

# فهرست

## فصل اول

بخش اول (بار الکتریکی)	۸	بخش اول (الفیای مغناطیس)	۱۴۷
بخش دوم (نیروی الکتریکی)	۱۶	بخش دوم (نیروی مغناطیسی)	۱۵۴
بخش سوم (میدان الکتریکی)	۲۲	بخش سوم (میدان مغناطیسی ...)	۱۶۶
بخش چهارم (انرژی پتانسیل الکتریکی)	۳۶	بخش چهارم (ویژگی‌های مغناطیسی مواد)	۱۷۹
بخش پنجم (توزیع بار الکتریکی در ...)	۴۹	پرسش‌های تستی	۱۸۴
بخش ششم (خازن)	۵۷	پاسخ پرسش‌های تستی	۱۸۷
پرسش‌های تستی	۶۸		

## فصل چهارم

پاسخ پرسش‌های تستی	۷۱	بخش اول (بذیده‌های الکترومغناطیس)	۱۹۰
--------------------	----	-----------------------------------	-----

## فصل دوم

بخش اول (جریان الکتریکی و ...)	۷۶	بخش دوم (الفاگر)	۲۰۹
بخش دوم (مدار الکتریکی ساده)	۹۶	بخش سوم (جریان متناوب)	۲۱۶
بخش سوم (توان الکتریکی در مدار)	۱۱۱	پرسش‌های تستی	۲۲۴
پرسش‌های تستی	۱۲۱	پاسخ پرسش‌های تستی	۲۲۷

## ضمائم

بخش چهارم (به هم بستن مقاومت‌ها)	۱۲۱	فرمول‌ها	۲۳۰
پرسش‌های تستی	۱۴۰		
پاسخ پرسش‌های تستی	۱۴۲		

# الفبای مغناطیس

## ۱- آهن‌ربا

آهن‌ربا قطعه‌ای از یک ماده کانی به نام مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) است که به طور طبیعی در پوسته کره زمین وجود دارد.

■ **قطب‌های آهن‌ربا:** در هر آهن‌ربا با هر شکلی که باشد، دو ناحیه وجود دارد که در آن‌ها خاصیت مغناطیسی خیلی بیشتر از قسمت‌های دیگر است، به این دو ناحیه، **قطب‌های آهن‌ربا** می‌گوییم. یکی قطب N (شمال) و دیگری قطب S (جنوب). در شکل روبه‌رو، مقدار زیادی از براده‌های آهن، جذب قطب‌های آهن‌ربا شده‌اند.

■ آهن‌رباها، به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند که برخی از آن‌ها را در

شکل‌های زیر می‌بینید:



آهن‌ربای C شکل



آهن‌ربای تخت  
دایره‌ای

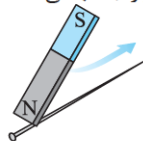


آهن‌ربای  
نعل اسبی



آهن‌ربای میله‌ای

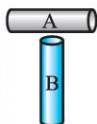
■ قطب‌های هم‌نام یکدیگر را **دفع** و قطب‌های ناهم‌نام یکدیگر را **جذب** می‌کنند.



■ وقتی یکی از قطب‌های یک آهن‌ربا را **چندین بار** و در **یک جهت** به یک میله آهنی کوچک (مثل یک سوزن ته‌گرد در شکل روبه‌رو) بکشیم، میله آهنی برای مدتی خاصیت مغناطیسی پیدا کرده و تبدیل به یک آهن‌ربا می‌شود.

## مثال

دو میله کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهن‌ربا در اختیار داریم. چگونه می‌توان بدون استفاده از هیچ وسیله دیگری میله آهن‌ربایی را مشخص کرد؟



**پاسخ** کافی است یکی از میله‌ها را مثل شکل روبه‌رو دقیقاً به وسط میلهٔ دیگر نزدیک کنیم: اگر دو میله یکدیگر را جذب کنند، A آهنی و B آهن‌ربا است. اگر دو میله نیرویی به هم وارد نکنند، A آهن‌ربا و B آهنی است.

■ **عقربهٔ مغناطیسی (قطب‌نما):** عقربهٔ مغناطیسی (یا قطب‌نما) یک آهن‌ربای



میله‌ای بسیار کوچک و سبک است. از عقربهٔ مغناطیسی برای پیدا کردن جهت‌های جغرافیایی استفاده می‌شود. عقربهٔ مغناطیسی را به شکل‌های مقابل نشان می‌دهیم:

■ **دوقطبی مغناطیسی:** اگر یک آهن‌ربا را به شکل زیر، به دو قسمت تقسیم



کنیم، هر قسمت به طور مستقل به یک آهن‌ربا با قطب‌های N و S تبدیل می‌شود، به طوری که در محل برش، قطب‌های **ناهم‌نام** ایجاد می‌شود.

■ اگر روند برش‌دادن آهن‌ربا، در شکل بالا

را ادامه دهیم، به کوچک‌ترین آهن‌ربای ممکن می‌رسیم که به آن **دوقطبی مغناطیسی** می‌گوییم. دوقطبی‌های مغناطیسی همان مولکول‌ها یا اتم‌های مادهٔ سازندهٔ آهن‌ربا است.

■ قطب‌های N و S آهن‌ربا شبیه بارهای الکتریکی مثبت و منفی هستند، اما یک تفاوت بزرگ وجود دارد. بارهای + و - می‌توانند به تنهایی وجود داشته باشند، ولی قطب‌های N و S نه. به عبارتی تک‌قطبی مغناطیسی وجود ندارد!



واشرهای آهنی

■ **القای مغناطیسی:** اگر یک جسم آهنی به شکل روبه‌رو، در فاصلهٔ کمی از یک آهن‌ربا یا در تماس با آن باشد، آهن‌ربا در جسم آهنی خاصیت آهن‌ربایی القا کرده و آن را به آهن‌ربا تبدیل می‌کند. به این پدیده، القای مغناطیسی می‌گوییم.

## مغناطیس : درس نامه

■ در پدیده القای مغناطیسی همیشه آهن ربا جسم آهنی را جذب می کند. یعنی همان طور که در شکل های زیر می بینید، در قسمت نزدیک تر جسم آهنی، قطب

نامهم نام ایجاد می شود.



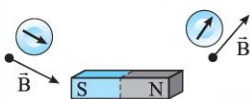
### ۲- میدان مغناطیسی

■ هر آهن ربا در اطراف خود خاصیتی ایجاد می کند که به سبب آن به اجسام آهنی اطراف خود (مثل شکل های زیر) و آهن رباهای دیگر اطرافش نیرو وارد می کند، به این خاصیت **میدان مغناطیسی** می گوئیم. میدان مغناطیسی

کمیتی برداری و نماد آن  $\vec{B}$  است.



■ بردار میدان مغناطیسی در یک نقطه از فضا، در جهتی است که **قطب N** عقربه مغناطیسی، در آن نقطه نشان می دهد.



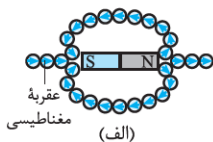
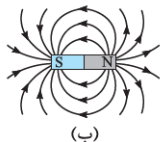
■ یکای میدان مغناطیسی در SI، تسلا (T) است.

■ بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی یک آهن ربای میله ای حدود  $0.01\text{ T}$  تا  $0.1\text{ T}$  است.

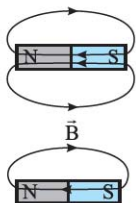
■ میدان مغناطیسی یکای کوچک تر دیگری به نام گوس (G) هم دارد، که  $1\text{ T} = 10^4\text{ G}$  است.

### ۳- خطوط میدان مغناطیسی

■ شبیه میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی را هم با خطوطی نشان می دهیم. برای رسم خطوط میدان مغناطیسی در قسمتی از فضا کافی است عقربه های مغناطیسی را در چند نقطه از فضا به شکل (الف) قرار داده و با تعیین جهت بردار میدان مغناطیسی در این نقاط، خطوط میدان را تجسم کنیم (شکل (ب)).



ویژگی خطوط میدان مغناطیسی

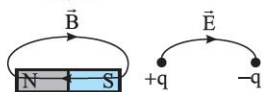


۱ جهت خطوط میدان مغناطیسی در خارج از آهن ربا از قطب N به S و در داخل آن از قطب S به N است.

۲ برخلاف خطوط میدان الکتریکی،

خطوط میدان مغناطیسی بسته

هستند.



۳ هر چه تراکم خطوط میدان مغناطیسی در نقطه‌ای بیشتر باشد،

میدان مغناطیسی در آن نقطه قوی‌تر است.

۴ در هر نقطه از فضا، بردار میدان مغناطیسی، برداری است مماس بر

خط میدان و هم‌جهت با آن.

۵ خطوط میدان مغناطیسی یکدیگر را قطع نمی‌کنند و از هر نقطه از

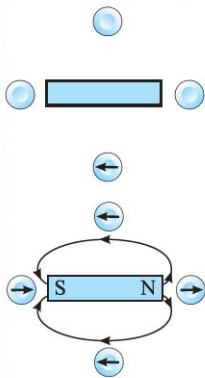
فضا تنها یک خط میدان می‌گذرد.

مثال ۲۲

شکل روبه‌رو، یک آهن‌ربای میله‌ای و تعدادی

عقربه مغناطیسی را نشان می‌دهد.

الف) کدام سر آهن‌ربا قطب N و کدام سر قطب S است؟



ب) جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی را در دیگر مکان‌های روی شکل تعیین کنید.

پاسخ: با توجه به جهت میدان مغناطیسی

در عقربه داده‌شده، قطب‌های آهن‌ربا،

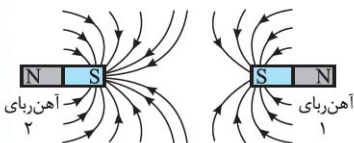
خطوط میدان و جهت‌گیری سه عقربه

مغناطیسی دیگر به شکل روبه‌رو خواهد

بود. دقت کنید که جهت خطوط میدان در

خارج از آهن‌ربا از قطب N به قطب S است.

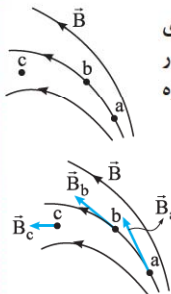
مثال ۱



خطهای میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل مقابل نشان داده شده است. اندازه میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطبهای آهنرباها با هم مقایسه کنید.

**پاسخ** چون تراکم خطوط در نزدیکی آهنربای (۲) بیشتر است، اندازه میدان در نزدیکی این آهنربا بزرگتر است.

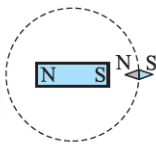
مثال ۲



شکل روبه‌رو، خطهای میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا را نشان می‌دهد. بردار میدان مغناطیسی را در هر یک از نقطه‌های روی شکل رسم کنید. (به اندازه و جهت بردار میدان در هر نقطه توجه کنید).

**پاسخ** بردار میدان در هر نقطه، برداری مماس بر خط میدان عبوری از آن نقطه و هم‌جهت با آن است. هم‌چنین تراکم خطوط میدان، نشان‌دهنده اندازه میدان در هر نقطه است. پس:  $B_a > B_b > B_c$

تست



یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل روبه‌رو، روی یک میز قرار دارد. یک عقربه مغناطیسی که آزادانه می‌تواند حول محور قائم بچرخد، به آرامی روی مسیر دایره‌ای شکل به دور آهنربا یک دور می‌چرخد. در این مسیر عقربه چند درجه دوران می‌کند؟ (ریاضی ۹۶)

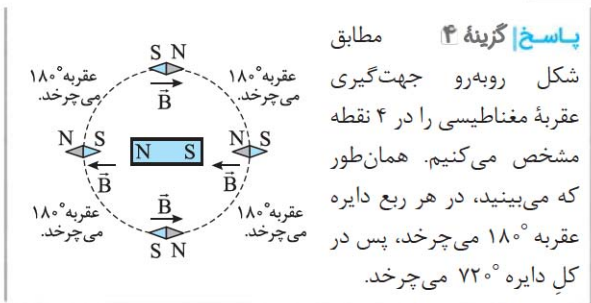
۷۲۰ (۴)

۳۶۰ (۳)

۲۷۰ (۲)

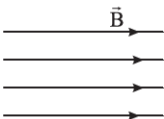
۱۸۰ (۱)





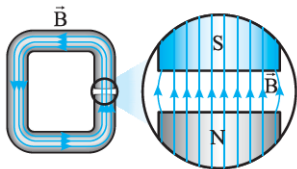
#### ۴- میدان مغناطیسی یکنواخت

هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازه میدان مغناطیسی یکسان باشد، به میدان مغناطیسی در این ناحیه، میدان مغناطیسی یکنواخت می‌گوییم.



خطوط میدان مغناطیسی یکنواخت، راست، موازی، هم‌جهت و هم‌فاصله هستند. مثل شکل مقابل:

ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه بزرگی از فضا بسیار دشوار

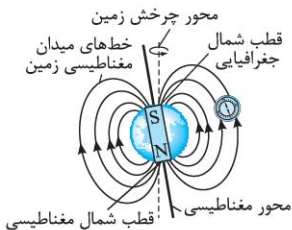


و در عمل غیرممکن است. با این وجود، می‌توان در ناحیه کوچکی از فضا، مانند ناحیه بین قطب‌های یک آهن‌ربای C شکل، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد.

## ۵- میدان مغناطیسی زمین

■ زمین مثل یک آهنربای میله‌ای بزرگ است و خطوط میدان مغناطیسی اطراف آن به شکل زیر است:

■ همان‌طور که در شکل می‌بینید، قطب شمال مغناطیسی (N) زمین در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی



و قطب جنوب مغناطیسی (S) زمین در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی زمین قرار دارد.

■ اگر در نقطه‌ای از سطح کره زمین یک قطب‌نما (عقربه مغناطیسی) به حال خود رها شود، همواره در

حالتی می‌ایستد که قطب N آن، جهت شمال جغرافیایی را نشان دهد. ■ جهت میدان مغناطیسی در سطح کره زمین (به جز قطب شمال و جنوب) تقریباً به سمت شمال جغرافیایی است.

■ قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند و فاصله نسبتاً زیادی از هم دارند، به همین دلیل عقربه مغناطیسی قطب‌نما در جهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی انحراف دارد.

■ اندازه میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی سطح زمین، در قطب‌ها بیشینه (۶۵/۰ G) و در استوا کمینه (۲۵/۰ G) است.

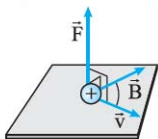
■ شیب مغناطیسی: اگر یک عقربه مغناطیسی سبک را از وسط آن آویزان کنیم، در بیشتر نقاط زمین، به طور افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه شیب مغناطیسی می‌گوییم.



## نیروی مغناطیسی

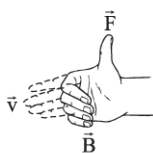
## ۱- جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی متحرک

■ اگر ذره باردار  $q$  با سرعت  $\vec{v}$  در میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  حرکت کند (به شرط آن که راستای حرکت آن با خطوط میدان مغناطیسی موازی نباشد) بر آن نیرویی وارد می‌شود. به این نیرو، **نیروی مغناطیسی** ( $\vec{F}$ ) می‌گوییم.

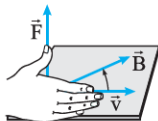
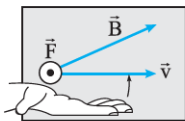


■ نیروی مغناطیسی  $\vec{F}$  بر هر دو بردار  $\vec{B}$  و  $\vec{v}$  عمود است. به عبارت دیگر، نیروی مغناطیسی بر صفحه‌ای که توسط بردار سرعت و بردار میدان مغناطیسی تشکیل می‌شود، عمود است.

■ برای تعیین جهت نیروی  $\vec{F}$  به شکل زیر عمل می‌کنیم:



**الف** اگر بار ذره مثبت باشد: طبق قاعده دست راست، اگر چهار انگشت دست راست را در جهت  $\vec{v}$  نگاه داریم به طوری که جهت چرخش انگشتان در جهت  $\vec{B}$  قرار گیرد، انگشت شست جهت  $\vec{F}$  را نشان می‌دهد. به عنوان مثال به شکل‌های زیر نگاه کنید:



➡ اگر بار ذره منفی باشد: دو روش وجود دارد: ۱ از همان قاعده دست راست استفاده کرده و در آخر، جهت بردار خواسته‌شده را قرینه کنیم.

- ۲ قاعده دست راست را با دست چپ انجام دهیم.  
 دو نوع بردار عمود بر صفحه وجود دارد:

توضیح	نماد	بردار
عمود بر صفحه کاغذ و به طرف داخل	$\otimes$	درون سو
عمود بر صفحه کاغذ و به طرف بیرون	$\odot$	برون سو

- جهت های جغرافیایی را روی صفحه کاغذ به دو روش زیر می توانیم نشان دهیم:

### روش دوم

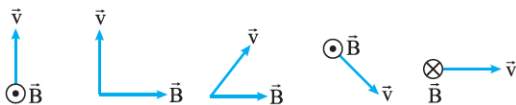


### روش اول

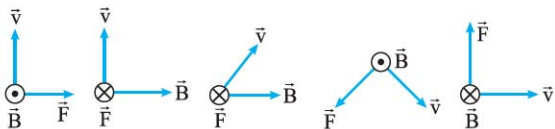


### مثال

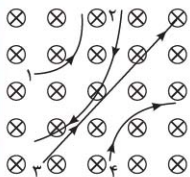
جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هر یک از حالت های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.



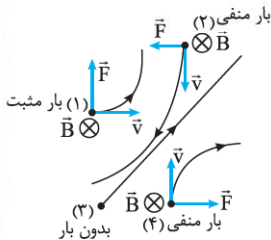
**پاسخ** چون بار مثبت است، با استفاده از قاعده دست راست در هر حالت جهت نیروی وارد شده بر بار را مشخص می کنیم:



### مثال ۲۲

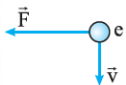


چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون سو مسیرهایی مطابق شکل روبه‌رو می‌پیمایند. دربارهٔ نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟



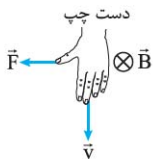
**پاسخ** لحظهٔ ورود هر ذره به میدان را در نظر می‌گیریم. در این لحظه بردار سرعت، مماس بر مسیر و بردار نیرو در جهت انحراف ذره است، پس جهت سه بردار  $\vec{v}$ ،  $\vec{F}$  و  $\vec{B}$  را داریم. اگر این سه جهت با قاعدهٔ دست راست جور در بیایند، بار مثبت و در غیر این صورت منفی است.

### تست



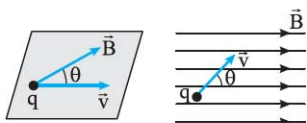
الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل، جهت میدان  $\vec{B}$  کدام است؟

- (۱) بالا  
(۲) راست  
(۳) درون سو  
(۴) برون سو



**پاسخ | گزینه ۳** چون بار الکترون منفی است، مطابق شکل روبه‌رو از دست چپ خود برای تعیین میدان استفاده می‌کنیم. همان‌طور که می‌بینید میدان مغناطیسی باید درون سو باشد.

## ۲- اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی متحرک



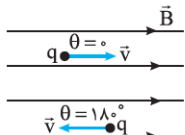
نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید:

بزرگی میدان مغناطیسی (تسلا: T)      تند (متر بر ثانیه: m/s)

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

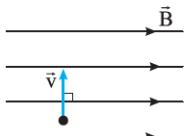
زاویه بین جهت حرکت ذره  $\rightarrow$  و میدان مغناطیسی  $\leftarrow$  نیروی مغناطیسی (نیوتن: N)  
 بار الکتریکی (کولن: C)

■ اگر ذره باردار، مثل شکل روبه‌رو، موازی خطوط میدان حرکت کند، به آن نیروی مغناطیسی وارد نمی‌شود:



$$\theta = 0^\circ \text{ یا } 180^\circ \Rightarrow \sin \theta = 0 \Rightarrow F = 0$$

■ اگر ذره باردار، مثل شکل روبه‌رو عمود بر خطوط میدان حرکت کند، نیروی مغناطیسی وارد بر آن بیشینه می‌شود:



$$\theta = 90^\circ \Rightarrow \sin \theta = 1 \Rightarrow F_{\max} = qvB$$

■ نیروی مغناطیسی همیشه بر بردار سرعت ذره، یعنی جهت حرکت آن عمود است. پس:

اولاً: کار انجام شده توسط این نیرو بر روی ذره همواره برابر صفر است. دوماً: طبق قضیه کار - انرژی جنبشی، انرژی جنبشی و در نتیجه تندی جسم تغییر نمی‌کند (یعنی فقط جهت حرکت بار عوض می‌شود).

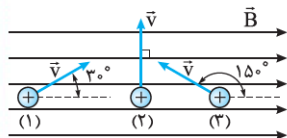
■ اگر بار الکتریکی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بدون انحراف به مسیرش ادامه دهد:

اولاً: باید نیروهای الکتریکی و مغناطیسی در خلاف جهت هم باشند. ثانیاً: اندازه این دو نیرو باید برابر باشد، یعنی:

$$q\mathbf{vB}\sin\theta = E\mathbf{q} \Rightarrow \text{نیروی الکتریکی} = \text{نیروی مغناطیسی}$$

### مثال ۱

سه ذره، هر کدام با بار  $q = 6 \mu\text{C}$  و تندی  $v = 40 \text{ m/s}$ ، در میدان



مغناطیسی یکنواختی به اندازه  $B = 0.1 \text{ T}$  در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازه نیروی وارد بر هر ذره را حساب کنید.

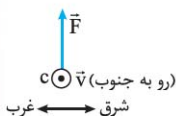
**پاسخ** برای هر ذره، داده‌های مسئله را در فرمول زیر جای گذاری می‌کنیم:

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

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{ذره (۱)}: F_1 = (6 \times 10^{-6}) \times 40 \times 0.1 \times \sin(30^\circ) = 1/2 \times 10^{-5} \text{ N} \\ \text{ذره (۲)}: F_2 = (6 \times 10^{-6}) \times 40 \times 0.1 \times \sin(90^\circ) = 2/4 \times 10^{-5} \text{ N} \\ \text{ذره (۳)}: F_3 = (6 \times 10^{-6}) \times 40 \times 0.1 \times \sin(15^\circ) = 1/2 \times 10^{-5} \text{ N} \end{cases}$$

## مثال ۲

الکترونی با تندی  $2/4 \times 10^5 \text{ m/s}$  درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازه نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

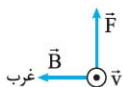


الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازه آن برابر  $9/6 \times 10^{-14} \text{ N}$  باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.  
ب) اندازه میدان الکتریکی چه قدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟

پاسخ الف) به ازای  $\theta = 90^\circ$  در فرمول  $F = |q| v B \sin \theta$ ، اندازه نیروی مغناطیسی بیشینه می‌شود، پس:

$$F_{\max} = |q| v B \Rightarrow 9/6 \times 10^{-14} = 1/6 \times 10^{-19} \times 2/4 \times 10^5 \times B$$

$$\Rightarrow B = 2/5 \text{ T}$$



جهت میدان مغناطیسی هم در شکل روبه‌رو، طبق قاعده دست راست (البته با دست چپ) به دست می‌آید که به طرف غرب است.

ب) به سراغ فرمول  $F = E |q|$  می‌رویم:

$$F = E |q| \Rightarrow 9/6 \times 10^{-14} = E \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow E = 6 \times 10^5 \text{ N/C}$$

تست

ذره‌ای به جرم  $500$  میلی‌گرم با سرعت  $10^2 \text{ m/s}$  به طور عمود وارد میدان مغناطیسی یکنواخت  $4$  میلی‌تسلا می‌شود. اگر بار الکتریکی ذره  $50 \mu\text{C}$  باشد، شتابی که ذره تحت تأثیر میدان می‌گیرد، چند متر بر مربع ثانیه است؟

(ریاضی ۹۲)

- ۰/۴۰ (۱)      ۰/۴ (۲)      ۰/۲۰ (۳)      ۰/۰۲ (۴)

**پاسخ | گزینه ۱** نیروی وارد بر ذره را در رابطه  $F = ma$  قرار می‌دهیم. یعنی:

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

$$\xrightarrow{\theta=90^\circ} (50 \times 10^{-6}) \times 10^2 \times (4 \times 10^{-3}) = 500 \times 10^{-6} \times a$$

تبدیل میکروکولن به کولن

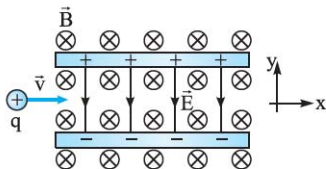
تبدیل میلی‌گرم به کیلوگرم

$$\Rightarrow a = 0.4 \text{ m/s}^2$$

تست

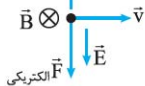
ذره باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت  $\vec{v}$  در امتداد محور  $x$  وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت  $\vec{E}$  و  $\vec{B}$  وجود دارد (شکل زیر). اندازه این میدان‌ها برابر  $E = 450 \text{ N/C}$  و  $B = 0.18 \text{ T}$  است. تندی ذره چند کیلومتر بر ثانیه باشد تا در همان امتداد محور  $x$  به حرکت خود

ادامه دهد؟



- ۲/۵ (۱)  
۴ (۲)  
 $2/5 \times 10^3$  (۳)  
 $4 \times 10^3$  (۴)

مغناطیسی  $\vec{F}$



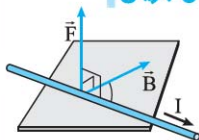
الکتریکی  $\vec{F}$

**پاسخ | گزینه ۱** شرط این که ذره منحرف نشود، این است که دو نیروی الکتریکی و مغناطیسی وارد بر آن هم اندازه و در خلاف جهت هم باشند. پس:  $F_{\text{مغناطیسی}} = F_{\text{الکتریکی}}$

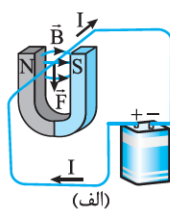
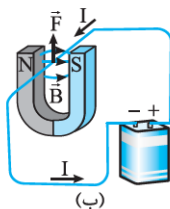
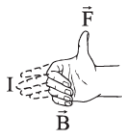
$$|q| v B \sin \theta = E |q| \quad \theta = 90^\circ \rightarrow v B = E$$

$$\Rightarrow v \times 0.18 = 450 \Rightarrow v = 2500 \text{ m/s} = 2.5 \text{ km/s}$$

### ۳- جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

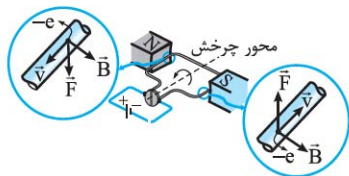


- اگر سیم حامل جریان  $I$  در میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  قرار داشته باشد، از طرف میدان به سیم نیروی مغناطیسی ( $\vec{F}$ ) وارد می شود. این نیرو هم بر راستای سیم و هم بر راستای میدان مغناطیسی عمود است.
  - برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان از قاعده دست راست استفاده می کنیم. یعنی: چهار انگشت دست راست را در جهت جریان ( $I$ ) نگه می داریم، به طوری که جهت چرخش انگشتان دیگر در جهت  $\vec{B}$  قرار گیرد. در این صورت انگشت شست جهت  $\vec{F}$  را نشان می دهد.
- این قاعده را در شکل های زیر برای خودتان به کار ببرید.



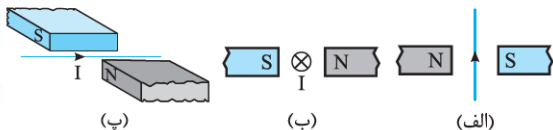


■ موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. شکل زیر طرحی ساده از اجزای اصلی یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد. در این شکل بر هر جزء از حلقه حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخاند.

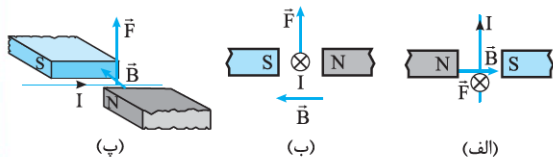


### مثال ۱

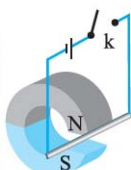
جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های (الف)، (ب) و (پ) بیابید.



**پاسخ** در هر شکل ابتدا جهت میدان مغناطیسی را، که از N به S است، مشخص کرده و سپس با استفاده از قاعده دست راست جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را مشخص می‌کنیم.

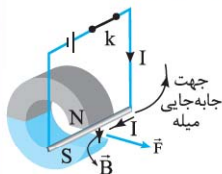


### مثال ۱



یک میلهٔ رسانا به پایانه‌های یک باتری وصل شده و مطابق شکل در فضای بین قطب‌های یک آهن‌ربای C شکل آویزان شده است و می‌تواند آزادانه نوسان کند. با بستن کلید k، چه اتفاقی برای میلهٔ رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.

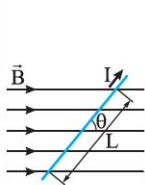
**پاسخ** جهت میدان ناشی از آهن‌ربا روی سیم، از قطب N به قطب



S، یعنی رو به پایین است. با توجه به قاعدهٔ دست راست، نیروی مغناطیسی‌ای به سمت راست به سیم وارد می‌شود. سیم در جهت نشان داده شده کمی جابه‌جا می‌شود.

### ۴- اندازهٔ نیروی وارد بر سیم حامل جریان

نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواخت از فرمول زیر به دست می‌آید:



جریان عبوری نیروی

از سیم مغناطیسی

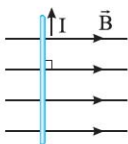
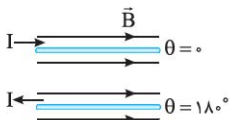
(آمپر: A) (نیوتن: N)

$$F = B I \ell \sin \theta \rightarrow \text{زاویهٔ بین امتداد سیم با میدان}$$

طول سیم در میدان

مغناطیسی (متر: m)

(تسلا: T) میدان



■ اگر سیم حامل جریان، موازی خطوط میدان مغناطیسی باشد، به آن نیرویی وارد نمی‌شود:

$$\theta = 0^\circ \text{ یا } 180^\circ \Rightarrow \sin \theta = 0 \Rightarrow F = 0$$

■ اگر سیم حامل جریان، عمود بر خطوط میدان مغناطیسی باشد، نیروی وارد بر آن بیشینه می‌شود:

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow \sin \theta = 1 \Rightarrow F_{\max} = BIl$$

■ اگر یک سیم حامل جریان تحت نیروهای وزن و مغناطیسی در تعادل باشد: اولاً: چون نیروی وزن رو به پایین است، نیروی مغناطیسی وارد بر سیم باید رو به بالا باشد.

ثانیاً: اندازه نیروی مغناطیسی و وزن باید برابر باشد:

$$BIl \sin \theta = mg \Rightarrow \text{نیروی مغناطیسی} = \text{وزن}$$

### مثال

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی  $400 \text{ G}$  در راستایی قرار دارد که با جهت میدان زاویه  $30^\circ$  می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم،  $5 \text{ A}$  باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر  $1 \text{ m}$  از این سیم را حساب کنید.

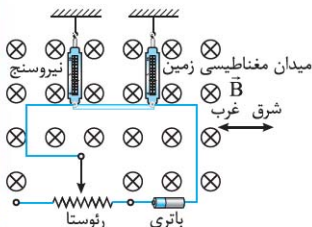
**پاسخ:** بعد از تبدیل یکای میدان به تسلا، مقدارهای داده‌شده را در فرمول زیر جاگذاری می‌کنیم:

$$F = BIl \sin \theta = (400 \times 10^{-4}) \times 5 \times 1 \times \frac{1}{2} = 0.1 \text{ N}$$

↓  
(T) تبدیل گاوس (G) به تسلا

### مثال ۱

یک سیم حامل جریان مطابق شکل زیر با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به طور افقی و در راستای غرب - شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین، یکنواخت، به طرف شمال و با اندازه



$0.5 \text{ mT}$  است. اگر بخواهیم

نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ (جرم هر متر از طول این سیم  $8 \text{ g}$  است و  $g = 10 \text{ N/kg}$ .)

**پاسخ** برای این که نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، نیروی مغناطیسی وارد بر سیم باید وزن را خنثی کند، پس:

اولاً: چون نیروی وزن به طرف پایین است، نیروی مغناطیسی باید به طرف بالا و طبق قاعده دست راست، جریان عبوری از سیم به طرف شرق باشد.

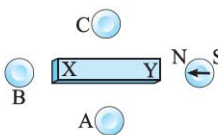
ثانیاً: اندازه دو نیروی مغناطیسی و وزن وارد بر یک متر سیم باید برابر باشد:

$$F_{\text{مغناطیسی}} = mg \Rightarrow BI\ell \sin \theta = mg$$

$$\theta = 90^\circ \rightarrow (0.5 \times 10^{-3}) \times I \times 1 \times 1 = (8 \times 10^{-3}) \times 10$$

$$\Rightarrow I = 1600 \text{ A}$$

### پرسش‌های تستی



۱- شکل روبه‌رو، 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؟  
(خارج ریاضی ۹۶)

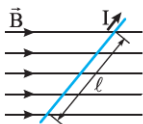
- (۱) ← و ← ، → و →  
(۲) ← و ← ، ← و ←  
(۳) → و → ، → و →  
(۴) ← و ← ، ← و ←

۲- پروتونی تحت زاویه  $90^\circ$  نسبت به یک میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی  $20 \text{ mT}$  حرکت می‌کند و نیروی مغناطیسی  $N = 1/28 \times 10^{-16}$  به آن وارد می‌شود. انرژی جنبشی پروتون چند ژول است؟  
(ریاضی ۹۵)

$$(m_p = 1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}, e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

- (۱)  $4 \times 10^{-19}$   
(۲)  $8 \times 10^{-19}$   
(۳)  $13/6 \times 10^{-19}$   
(۴)  $27/2 \times 10^{-19}$

۳- در شکل زیر، میدان مغناطیسی به صورت افقی در جهت غرب به شرق است و مقدار آن  $500$  گاوس است. سیم، افقی است و جریان  $I = 25 \text{ A}$  در

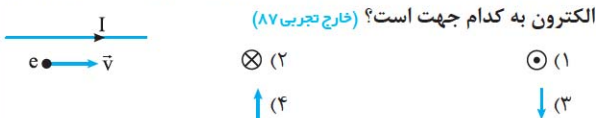


جهت شمال شرقی از آن عبور می‌کند. اگر  $l = 80 \text{ cm}$  و زاویه بین سیم و میدان  $37^\circ$  باشد، نیروی مغناطیسی وارد بر این قسمت از سیم، چند نیوتون و به کدام جهت است؟ ( $\sin 37^\circ = 0/6$ )  
(خارج تجربی ۹۶)

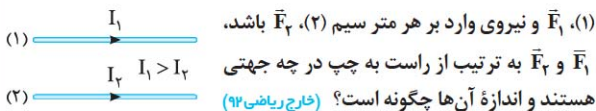
- (۱)  $0/8$ ، قائم رو به پایین  
(۲)  $0/6$ ، قائم رو به پایین  
(۳)  $0/8$ ، قائم رو به بالا  
(۴)  $0/6$ ، قائم رو به بالا

## مغناطیس : تست

۴- یک الکترون مطابق شکل زیر، به موازات سیم دراز حامل جریان الکتریکی در حرکت است. در این لحظه نیروی الکترومغناطیسی وارد بر



۵- در شکل زیر دو سیم بلند (۱) و (۲) موازی هم در این صفحه قرار دارند و بر هم نیروی الکترومغناطیسی وارد می‌کنند. اگر نیروی وارد بر هر متر سیم



$$F_1 = F_2, \downarrow, \uparrow \quad (2)$$

$$F_1 = F_2, \uparrow, \downarrow \quad (1)$$

$$F_1 < F_2, \downarrow, \uparrow \quad (4)$$

$$F_1 > F_2, \uparrow, \downarrow \quad (3)$$

۶- یکای  $\mu_0$  (تراوایی مغناطیسی خلأ) در SI کدام است؟ (خارج ریاضی ۹۷)

$$\frac{\text{آمپر} \times \text{تسلا}}{\text{متر}} \quad (2)$$

$$\frac{\text{تسلا} \times \text{متر}}{\text{آمپر}} \quad (1)$$

$$\frac{\text{تسلا}}{\text{آمپر} \times \text{متر}} \quad (4)$$

$$\frac{\text{آمپر}}{\text{تسلا} \times \text{متر}} \quad (3)$$

۷- از پیچۀ مسطحی به شعاع  $10$  سانتی‌متر که از  $250$  دور سیم نازک درست شده است، جریان  $8$  آمپر می‌گذرد. میدان مغناطیسی در مرکز پیچه چند

گاوس است؟ ( $\mu_0 = 12 \times 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$ ) (ریاضی ۹۱)

$$1/2 \quad (2)$$

$$0/6 \quad (1)$$

$$120 \quad (4)$$

$$60 \quad (3)$$

۸- طول سیم‌لوله‌ای ۲۰ cm است و دارای ۲۰۰ حلقه است که به صورت منظم پیچیده شده است. اگر از آن جریان الکتریکی ۵ آمپر عبور کند، میدان مغناطیسی

در داخل آن چند گاوس می‌شود؟ ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T.m}{A}$ ) (تجربی ۹۳)

۲)  $4\pi$

۱)  $2\pi$

۴)  $40\pi$

۳)  $20\pi$

۹- تعداد حلقه‌های پیچۀ مسطحی با تعداد حلقه‌های یک سیم‌لوله برابر است و از آن‌ها جریان الکتریکی یکسان می‌گذرد. اگر میدان مغناطیسی یکنواخت ایجادشده در داخل سیم‌لوله برابر با میدان مغناطیسی در مرکز پیچه باشد، طول سیم‌لوله چند برابر قطر پیچه است؟ (ریاضی ۹۴)

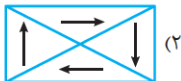
۲) ۲

۱) ۱

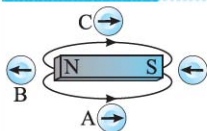
۴)  $\frac{1}{4}$

۳)  $\frac{1}{2}$

۱۰- کدام‌یک از شکل‌های زیر یک ماده فرومغناطیس را وقتی در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی قرار گرفته است، درست نشان می‌دهد؟ (خارج ریاضی ۹۳)



## پاسخ پرسش های تستی



۱- گزینه «۱» با توجه به جهت گیری عقربه رسم شده، قطب ها و خطوط میدان اطراف آهن ربا به شکل روبه رو خواهند بود:

۲- گزینه «۳» ابتدا سرعت حرکت پروتون را حساب می کنیم.

$$F = qvB \sin \theta \Rightarrow 1/28 \times 10^{-16} = (1/6 \times 10^{-19}) \times v \times (20 \times 10^{-3}) \times 1$$

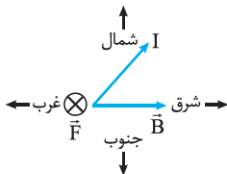
$$\Rightarrow v = 4 \times 10^4 \text{ m/s}$$

حالا انرژی جنبشی پروتون را به دست می آوریم:

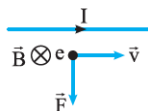
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (1/7 \times 10^{-27}) \times (4 \times 10^4)^2 = 13/6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

۳- گزینه «۲» اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را به شکل زیر حساب می کنیم:

$$F = BI \ell \sin \theta = (500 \times 10^{-4}) \times 25 \times \frac{1}{10} \times \frac{6}{10} = 0/6 \text{ N}$$



طبق قاعده دست راست، نیروی وارد بر سیم درون سو یعنی قائم رو به پایین است.



۴- گزینه «۳» جهت میدان ناشی از سیم در محل الکترون درون سو است. طبق قاعده دست چپ!!! جهت نیروی وارد بر الکترون به شکل روبه رو است:



۵- گزینه «۱» چون جریان عبوری از دو سیم هم‌سو است، دو سیم یکدیگر را جذب می‌کنند، پس  $\vec{F}_1$  به سمت پایین و  $\vec{F}_2$  به سمت بالا است. در درس‌نامه دیدید که  $F_1 = F_2$  است.

۶- گزینه «۱» در فرمول  $B = \frac{\mu_0 NI}{\ell}$  به جای هر کمیت، یکای آن را قرار می‌دهیم:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} \Rightarrow \mu_0 = \frac{B\ell}{NI}$$

$$\Rightarrow \mu_0 \text{ یکای } = \frac{T \times m}{A} = \frac{\text{متر} \times \text{تسلا}}{\text{آمپر}}$$

۷- گزینه «۴» کافی است داده‌های مسئله را در فرمول زیر جای گذاری

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{(12 \times 10^{-7}) \times 250 \times 8}{2 \times (0/1)} = 12 \times 10^{-3} T = 120 G \quad \text{کنیم:}$$

۸- گزینه «۳» خیلی ساده!

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 200 \times 5}{0/2} = 2\pi \times 10^{-3} T = 20\pi G$$

۹- گزینه «۱» میدان‌های درون سیم‌لوله و مرکز پیچه را در دو طرف یک تساوی قرار می‌دهیم:

$$B_{\text{سیم‌لوله}} = B_{\text{پیچه}} \Rightarrow \left(\mu_0 \frac{NI}{\ell}\right)_{\text{سیم‌لوله}} = \left(\frac{\mu_0 NI}{2R}\right)_{\text{پیچه}} \Rightarrow \ell = 2R$$

بنابراین طول سیم‌لوله با قطر پیچه برابر است.

۱۰- گزینه «۱» در یک ماده فرومغناطیس، در حضور میدان مغناطیسی حجم حوزه‌های مغناطیسی هم‌سو با میدان خارجی زیاد می‌شود، اما تمام حوزه‌ها با میدان خارجی هم‌سو نمی‌شوند. بنابراین گزینه (۱) درست است.

ضمائم

## فرمول‌ها

### فصل ۱

#### ۱ بار الکتریکی:

تعداد الکترون‌های گرفته‌شده یا از دست رفته

$$q = \pm n e \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

بار بنیادی (کولن: C)
بار الکتریکی (کولن: C)

علامت +: اگر الکترون از دست رود، علامت -: اگر الکترون گرفته شود.

#### ۲ رابطه قانون کولن:

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

نیروی الکتریکی (نیوتون: N)
فاصله دو ذره (متر: m)

بار الکتریکی دو ذره (کولن: C)

#### ۳ میدان الکتریکی حاصل از ذره باردار:

$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

میدان الکتریکی (نیوتون/C: N/C)
فاصله نقطه تا ذره (متر: m)

بار الکتریکی ذره (کولن: C)

#### ۴ نیروی وارد بر بار در میدان الکتریکی:

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

نیروی الکتریکی (نیوتون: N)
میدان الکتریکی (نیوتون/C: N/C)

بار الکتریکی (کولن: C)

علامت بار الکتریکی باید لحاظ شود.

۵ کار انجام شده توسط میدان الکتریکی یکنواخت:

بار الکتریکی (کولن: C)      کار میدان (ژول: J)

$$W_E = \pm E |q| d \rightarrow \text{جابه‌جایی بار در راستای میدان (متر: m)}$$

اندازه میدان (نیوتون:  $\frac{N}{C}$ )

علامت +: بار در جهت نیروی میدان حرکت می‌کند.  
 علامت -: بار در خلاف جهت نیروی میدان حرکت می‌کند.

۶ تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی بار:

تغییر انرژی پتانسیل بار (ژول: J)

$$\Delta U_E = -W_E \rightarrow \text{کار انجام شده توسط میدان (ژول: J)}$$

۷ اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه:

تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ژول: J)

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \rightarrow \text{بار الکتریکی (کولن: C)}$$

اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولت: V)

$$\Delta V = V_{\text{مقصد}} - V_{\text{مبدا}}$$

علامت بار باید لحاظ شود.

بار انرژی بگیرد:  $\Delta U > 0$ ، بار انرژی از دست دهد (آزاد شود):  $\Delta U < 0$

۸ رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه در میدان یکنواخت:

اختلاف پتانسیل (ولت: V)

$$|\Delta V| = E d \rightarrow \text{فاصله دو نقطه در راستای میدان (متر: m)}$$

اندازه میدان یکنواخت (نیوتون:  $\frac{N}{C}$ )

۹ چگالی سطحی:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \rightarrow \text{بار الکتریکی (کولن: C)}$$

$$\downarrow$$

$$\rightarrow \text{مساحت (متر مربع: m}^2\text{)}$$

چگالی سطحی (کولن بر متر مربع: C/m<sup>2</sup>)

یادتان باشد که مساحت کره از فرمول  $A = 4\pi r^2$  به دست می آید.

۱۰ تعریف ظرفیت خازن:

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow \text{بار ذخیره شده در خازن (کولن: C)}$$

$$\downarrow$$

$$\rightarrow \text{اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن (ولت: V)}$$

ظرفیت خازن (فاراد: F)

ظرفیت خازن مقدار ثابتی است و با تغییر  $V$  و  $Q$  تغییر نمی کند.

۱۱ عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

ظرفیت خازن (فاراد: F)

↑ مساحت صفحات (متر مربع: m<sup>2</sup>)

↓ فاصله دو صفحه (متر: m)

ضریب دی الکتریک ( $\kappa$  یا  $k$  یکا ندارد.)

یادتان باشد که:  $\kappa > 1$  عایق‌های دیگر  $\kappa \approx 1$  و  $\kappa_{\text{هوا}} \approx 1$  و  $\kappa_{\text{خلاء}} = 1$

۱۲ میدان الکتریکی بین صفحات:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0 A}$$

اختلاف پتانسیل (ولت: V)

↑ میدان الکتریکی (نیوتون / کولن: N/C)

↓ بار ذخیره شده (کولن: C)

↓ مساحت صفحه‌ها (متر مربع: m<sup>2</sup>)

ضریب دی الکتریک (یکان ندارد.)

↓ فاصله دو صفحه (متر: m)