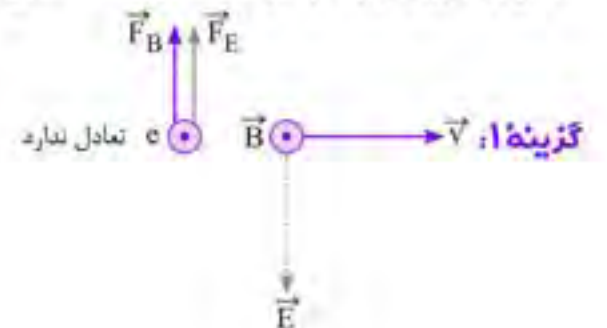
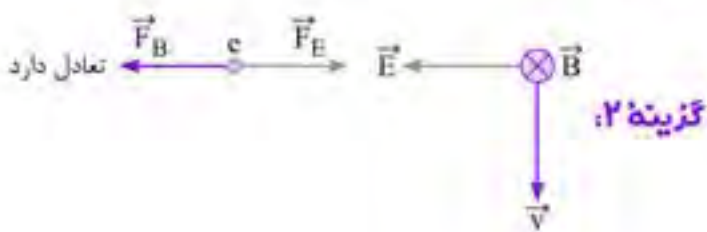


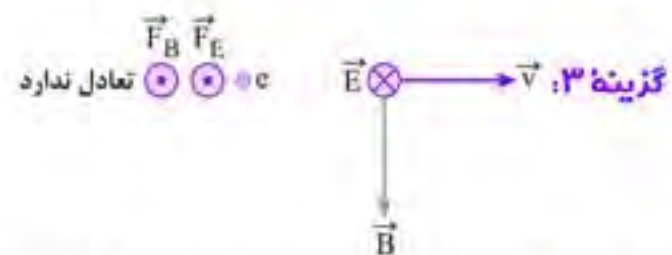
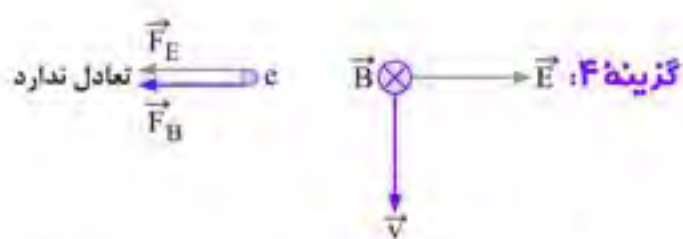
به الکترون از طرف میدان الکتریکی نیرویی در خلاف جهت میدان اثر می‌کند ( $F_E$ ). برای این که ذره منحرف نشود باید نیروی میدان مغناطیسی اثر  $F_E$  را خنثی کند (در خلاف جهت  $F_E$  باشد). باز هم دقت دارید چون  $F_B$  نیروی وارد بر بار منفی است و می‌خواهیم از قانون دست راست استفاده کنیم، آن را وارون می‌کنیم.

و با توجه به قانون خم دست راست جهت میدان مغناطیسی عمود بر صفحه و درون سو خواهد است.



تمام گزینه‌ها را نقد و بررسی می‌کنیم. (دقت هم داریم که باز هم با بار منفی طرفیم، نیروی وارد از طرف میدان الکتریکی خلاف جهت میدان و نیروی وارد از طرف میدان مغناطیسی، قرینه جواب مربوط به قانون خم دست راست است.)





البته می‌توانستیم از قاعده دست راست استفاده کنیم. اگر خم انگشتان چرخش  $\vec{E}$  به سمت  $\vec{B}$  را نشان دهد، شست نشان‌دهنده  $\vec{v}$  است، که تنها در **گزینه ۲** صدق می‌کند.

۵۴.  ۱  ۲  ۳  ۴

در این تست به درک عمیق‌تری از اثر هم‌زمان میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی می‌رسیم. در حالتی که میدان مغناطیسی اثر میدان الکتریکی را خنثی می‌کند داریم:

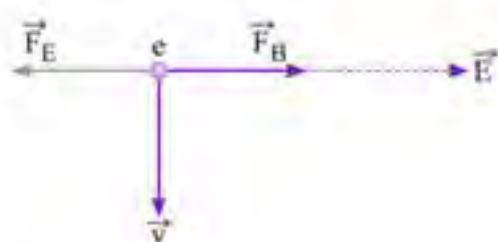
- ۱ نیروی مغناطیسی عمود بر جهت حرکت بار است.
- ۲ نیروی الکتریکی چون نیروی مغناطیسی را خنثی می‌کند باید با آن در یک امتداد بوده و تنها قرینه آن باشد.
- ۳ نیروی الکتریکی در امتداد میدان الکتریکی است.
- ۴ از (۱)، (۲) و (۳) نتیجه می‌گیریم در این حالت باید میدان الکتریکی ( $\vec{E}$ ) بر حرکت ذره عمود باشد.

همان‌طور که قبلاً دیدیم اگر نیروی مغناطیسی و سرعت ذره معلوم باشند، بی‌نهایت جواب ممکن برای  $\vec{B}$  می‌توان به دست آورد که همگی در یک نیم‌صفحه قرار دارند که بر  $\vec{F}$  عمود است. در این حالت نمی‌توان  $B$  را به صورت یکه (یک جواب) معین کرد، تنها چنان‌چه در صورت مسئله قید شود که  $\vec{B}$  حداقل بوده، در این شرایط  $\vec{B}$  حتماً بر  $\vec{E}$  عمود است، و یک جواب خواهیم داشت. با توجه به نکته‌ای که به شما آموزش داده‌ایم می‌توانیم به سادگی جهت  $\vec{E}$  را تعیین کنید (قاعده دست راست) شست در جهت  $\vec{v}$  (یعنی غرب) و خم انگشتان در جهت چرخش  $\vec{E}$  به سمت  $\vec{B}$ ! چون به سمت پایین است باید  $\vec{E}$  به سمت شمال باشد.

۵۵.  ۱  ۲  ۳  ۴

۱ با توجه به ناچیز بودن وزن ذره باید میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی اثر همدیگر را خنثی کنند.

$$F_E = F_B \Rightarrow qE = qvB \sin \theta \Rightarrow B = \frac{E}{v}$$



۲ نیروی وارد به الکترون خلاف جهت میدان الکتریکی است (چون بار منفی است).

با توجه به جهت  $\vec{F}_B$  و  $\vec{v}$  و قاعده دست راست (باز هم توجه کنید که بار منفی است) جهت میدان مغناطیسی برون‌سو خواهد بود.

۵۶.  ۱  ۲  ۳  ۴

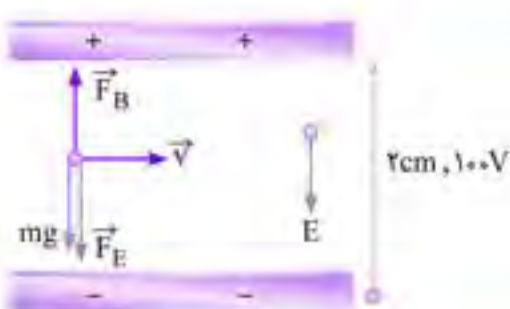
باید نیروی الکتریکی و مغناطیسی همدیگر را خنثی کنند ( $q$  از دو طرف تساوی حذف می‌شود).

$$\vec{F}_B + \vec{F}_E = 0 \Rightarrow |F_B| = |F_E| \Rightarrow qvB \sin \theta = qE \Rightarrow E = vB \sin \theta \Rightarrow E = 500 \times 100 \times 10^{-4} = 5 \frac{N}{C} \left( \frac{V}{m} \right)$$

با توجه به نکته‌ای که به شما آموزش داده‌ایم می‌توانید به سادگی جهت  $\vec{E}$  را تعیین کنید. (قاعده دست راست)

۵۷.  ۱  ۲  ۳  ۴

به ذره، نیرو اثر می‌کند (مطابق شکل). نیروی مغناطیسی باید نیروی وزن و نیروی الکتریکی را خنثی کند (در مورد نیروی الکتریکی توجه کنید که نحوه اتصال صفحات خازن به قطب باتری چگونه است و بار هم مثبت است).



$$\begin{cases} F_B = mg + F_E \\ F_E = q \times E, E = \frac{V}{d} \\ F_B = qvB \sin \theta \end{cases}$$

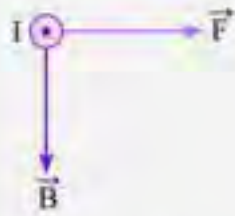
$$\Rightarrow E = \frac{100}{0.01} = 10000 \frac{V}{m}, F_E = 20 \times 10^{-6} \times 10000 = 0.2 \text{ N}$$

$$\Rightarrow qvB \sin \theta = 0.2 \Rightarrow B = \frac{0.2}{100 \times 20 \times 10^{-6} \times 1} = 100 \text{ T}$$

با توجه به قاعده دست راست این میدان باید درون‌سو باشد.

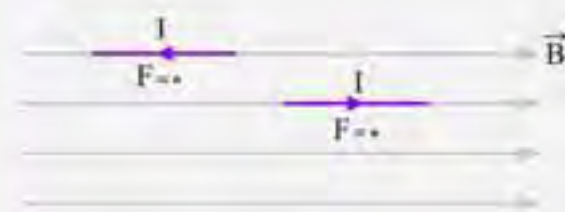
راستا و جهت نیروی وارد به سیم حامل جریان را در میدان مغناطیسی چگونه تعیین کنیم؟ باید از قانون تجربی استفاده کنیم به نام قاعده دست راست. در این قانون توجه کنید که:

❖ خم انگشتان دست راست جهت چرخش جریان به سمت بردار  $\vec{B}$  را نشان می‌دهد. بعضی از بچه‌ها می‌پرسند خوب، جریان را در هر دو جهت می‌توانیم بچرخانیم تا به  $\vec{B}$  برسد. منظور زاویه کوچک‌تر بین این دو بردار است.



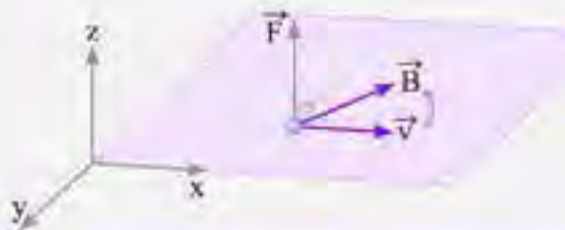
در این صورت شست دست راست معرف جهت و امتداد  $F$  است.

چند نتیجه هم از این قانون بگیریم:

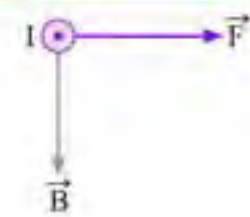


❶ شرط وجود نیروی القایی این است که سیم حامل جریان، خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند اگر با خطوط میدان موازی باشد به آن نیرویی اثر نخواهد کرد.

❷ زاویه بین  $\vec{B}$  و  $\vec{IL}$  هر مقداری می‌تواند باشد ولی  $F$  لزوماً بر هر روی آن‌ها عمود است به عبارت بهتر باید بگوییم  $F$  بر صفحه حامل  $\vec{IL}$  و  $\vec{B}$  عمود است.

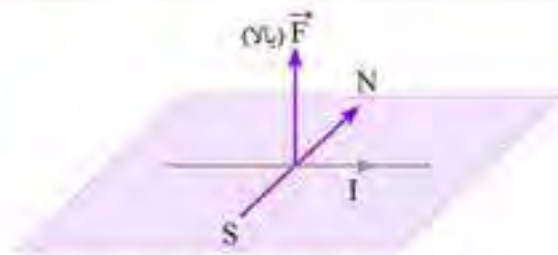


❸ در مورد سیم حامل جریان هم باید بدانید که برای این‌که معادل یک بردار محسوب شود باید امتداد سیم را معادل امتداد بردار و جریان را مثل جهت بردار فرض کرد.



جهت میدان از قطب N به S است (رو به پایین) جریان هم برون‌سو است (عمود بر صفحه به سمت خارج) با توجه به قاعده دست راست، نیرو عمود بر  $\vec{IL}$  و  $\vec{B}$  و به سمت راست است.

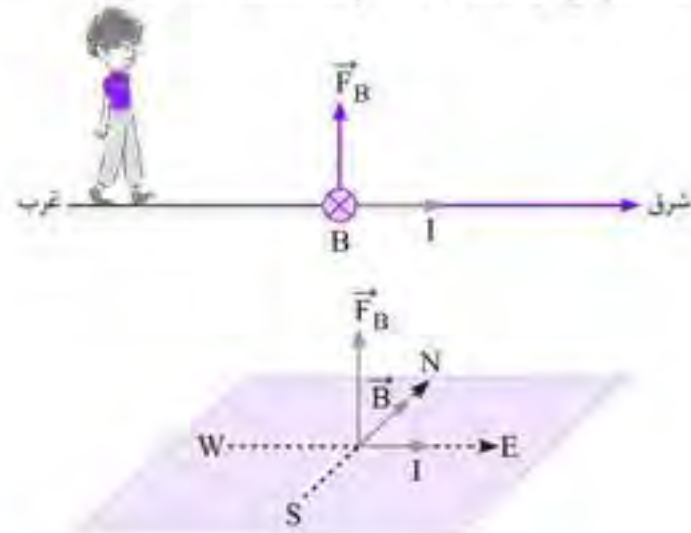
در متن تست آمده که می‌خواهیم نیروی وارد به سیم بیشینه باشد، یا توجه به فرمول  $F = ILB \sin \theta$  نتیجه می‌گیریم سیم عمود بر خطوط میدان قرار دارد.



با توجه به شکل مقابل و قاعده دست راست باید امتداد سیم (غربی - شرقی) و جهت جریان به سمت شرق باشد.

با توجه به قاعده دست راست (خم انگشتان جهت چرخش  $\vec{IL}$  به سمت B) نیروی مغناطیسی به سمت بالا بر سیم وارد می‌شود.

برای بعضی از بچه‌ها تصور به شکل زیر ساده‌تر است. افق را یک خط در نظر بگیرید. به سمت شمال برداری درون‌سو و به سمت جنوب برداری برون‌سو خواهد شد (پس میدان زمین درون‌سو است). سپس از قاعده دست راست استفاده کنید.



☎ یادآوری: میدان مغناطیسی زمین:

زمین مثل یک آهنربای بزرگ می‌ماند که قطب شمال مغناطیسی آن در جنوب جغرافیایی و قطب جنوب مغناطیسی آن در شمال جغرافیایی قرار دارد. محور مغناطیسی زمین کاملاً بر محور جغرافیایی منطبق نیست. یعنی خطی که قطب شمال و جنوب را به هم وصل می‌کند بر خطی که قطب N و S را به هم وصل می‌کند کاملاً منطبق نیست (ما از این اختلاف صرف‌نظر می‌کنیم).



عقربه مغناطیسی یا همان قطب‌نما، در هر نقطه مماس بر خطوط میدان و در جهت آن می‌ایستد. بنابراین در استوا قطب‌نما کاملاً افقی می‌ایستد و در قطب‌های مغناطیسی کاملاً عمود بر افق و بین قطب و استوا هم با سطح افق زاویه‌ای می‌سازد (به شکل دقت کنید) ولی ما در حل تست‌ها (مثل همین تست) معمولاً میدان مغناطیسی را افقی فرض می‌کنیم.