فصل ۱: اندازه‌گیری و بردار ..... ۷
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۱۵
فصل ۲: نور ..... ۱۹
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۵۳
فصل ۳: ویژگی‌های ماده و فشار ..... ۶۹
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۸۳
فصل ۴: گرما و قانون گازها ..... ۹۲
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۱۱۰
فصل ۵: ترمودینامیک (ویژه رشته ریاضی) ..... ۱۲۳
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۱۴۱
فصل ۶: الکتریسیته ساکن ..... ۱۵۰
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۱۶۳
فصل ۷: خازن ..... ۱۷۱
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۱۸۲
فصل ۸: جریان الکتریکی ..... ۱۹۱
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۲۱۶
فصل ۹: مغناطیس ..... ۲۳۶
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۲۴۸
فصل ۱۰: القای الکترومغناطیس ..... ۲۵۴
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ..... ۲۶۶

راهنمای آیکون‌های کتاب:

نکته | مثال | حواستان باشد
یادآوری | توجه | نتیجه

# ۱ اندازه‌گیری و بردار

*از این فصل در بعضی از سال‌ها یک تست (یعنی ۲/۲ درصد در کنکور ریاضی و ۳/۳ درصد در کنکور تجربی) میاد و بعضی از سال‌ها هم نمیاد. اما مطالبش تو فصل‌های بعدی خیلی کاربرد داره. ازش غافل نشید!*

## کمیت و یکا

**کمیت** چیزی است که قابل اندازه‌گیری باشد و بتوان مقدار آن را با یک عدد مشخص کرد.

**یکای** هر کمیت، مقدار مشخصی از آن کمیت است که به عنوان مقیاس اندازه‌گیری انتخاب می‌شود.

**انواع کمیت‌ها**

- **از نظر ماهیت**
  - **نرده‌ای**: کمیت‌هایی هستند که به طور کامل با یک عدد توصیف می‌شوند.
  - **برداری**: کمیت‌هایی هستند که برای توصیف کامل آن‌ها باید به طور هم‌زمان از عدد و جهت استفاده کرد و از قوانین جمع برداری تبعیت می‌کنند.
- **از نظر قرارداد بین‌المللی**
  - **اصلی**: هفت کمیتی هستند که یکای آن‌ها به طور مستقل تعریف شده است.
  - **فرعی**: کمیت‌هایی هستند که یکای آن‌ها براساس کمیت‌های اصلی تعریف می‌شود.

**کمیت‌های برداری:** در محدودهٔ کنکور سراسری فقط ۸ کمیت برداری داریم: ① بردار مکان، ② جابه‌جایی، ③ سرعت، ④ شتاب، ⑤ انواع نیرو، ⑥ تکانه (اندازهٔ حرکت)، ⑦ میدان الکتریکی، ⑧ میدان مغناطیسی.

**کمیت‌ها و یکاهای اصلی:** طول (متر: m)، جرم (کیلوگرم: kg)، زمان (ثانیه: s)، جریان الکتریکی (آمپر: A)، دما (کلوین: K) و مقدار ماده (مول: mol)

برای بیان راحت‌تر مقدارهای خیلی بزرگ و خیلی کوچک می‌توانیم از دو روش زیر استفاده کنیم:

① **پیشوندهای SI:** هر کدام از این پیشوندها توان معینی از ۱۰ (یا همان $10^n$) است. هر وقت یکی از این پیشوندها را در ابتدای یکای یک کمیت قرار دهیم، آن یکا به همان میزان بزرگ یا کوچک می‌شود (مثلاً ۱ km برابر هزار متر است، چون $k = 10^3$)

| پیشوند | ضریب | نماد | پیشوند | ضریب | نماد |
|---|---|---|---|---|---|
| دسی | $\frac{1}{10} = 10^{-1}$ | d | دکا | ۱۰ | da |
| سانتی | $\frac{1}{100} = 10^{-2}$ | c | هکتو | $10^2$ | h |
| میلی | $\frac{1}{1000} = 10^{-3}$ | m | کیلو | $10^3$ | k |

ادامهٔ جدول در صفحهٔ بعد

| پیشوند | ضریب | نماد | پیشوند | ضریب | نماد |
|---|---|---|---|---|---|
| میکرو | $\frac{۱}{۱۰^{۶}}=۱۰^{-۶}$ | μ | مگا | $۱۰^{۶}$ | M |
| نانو | $\frac{۱}{۱۰^{۹}}=۱۰^{-۹}$ | n | گیگا | $۱۰^{۹}$ | G |
| پیکو | $\frac{۱}{۱۰^{۱۲}}=۱۰^{-۱۲}$ | p | ترا | $۱۰^{۱۲}$ | T |

**(۲) نمادگذاری علمی:** هر عددی در نمادگذاری علمی این شکلی نوشته می‌شود: $a\times۱۰^{n}$ که در آن $۱\le a<۱۰$.

## سوال‌ها

**۱- ..... از کمیت‌های اصلی و ..... از کمیت‌های فرعی می‌باشند.** *(ریاضی ۸۶)*

۱) حجم و جرم ـ زمان و انرژی
۲) جرم و زمان ـ طول و نیرو
۳) طول و جرم ـ مساحت و نیرو
۴) نیرو و دما ـ سرعت و شدت جریان

## دقت اندازه‌گیری

کم‌ترین اندازه‌ای که یک وسیلهٔ اندازه‌گیری می‌تواند اندازه بگیرد، **دقت اندازه‌گیری** آن وسیله است. بنابراین هر چه کوچک‌ترین اندازهٔ قابل اندازه‌گیری توسط یک وسیله کوچک‌تر باشد، آن وسیله دقیق‌تر است.

**گزارش اندازه‌گیری:** گزارش یک اندازه‌گیری هنگامی صحیح است که عدد گزارش‌شده مضرب صحیحی از دقت اندازه‌گیری آن وسیله باشد (خط‌کشی که برحسب میلی‌متر مدرج شده، نمی‌تواند اندازه‌ای در حد ۰/۱ میلی‌متر را گزارش کند).

**نحوهٔ تشخیص دقت در گزارش اندازه‌گیری:** دقت اندازه‌گیری با کم‌ترین ارزش مکانی در عدد گزارش‌شده برابر است.

در گزارش اندازه‌گیری، صفرهایی که ممکن است در سمت راست عدد یا سمت راست ممیز قرار گیرند، معنی دارند.

کم‌ترین ارزش مکانی مربوط به آخرین رقم سمت راست است.

در جدول زیر، مراحل تعیین دقت اندازه‌گیری در یک گزارش را به همراه مثال آورده‌ایم:

**نتیجهٔ یک اندازه‌گیری به صورت $۱۴/۵۷۰\times۱۰^{۵}$ mg گزارش شده است. دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری را برحسب kg می‌خواهیم.**

| | | |
|---|---|---|
| مرحلهٔ اول | عدد داده‌شده را به صورت $m\times۱۰^{n}$ می‌نویسیم. m عددی بدون ممیز است. | عدد داده‌شدهٔ $۱۴/۵۷۰\times۱۰^{۵}$ mg را به این صورت می‌نویسیم: $۱۴۵۷۰\times\underbrace{۱۰^{-۳}\times۱۰^{۵}}_{۱۰^{۲}}$ mg |
| مرحلهٔ دوم | $۱۰^{n}$، دقت اندازه‌گیری برحسب واحد داده شده است. | $۱۴۵۷۰\times$ (۱۰^۲ mg) ← دقت اندازه‌گیری (برحسب واحد داده‌شده) |
| مرحلهٔ سوم | با تبدیل واحد، دقت اندازه‌گیری را برحسب واحد خواسته‌شده به دست می‌آوریم. | $۱۰^{۲}\ \cancel{m}g\times\frac{۱۰^{-۳}}{(میلی)\cancel{m}}\times\frac{(کیلو)k}{۱۰^{۳}}=$ (۱۰^-۴ kg) ← دقت اندازه‌گیری (برحسب واحد خواسته‌شده) |

## سوال‌ها

**۲- با ترازویی که دقت آن ۰/۱ g است، جرم جسمی را اندازه گرفته‌ایم. کدام مقدار نمی‌تواند گزارش نتیجهٔ این اندازه‌گیری (برحسب گرم) باشد؟** *(تجربی خارج ۸۸)*

۱) ۳۲/۰ ۲) ۳۲/۰۹ ۳) ۳۲/۵ ۴) ۳۲/۹

**۳- ضخامت جسمی $۲/۴\times۱۰^{-۳}$ متر اندازه‌گیری شده است. وسیلهٔ این اندازه‌گیری کدام است؟ (دقت اندازه‌گیری متر نواری، خطکش، کولیس و ریزسنج به ترتیب یک سانتی‌متر، یک میلی‌متر، ۰/۱ میلی‌متر و ۰/۰۱ میلی‌متر فرض شود.)** *(ریاضی ۹۴)*

۱) ریزسنج ۲) کولیس ۳) خطکش ۴) متر نواری

**۴- خطکشی برحسب میلی‌متر درجه‌بندی شده است. کدام‌یک از اندازه‌گیری‌های زیر توسط این خطکش درست است؟** *(ریاضی خارج ۹۳)*

۱) ۴/۵ میلی‌متر ۲) ۱/۳۵ سانتی‌متر

۳) ۵/۴ سانتی‌متر ۴) ۰/۰۰۲۵ متر

**۵- فاصلهٔ بین دو نقطه به شکل چهار گزینهٔ زیر اعلام شده است. دقت اندازه‌گیری در کدام‌یک از آن‌ها بیشتر است؟** *(ریاضی ۸۱)*

۱) $۸/۷۹\,km$ ۲) $۸/۷۹۰\times۱۰^{۶}\,mm$

۳) $۸۷۹۰۰۰\,cm$ ۴) $۸/۷۹۰۰\times۱۰^{۳}\,m$

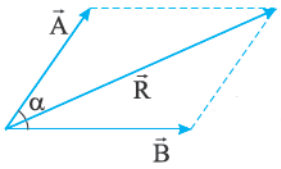
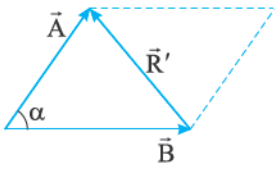
## بردار

بردار، پاره‌خط جهت‌داری است که اطلاعاتی از اندازه، راستا و جهت یک کمیت برداری را در اختیار ما قرار می‌دهد. هر بردار را با یک حرف لاتین و علامت پیکان روی آن نشان می‌دهیم.

$\vec{A}$ → بردار  $|\vec{A}|=A$ → $A$ اندازهٔ بردار

### برایند و تفاضل دو بردار

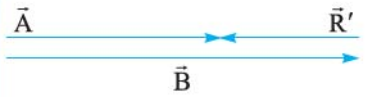
مهم‌ترین نکات دربارهٔ برایند و تفاضل دو بردار را در جدول زیر ببینید:

| برایند | تفاضل |
|---|---|
|  $\vec{R}=\vec{A}+\vec{B}$ |  $\vec{R'}=\vec{A}+(-\vec{B})=\vec{A}-\vec{B}$ |
| برایند دو برداری که از یک نقطه رسم شده‌اند (به شرط $۰<\alpha<۹۰$)، قطر بزرگ متوازی‌الاضلاعی است که با آن دو بردار ساخته می‌شود. | تفاضل دو برداری که از یک نقطه رسم شده‌اند، برداری است که از انتهای بردار دوم به انتهای بردار اول رسم می‌شود. به شرط $۰<\alpha<۹۰$، این بردار، قطر کوچک متوازی‌الاضلاع است. |
| $R=\sqrt{A^{۲}+B^{۲}+۲AB\cos\alpha}$ | $R'=\sqrt{A^{۲}+B^{۲}-۲AB\cos\alpha}$ |
| $\lvert A-B\rvert\le R\le A+B$ | $\lvert A-B\rvert\le R'\le A+B$ |

ادامهٔ جدول در صفحهٔ بعد

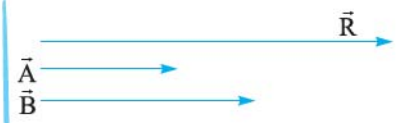
## حالت‌های خاص برایند و تفاضل دو بردار

### دو بردار هم‌جهت باشند ($\alpha = 0$)




$R' = |A - B|$

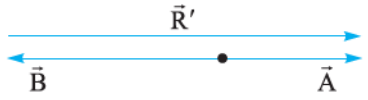
اندازهٔ تفاضل کمینه است.




$R = A + B$

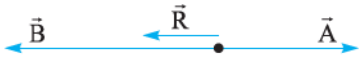
اندازهٔ برایند بیشینه است.

### دو بردار در خلاف جهت هم باشند ($\alpha = 180^\circ$)




$R' = A + B$

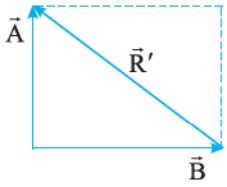
اندازهٔ تفاضل بیشینه است.



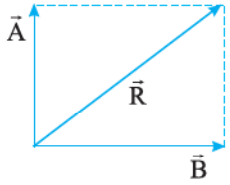

$R = |A - B|$

اندازهٔ برایند کمینه است.

### دو بردار بر هم عمود باشند ($\alpha = 90^\circ$)



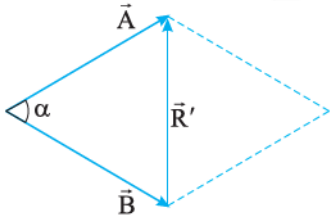

$R' = \sqrt{A^2 + B^2}$



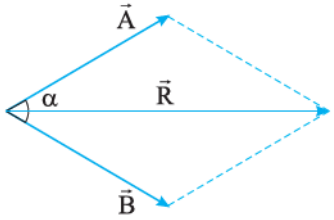

$R = \sqrt{A^2 + B^2}$

در این حالت، اندازهٔ برایند و اندازهٔ تفاضل با هم برابرند.

### دو بردار هم‌اندازه باشند ($A = B$)



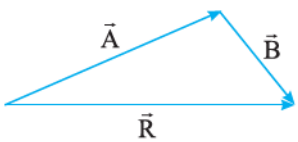

$R' = 2A\sin\frac{\alpha}{2}$




$R = 2A\cos\frac{\alpha}{2}$

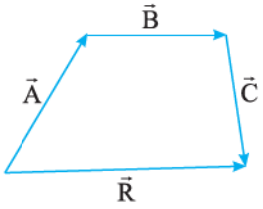
در این حالت، متوازی‌الاضلاعی که با بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ ساخته می‌شود، به شکل لوزی بوده و بردار برایند بر بردار تفاضل عمود است ($\vec{R} \perp \vec{R}'$).

**برایندگیری بردارها به روش مثلث (چندضلعی):** یک روش دیگر برای رسم برایند بردارها این است که آن‌ها را پشت سر هم رسم کنیم. برداری که ابتدای بردار اول را به انتهای بردار آخر وصل کند، برایند آن‌ها است.



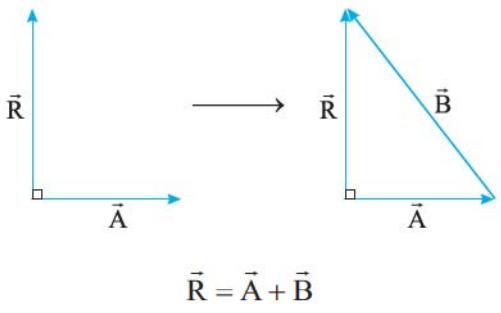

حالت مثلثی

$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$



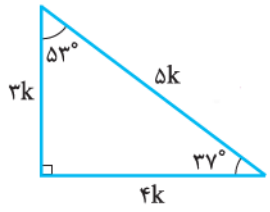
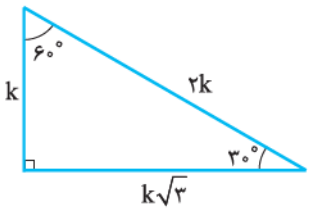
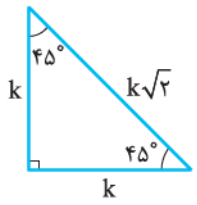
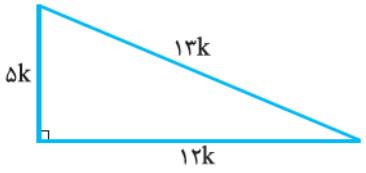

حالت چندضلعی

$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$



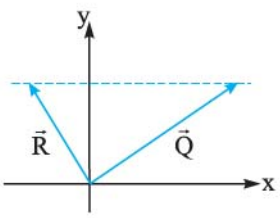

**عمودبودن برایند دو بردار بر یکی از آن‌ها:** اگر در مسئله‌ای بردار برایند دو بردار بر یکی از آن‌ها عمود باشد، ابتدا بردار برایند و بردار عمودش را از یک نقطه رسم می‌کنیم. بردار دیگر را به شکلی رسم می‌کنیم که یک مثلث قائم‌الزاویه تشکیل گردد. جهت بردار دوم به گونه‌ای است که حالت مثلثی در جمع بردارها رعایت شود. حالا با یک مثلث قائم‌الزاویه روبه‌رو هستیم که بررسی آن چندان دشوار نیست.

**مثلث‌های قائم‌الزاویهٔ پرکاربرد:** آشنایی با چند حالت خاص مثلث‌های قائم‌الزاویه به ما در حل سریع‌تر تست‌ها کمک می‌کند. ۴ مثلث پرکاربرد را در جدول زیر ببینید:

| حالت (۱) | حالت (۲) |
|---|---|
|   **مثلث ۳ – ۴ – ۵ (یا ۳۷° – ۵۳°):** اضلاع مثلث مضرب‌های ۳، ۴ و ۵ هستند. |   **مثلث ۳۰° – ۶۰°:** اضلاع مثلث به شکل k و $k\sqrt{3}$ و ۲k هستند. |
| **حالت (۳)** | **حالت (۴)** |
|   **مثلث ۴۵° – ۴۵° (متساوی‌الساقین):** اضلاع مثلث به شکل k، k و $k\sqrt{2}$ هستند. |   **مثلث ۵ – ۱۲ – ۱۳:** اضلاع مثلث مضرب‌های ۵، ۱۲ و ۱۳ هستند. |

## سوال‌ها

**۶- اگر دو بردار $\vec{R}$ و $\vec{Q}$ مطابق شکل روبه‌رو باشند، کدام بردار می‌تواند نشان‌دهندهٔ بردار $\vec{Q} - \vec{R}$ باشد؟** (تجربی خارج ۹۲)




۱)

۲)

۳)

۴)

**۷- دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ در یک صفحه قرار دارند. اگر $\vec{a}+\vec{b}$ عمود بر $\vec{a}-\vec{b}$ باشد، این دو بردار باید نسبت به یکدیگر چگونه باشند؟** (تجربی خارج ۸۹)

۱) هم‌اندازه ۲) عمود بر هم ۳) هم‌اندازه و عمود بر هم ۴) هم‌اندازه یا عمود بر هم

**۸- دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در یک صفحه قرار دارند. اندازهٔ هر یک از بردارها ثابت و زاویهٔ بین آن‌ها متغیر است. اگر این زاویه از صفر تا $180^\circ$ تغییر کند، اندازهٔ مجموع دو بردار و اندازهٔ تفاضل آن‌ها (از راست به چپ) چگونه تغییر می‌کنند؟** (تجربی ۸۹)

۱) کاهش ـ افزایش ۲) افزایش ـ کاهش ۳) کاهش ـ کاهش ۴) افزایش ـ افزایش

**۹- دو بردار هم‌اندازه، بر نقطه‌ای اثر می‌کنند و زاویهٔ بین آن‌ها قابل تغییر است. اندازهٔ تفاضل آن‌ها در حالتی بیشینه است که:** (ریاضی خارج ۹۲)

۱) بر هم عمود باشند. ۲) برایند آن‌ها بیشینه باشد.

۳) برایند آن‌ها برابر صفر باشد. ۴) راستای آن‌ها با هم زاویهٔ ۴۵ درجه بسازد.

**۱۰- دو نیروی $\vec{F}_1 = 5\,N$ و $\vec{F}_2 = 10\,N$ بر نقطه‌ای اثر می‌کنند. اگر زاویهٔ بین این دو نیرو ۱۲۰ درجه باشد، اندازهٔ برایند آن‌ها چند نیوتون است؟** (تجربی ۹۲)

۱) $5\sqrt{2}$ ۲) $5\sqrt{3}$ ۳) $7/5\sqrt{2}$ ۴) $7/5\sqrt{3}$

**۱۱- برایند دو بردار با اندازه‌های مساوی که با یکدیگر زاویهٔ $\alpha$ می‌سازند، ۴ واحد و تفاضل آن‌ها ۳ واحد است. بزرگی هر بردار چند واحد است؟** (تجربی خارج ۸۸)

۱) ۲ ۲) ۵ ۳) $\frac{2}{5}$ ۴) $\frac{5}{2}$

**۱۲- زاویهٔ بین دو بردار هم‌اندازه ۵۳ درجه است. بزرگی برایند دو بردار، چند برابر بزرگی تفاضل آن دو بردار است؟ $(\cos 53^\circ = 0/6)$** (ریاضی ۹۱)

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) $\frac{3}{4}$ ۳) $\frac{4}{3}$ ۴) ۲

**۱۳- برایند دو نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ بر $\vec{F}_1$ عمود و هم‌اندازهٔ آن است. نسبت $\frac{|\vec{F}_1|}{|\vec{F}_2|}$ چه‌قدر است؟** (تجربی خارج ۹۰)

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

**۱۴- اگر اندازهٔ برایند دو بردار با اندازه‌های ۷/۵ و ۱۰ برابر ۱۲/۵ باشد، اندازهٔ تفاضل آن دو بردار چند واحد است؟**

۱) ۱/۵ ۲) ۵/۵ ۳) ۱۲/۵ ۴) ۱۷/۵ (ریاضی خارج ۹۰)

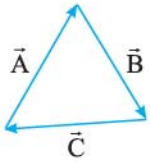
**۱۵- برایند دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$، با بردار $\vec{a}$ زاویهٔ $60^\circ$ می‌سازد. اگر اندازهٔ بردار $\vec{a}$ برابر ۱۰ واحد و اندازهٔ برایند ۵ واحد باشد، زاویهٔ بین دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ چند درجه است؟** (ریاضی ۹۰)

۱) ۳۰ ۲) ۹۰ ۳) ۱۵۰ ۴) ۱۲۰

## صفرشدن برایند چند بردار

در بعضی از تست‌ها برایند چند بردار صفر می‌شود. نکات زیر، به شما در حل این تست‌ها کمک می‌کنند:

- برایند سه بردار فقط وقتی صفر می‌شود که بشود با آن‌ها یک مثلث ساخت.




$\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}=0$

**۵۵- جسمی با سرعت ثابت، از فاصلهٔ دور تا کانون یک آینهٔ مقعر به آن نزدیک می‌شود. تصویر آن چگونه جابه‌جا می‌شود؟** *(ریاضی خارج ۹۵)*

۱) تندشونده از آینه دور شده و بزرگ‌تر می‌شود.
۲) یکنواخت از آینه دور شده و بزرگ‌تر می‌شود.
۳) تندشونده به آینه نزدیک شده و کوچک‌تر می‌شود.
۴) یکنواخت به آینه نزدیک شده و کوچک‌تر می‌شود.

## مسائل آینه‌های کروی و عدسی‌ها

منظور از مسائل آینه‌های کروی و عدسی‌ها، مسائلی است که در آن‌ها با یک یا چند پارامتر از پارامترهای زیر روبه‌رو باشیم:

$p$ : فاصلهٔ جسم تا آینه (یا عدسی)

$q$ : فاصلهٔ تصویر تا آینه (یا عدسی)

$f$ : فاصلهٔ کانونی

$\Delta$ : فاصلهٔ جسم تا تصویر

$m$ : بزرگنمایی

در مواجهه با این مسائل، ابتدا آن‌ها را در یکی از دو دستهٔ زیر، دسته‌بندی کنید:

**دستهٔ اول:** مسائلی که در آن‌ها بزرگنمایی را نداده‌اند.

**دستهٔ دوم:** مسائلی که در آن‌ها بزرگنمایی را داده‌اند.

حالا هر یک را جداگانه بررسی می‌کنیم:

**دستهٔ اول) $m$ را نداریم:** این مسائل را با استفاده از فرمول کلی آینه‌ها و عدسی‌ها حل می‌کنیم:

تصاویر حقیقی — کانون حقیقی

$$\frac{1}{p} \pm \frac{1}{q} = \pm \frac{1}{f}$$

تصویر مجازی — کانون مجازی

- در آینهٔ کوژ و عدسی واگرا کانون مجازی و در آینهٔ کاو و عدسی همگرا کانون حقیقی است.
- اگر بزرگنمایی خواسته شده باشد، پس از به دست آوردن $p$ و $q$ می‌توانیم به جواب برسیم: $m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$
- برای به دست آوردن $\Delta$ (فاصلهٔ جسم و تصویر) و یا استفاده از $\Delta$ ی داده‌شده، می‌توان شکل مسئله را رسم کرد و یا از رابطه‌های داده‌شده در جدول حالت‌های تصویر بهره گرفت.

## سوال‌ها

**۵۶- جسمی در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری یک آینهٔ کوژ که شعاع آن ۴۰ cm است قرار دارد. اگر جسم را از آینه دور کنیم و به فاصله‌های خیلی دور ببریم، تصویر چند سانتی‌متر جابه‌جا می‌شود؟** *(ریاضی ۹۴)*

۱) ۴۰ ۲) ۳۰ ۳) ۲۰ ۴) ۱۰

**۵۷- جسمی در فاصلهٔ سه برابر فاصلهٔ کانونی از یک آینهٔ محدب قرار دارد. اگر فاصلهٔ جسم تا آینه کاهش یافته و به $\frac{1}{3}$ مقدار اولیه برسد، فاصلهٔ تصویر تا آینه چند برابر می‌شود؟** *(تجربی خارج ۹۲)*

۱) $\frac{1}{3}$ ۲) $\frac{2}{3}$ ۳) $\frac{3}{8}$ ۴) $\frac{3}{4}$

**۵۸- در یک آینهٔ محدب، فاصلهٔ یک جسم از تصویرش ۷۵ سانتی‌متر است. اگر فاصلهٔ کانونی آینه ۲۰ سانتی‌متر باشد، طول تصویر چند برابر طول جسم است؟** *(ریاضی ۹۲ ـ مشابه تجربی خارج ۸۹)*

۱) ۳ ۲) $\frac{2}{3}$ ۳) $\frac{1}{3}$ ۴) $\frac{1}{4}$

۵۹- یک آینهٔ مقعر (کاو) از جسمی که به فاصلهٔ ۶ سانتی‌متر از آن و عمود بر محور اصلی قرار دارد، تصویری مجازی می‌دهد. اگر به جای آینهٔ مقعر یک آینهٔ تخت، درست در جای آینهٔ مقعر قرار دهیم، تصویر در مقایسه با حالت اول، به اندازهٔ ۹ سانتی‌متر به آینه نزدیک می‌شود. شعاع انحنای آینهٔ مقعر چند سانتی‌متر است؟ (تجربی ۹۲)

۱) ۶ ۲) ۱۲ ۳) ۱۰ ۴) ۲۰

۶۰- شعاع انحنای یک آینهٔ مقعر ۴۰ سانتی‌متر است و جسمی عمود بر محور اصلی در فاصلهٔ ۲۴ سانتی‌متری آن قرار دارد. جسم را چگونه جابه‌جا کنیم تا تصویر ۲۰ سانتی‌متر به آینه نزدیک شود؟ (تجربی ۹۵)

۱) ۴ سانتی‌متر از آینه دور کنیم. ۲) یک سانتی‌متر به آینه نزدیک کنیم.

۳) ۴ سانتی‌متر به آینه نزدیک کنیم. ۴) یک سانتی‌متر از آینه دور کنیم.

۶۱- شعاع انحنای دو آینهٔ مقعر و محدب، هر کدام ۴۰ cm است. اگر شمع روشنی را یک بار روی محور اصلی در ۱۰ سانتی‌متری آینهٔ مقعر قرار دهیم و بار دیگر همین شمع را در همین فاصله از آینهٔ محدب قرار دهیم، طول تصویر در آینهٔ مقعر چند برابر طول تصویر در آینهٔ محدب خواهد شد؟ (تجربی خارج ۹۴)

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) $\frac{۳}{۲}$ ۳) ۲ ۴) ۳

۶۲- یک عدسی از جسمی که در فاصلهٔ ۱۵ سانتی‌متری از آن قرار دارد، تصویری حقیقی روی پرده‌ای به فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر از عدسی تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ کانونی عدسی چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی ۹۲)

۱) ۴۰ ۲) ۳۰ ۳) ۲۰ ۴) ۱۰

۶۳- جسم کوچکی مقابل عدسی همگرا قرار دارد و فاصلهٔ جسم تا عدسی کم‌تر از نصف فاصلهٔ کانونی عدسی است. در این حالت، تصویر در کجا تشکیل می‌شود؟ (تجربی خارج ۹۲)

۱) بین F و ۲F ۲) دورتر از ۲F ۳) روی کانون ۴) داخل فاصلهٔ کانونی

۶۴- یک عدسی، از جسمی که در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری آن قرار دارد، تصویری به اندازهٔ جسم تشکیل می‌دهد. اگر جسم را ۱۵ سانتی‌متر به عدسی نزدیک کنیم، بزرگنمایی عدسی چه‌قدر خواهد شد؟ (تجربی ۹۱)

۱) $\frac{۳}{۲}$ ۲) $\frac{۲}{۳}$ ۳) ۲ ۴) ۶

۶۵- یک شیء به فاصلهٔ ۹۰ cm از یک پرده قرار دارد. بین شیء و پرده یک عدسی به فاصلهٔ کانونی ۲۰ cm را جابه‌جا می‌کنیم تا تصویر بزرگ‌تری از شیء روی پرده تشکیل شود. در این حالت، فاصلهٔ عدسی از پرده چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی ۹۰ ـ مشابه ریاضی خارج ۸۹)

۱) ۲۰ ۲) ۴۰

۳) ۵۰ ۴) ۶۰

۶۶- میله‌ای به طول ۱۵ سانتی‌متر منطبق بر محور اصلی یک عدسی همگرا است و فاصلهٔ نزدیک‌ترین نقطهٔ میله تا عدسی ۱۵ سانتی‌متر است. اگر طول تصویر حقیقی میله با طول میله برابر باشد، فاصلهٔ کانونی عدسی چند سانتی‌متر است؟ (تجربی خارج ۹۳)

۱) ۱۰ ۲) ۱۵ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

۶۷- یک عدسی همگرا، از یک جسم تصویری واضح روی پرده‌ای که به فاصلهٔ ۱۲ سانتی‌متری عدسی و موازی با آن است، تشکیل می‌دهد. اگر عدسی را ۲ سانتی‌متر از جسم دور کنیم، باید پرده را ۲ سانتی‌متر به جسم نزدیک کنیم تا دوباره تصویر واضحی از جسم روی پرده تشکیل شود. فاصلهٔ کانونی عدسی چند سانتی‌متر است؟ (تجربی خارج ۹۵)

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۸ ۴) ۹

**۶۸- یک عدسی از جسمی که در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری آن و عمود بر محور اصلی قرار دارد، تصویری به فاصلهٔ ۶ سانتی‌متر از عدسی و در طرفی که جسم قرار دارد، تشکیل می‌دهد. نوع عدسی کدام است و فاصلهٔ کانونی آن چند سانتی‌متر است؟** *(تجربی خارج ۹۰)*

۱) واگرا ـ ۵ ۲) همگرا ـ ۵ ۳) همگرا ـ ۷/۵ ۴) واگرا ـ ۷/۵

**۶۹- در یک عدسی، بیشترین محدودهٔ جابه‌جایی تصویر روی محور اصلی برابر ۲۰ سانتی‌متر است. اگر جسمی در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری این عدسی قرار گیرد، فاصلهٔ جسم تا تصویرش چند سانتی‌متر می‌شود؟** *(تجربی ۸۹)*

۱) ۱۲ ۲) ۱۸ ۳) ۴۲ ۴) ۹۰

**۷۰- فاصلهٔ کانونی یک عدسی واگرا، f است و جسمی مقابل آن عمود بر محور اصلی در فاصلهٔ f از عدسی قرار دارد. اگر جسم را به اندازهٔ $\frac{f}{2}$ به عدسی نزدیک کنیم، تصویر به اندازهٔ ..... ** *(تجربی ۹۳)*

۱) $\frac{f}{3}$ به عدسی نزدیک می‌شود. ۲) $\frac{f}{3}$ از عدسی دور می‌شود.

۳) $\frac{f}{6}$ از عدسی دور می‌شود. ۴) $\frac{f}{6}$ به عدسی نزدیک می‌شود.

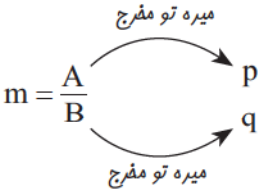
**۷۱- جسمی مقابل یک عدسی واگرا قرار دارد. اگر فاصلهٔ جسم تا عدسی n برابر فاصلهٔ کانونی آن باشد، فاصلهٔ بین جسم و تصویر چند برابر فاصلهٔ کانونی است؟** *(ریاضی خارج ۹۵)*

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

**دستهٔ دوم) m را داریم:** ممکن است در صورت سؤال به لفظ «بزرگنمایی» اشاره نشده باشد. خودمان باید به قدری باهوش باشیم که بفهمیم «نسبت اندازهٔ تصویر به اندازهٔ جسم» و یا «فاصلهٔ تصویر تا آینه (یا عدسی) به فاصلهٔ جسم تا آینه (یا عدسی)»، همان بزرگنمایی است. به هر حال این مسائل را یا از طریق استفاده از فرمول معمولی بزرگنمایی (که در قسمت قبل بیان شد) حل می‌کنیم یا از تاکتیک به درد بخور زیر کمک می‌گیریم:

**تاکتیک بزرگنمایی:** ابتدا بزرگنمایی داده‌شده را به صورت کسری $\frac{A}{B}$ می‌نویسیم. سپس از فرمول‌های مقابل برای محاسبهٔ p و q بهره می‌بریم:

$$m=\frac{A}{B} \Rightarrow \begin{cases} \text{تصاویر حقیقی: } p=(\frac{A+B}{A})f \quad , \quad q=(\frac{A+B}{B})f \\ \text{تصاویر مجازی: } p=(\frac{|A-B|}{A})f \quad , \quad q=(\frac{|A-B|}{B})f \end{cases}$$




اگر جسم را به مکان تصویر حقیقی‌اش ببریم، بزرگنمایی از m به $\frac{1}{m}$ تغییر می‌کند.

## سوال‌ها

**۷۲- شیئی، بین دیوار و یک آینهٔ مقعر قرار دارد و فاصلهٔ بین دیوار و آینه ۱۵ متر است. اگر توسط آینه، تصویر حقیقی شیء روی دیوار افتاده باشد و طول تصویر ۵ برابر طول شیء باشد، شعاع انحنای آینه چند متر است؟** *(ریاضی ۹۱)*

۱) ۲/۵ ۲) ۳ ۳) ۵ ۴) ۶

۷۳- یک آینهٔ مقعر (کاو)، از یک جسم، تصویری معکوس، با طولی به بزرگی دو برابر طول جسم می‌دهد. اگر جسم را ۵ سانتی‌متر از آینه دور کنیم، طول تصویر با طول جسم برابر می‌شود. شعاع انحنای آینه چند سانتی‌متر است؟ (تجربی ۹۰)

۱) $\frac{۱۰}{۳}$ ۲) $\frac{۲۰}{۳}$ ۳) ۱۰ ۴) ۲۰

۷۴- در یک آینهٔ مقعر به فاصلهٔ کانونی f، طول تصویر حقیقی ۲ برابر طول جسم است. جسم را روی محور اصلی، چه اندازه از آینه دور کنیم تا طول تصویر نصف طول جسم شود؟ (ریاضی ۹۰)

۱) $\frac{۳}{۲}f$ ۲) $\frac{f}{۲}$ ۳) f ۴) ۳f

۷۵- جسمی در فاصلهٔ ۱۵ سانتی‌متری آینهٔ مقعری به شعاع ۴۰ cm قرار دارد و طول تصویر جسم ۴ cm است. جسم را چند سانتی‌متر در جهت مناسب جابه‌جا کنیم تا تصویر دیگری به همان طول ۴ cm تشکیل شود؟ (ریاضی ۹۵)

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۲۵ ۴) ۵۰

۷۶- یک آینهٔ کروی از شمع روشنی که مقابل آن قرار دارد، تصویری به بزرگی ۵ برابر شمع روی پرده تشکیل داده است. اگر فاصلهٔ بین شمع و تصویرش، ۴۸ سانتی‌متر باشد، فاصلهٔ کانونی آینه چند سانتی‌متر است؟

۱) ۵ ۲) ۶ (تجربی ۹۴ ـ مشابه تجربی ۹۳ ـ مشابه تجربی ۸۹)
۳) ۱۰ ۴) ۱۲

۷۷- جسمی مقابل آینهٔ مقعر، عمود بر محور اصلی قرار دارد و طول تصویر $\frac{۱}{۴}$ طول جسم است. اگر جسم را به مکان این تصویر منتقل کنیم، طول تصویر جدید تشکیل‌شده، چند برابر طول جسم می‌شود؟ (ریاضی ۹۳)

۱) ۱۶ ۲) ۸ ۳) ۴ ۴) ۱

۷۸- جسمی مقابل آینهٔ مقعر عمود بر محور اصلی قرار دارد و بزرگنمایی آن $\frac{۱}{۳}$ است. جسم را ۱۵ سانتی‌متر جابه‌جا می‌کنیم، بزرگنمایی $\frac{۲}{۳}$ می‌شود. فاصلهٔ کانونی آینه چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی ۸۹)

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

۷۹- جسمی جلوی آینهٔ مقعر قرار دارد و فاصلهٔ آن تا تصویر حقیقی‌اش ۳۰ cm است. اگر جسم را به محل این تصویر منتقل کنیم، در این حالت، طول تصویر حقیقی ۴ برابر طول تصویر حالت قبل می‌شود. فاصلهٔ کانونی این آینه چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی خارج ۹۳)

۱) ۶۰ ۲) ۴۰ ۳) ۳۰ ۴) ۲۰

۸۰- جسم کوچکی روی محور اصلی آینهٔ مقعری قرار دارد و فاصلهٔ تصویر مستقیم آن تا جسم ۴۸ سانتی‌متر است. اگر طول تصویر ۵ برابر طول جسم باشد، فاصلهٔ بین جسم و کانون چند سانتی‌متر است؟ (تجربی خارج ۹۵)

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

۸۱- در یک آینهٔ محدب، طول تصویر $\frac{۱}{۴}$ طول جسم است. اگر جسم را ۱۰ سانتی‌متر به آینه نزدیک کنیم، طول تصویر نصف طول جسم می‌شود. فاصلهٔ کانونی این آینه چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی خارج ۹۴)

۱) ۲۰ ۲) ۱۵ ۳) ۱۰ ۴) ۵

۸۲- جسمی را روی محور اصلی، ۲۰ cm از عدسی همگرایی دور می‌کنیم. بزرگنمایی از $\frac{۱}{۲}$ به $\frac{۱}{۴}$ تبدیل می‌شود. فاصلهٔ کانونی عدسی چند سانتی‌متر است؟ (تجربی خارج ۹۱)

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۴۰ ۴) ۶۰

**۶۹- گزینهٔ «۲»** محدودهٔ تصویر در عدسی واگرا محدود به فاصلهٔ کانونی است. چون تصویر عدسی واگرا فقط در فاصلهٔ کانونی تشکیل می‌شود (در حالی که محدودهٔ جابه‌جایی تصویر در عدسی همگرا بی‌نهایت است.)، پس: عدسی واگرا است و $f = ۲۰\,cm$.

$$\frac{۱}{p}-\frac{۱}{q}=\frac{-۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{۳۰}-\frac{۱}{q}=\frac{-۱}{۲۰} \Rightarrow \frac{۱}{q}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۲۰}=\frac{۲+۳}{۶۰}=\frac{۵}{۶۰} \Rightarrow q=\frac{۶۰}{۵}=۱۲\,cm$$

در عدسی واگرا جسم و تصویر در یک سمت عدسی هستند و: $\Delta = p-q = ۳۰-۱۲ = ۱۸\,cm$

**۷۰- گزینهٔ «۴»** فرمول کلی عدسی‌ها را دو بار برای عدسی واگرا می‌نویسیم. دفعهٔ اول $p=f$ و دفعهٔ دوم $p=\frac{f}{۲}$:

$$\frac{۱}{p}-\frac{۱}{q}=\frac{-۱}{f}$$

$$p=f: \frac{۱}{f}-\frac{۱}{q_۱}=\frac{-۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{q_۱}=\frac{۱}{f}+\frac{۱}{f}=\frac{۲}{f} \Rightarrow q_۱=\frac{f}{۲}$$

$$p=\frac{f}{۲}: \frac{۱}{\frac{f}{۲}}-\frac{۱}{q_۲}=\frac{-۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{q_۲}=\frac{۲}{f}+\frac{۱}{f}=\frac{۳}{f} \Rightarrow q_۲=\frac{f}{۳}$$

جابه‌جایی تصویر: $q_۲-q_۱=\frac{f}{۳}-\frac{f}{۲}=\frac{۲f-۳f}{۶}=\frac{-f}{۶}$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ کم‌شدن q و نزدیک‌شدن تصویر به عدسی است.

**۷۱- گزینهٔ «۳»** دادهٔ مسئله $p=nf$ است و خواستهٔ آن، $\frac{p-q}{f}=?$. با توجه به واگرابودن عدسی، رابطهٔ اصلی عدسی‌ها را می‌نویسیم:

$$\frac{۱}{p}-\frac{۱}{q}=-\frac{۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{nf}-\frac{۱}{q}=-\frac{۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{q}=\frac{۱}{nf}+\frac{۱}{f}=\frac{۱+n}{nf}$$

$$\Rightarrow q=\frac{n}{n+۱}f \Rightarrow \frac{p-q}{f}=\frac{nf-\frac{n}{n+۱}f}{f}=n-\frac{n}{n+۱}=\frac{n^۲+n-n}{n+۱}=\frac{n^۲}{n+۱}$$

**۷۲- گزینهٔ «۳»** فاصلهٔ دیوار و آینه همان فاصلهٔ تصویر تا آینه (q) است.

$$\left.\begin{array}{l} q=۱۵ \\ m=\frac{۵}{۱}\begin{array}{l}\rightarrow A \\ \rightarrow B\end{array}\end{array}\right\} \Rightarrow q=\frac{A+B}{B}f=۶f \Rightarrow ۱۵=۶f \Rightarrow f=\frac{۱۵}{۶} \Rightarrow r=۲f=۲\times\frac{۱۵}{۶}=۵\,m$$

**۷۳- گزینهٔ «۴»** تصویر معکوس یعنی تصویر حقیقی.

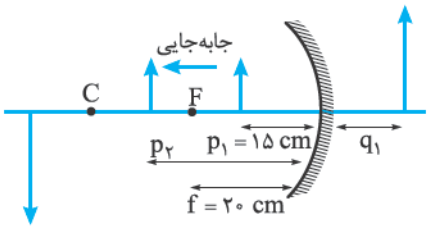
$$\left\{\begin{array}{l} m_۱=\frac{۲}{۱} \Rightarrow p=\frac{A+B}{A}f \Rightarrow p_۱=\frac{۳}{۲}f \\ m_۲=\frac{۱}{۱} \Rightarrow p=\frac{A+B}{A}f \Rightarrow p_۲=۲f \end{array}\right. \Rightarrow p_۲-p_۱=۵ \Rightarrow ۲f-\frac{۳}{۲}f=\frac{۱}{۲}f=۵$$

$$\Rightarrow f=۱۰\,cm \Rightarrow r=۲f=۲۰\,cm$$

**۷۴- گزینهٔ «۱»**

$$\left.\begin{array}{l} m_۱=\frac{۲}{۱} \Rightarrow p_۱=\frac{A+B}{A}f=\frac{۳}{۲}f \\ m_۲=\frac{۱}{۲} \Rightarrow p_۲=\frac{A+B}{A}f=۳f \end{array}\right\} \Rightarrow p_۲-p_۱=۳f-\frac{۳}{۲}f=\frac{۳}{۲}f$$

**۷۵- گزینهٔ «۲»** وقتی طول تصویر بر اثر جابه‌جایی تغییر نکند، یعنی بزرگنمایی در هر دو حالت برابر است. با توجه به اطلاعات دادشده، شکل مسئله به صورت زیر است:




$$\frac{۱}{p_۱}-\frac{۱}{q_۱}=\frac{۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{q_۱}=\frac{۱}{۱۵}-\frac{۱}{۲۰} \Rightarrow q_۱ = ۶۰\,cm$$

$$m_۱ = m_۲ = \frac{q_۱}{p_۱}=\frac{۶۰}{۱۵}=\frac{۴}{۱} \Rightarrow \text{تصویر حقیقی}: p_۲ = \frac{۴+۱}{۴}f = \frac{۵}{۴}\times ۲۰ = ۲۵\,cm$$

$$\Rightarrow \Delta p = p_۲ - p_۱ = ۲۵ - ۱۵ = ۱۰\,cm$$

**۷۶- گزینهٔ «۳»** وقتی تصویر روی پرده تشکیل می‌شود پس حقیقی است و آینهٔ داده‌شده مقعر است و چون تصویر از جسم بزرگ‌تر است، داریم: $(q > p)$ و نیز $\Delta = q - p = ۴۸\,cm$ حالا از تاکتیک بزرگنمایی استفاده می‌کنیم:

$$m = ۵ = \frac{۵}{۱} \begin{matrix}\rightarrow A \\ \rightarrow B\end{matrix} \Rightarrow p = (\frac{A+B}{A})f = \frac{۶}{۵}f \quad \text{و} \quad q = (\frac{A+B}{B})f = ۶f$$

$$\Delta = q - p = ۶f - \frac{۶}{۵}f = ۴۸ \Rightarrow \frac{۳۰f - ۶f}{۵} = \frac{۲۴}{۵}f = ۴۸ \Rightarrow f = ۱۰\,cm$$

**۷۷- گزینهٔ «۳»** «اگر جسم را به مکان تصویر حقیقی‌اش ببریم، بزرگنمایی از m به $\frac{۱}{m}$ تغییر می‌کند.» بنابراین در این‌جا:

$$\left.\begin{matrix} m_۱ = \frac{۱}{۴} \\ m_۲ = \frac{۱}{m_۱}\end{matrix}\right\} \Rightarrow m_۲ = ۴$$

**۷۸- گزینهٔ «۲»** آینهٔ مقعر و تصویر کوچک‌تر از جسم هنگامی اتفاق می‌افتد که جسم دورتر از مرکز آینه باشد. در این حالت، هر چه جسم را به آینه نزدیک کنیم، بزرگنمایی بیشتر می‌شود. پس تصویر حقیقی است و جسم به آینه نزدیک شده و داریم:

$$\begin{cases} m_۱ = \frac{۱}{۳} \Rightarrow p_۱ = \frac{A+B}{A}f = ۴f \\ m_۲ = \frac{۲}{۳} \Rightarrow p_۲ = \frac{A+B}{A}f = \frac{۵}{۲}f = ۲/۵f \end{cases} \Rightarrow p_۱ - p_۲ = ۴f - ۲/۵f = ۱۵ \Rightarrow ۱/۵f = ۱۵ \Rightarrow f = ۱۰\,cm$$

**۷۹- گزینهٔ «۴»** وقتی جسم را به محل تصویر می‌بریم، تصویر هم به محل قبلی جسم می‌رود، یعنی: $p_۲ = q_۱ \,,\, q_۲ = p_۱$.

وقتی طول جسم ثابت است و طول تصویر ۴ برابر می‌شود، یعنی: $m_۲ = ۴m_۱$.

$$\Rightarrow \frac{q_۲}{q_۱} = ۴\frac{q_۱}{p_۱} = ۴\frac{q_۱}{q_۲} \Rightarrow q_۲^۲ = ۴q_۱^۲ \Rightarrow q_۲ = ۲q_۱$$

$$p_۱ - q_۱ = q_۲ - q_۱ = ۲q_۱ - q_۱ = ۳۰ \Rightarrow q_۱ = ۳۰\,cm \Rightarrow p_۱ = ۶۰\,cm$$

$$\frac{۱}{p_۱}+\frac{۱}{q_۱}=\frac{۱}{f} \Rightarrow \frac{۱}{۶۰}+\frac{۱}{۳۰}=\frac{۱+۲}{۶۰} \Rightarrow f = ۲۰\,cm$$

**۸۰- گزینهٔ «۱»** از رابطهٔ بزرگنمایی داریم:

$$m = \frac{q}{p} = \frac{A}{B} = \frac{۵}{۱} \Rightarrow p = \frac{۵-۱}{۵}f = \frac{۴}{۵}f$$

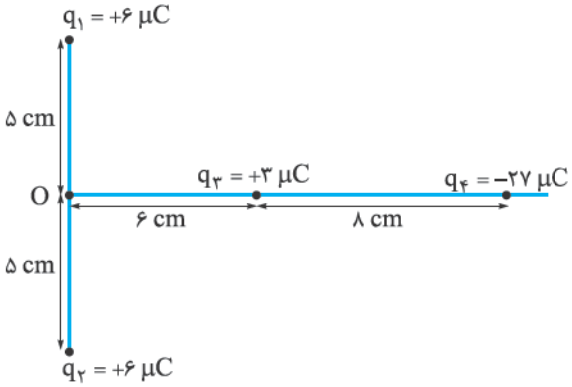
تصویر مستقیم در آینهٔ مقعر، مجازی و پشت آینه است؛ بنابراین: $p + q = ۴۸$.

$$p + q = ۴۸ \xrightarrow{q=۵p} ۶p = ۴۸ \Rightarrow p = ۸\,cm \Rightarrow \frac{۴}{۵}f = ۸ \Rightarrow f = ۱۰\,cm \Rightarrow f - p = ۲\,cm$$

**۸۱- گزینهٔ «۴»** در آینهٔ محدب، تصویر مجازی است، پس:

$$p = (\frac{|A-B|}{A})f \Rightarrow \begin{cases} m_۱ = \frac{۱}{۴} \Rightarrow p_۱ = ۳f \\ m_۲ = \frac{۱}{۲} \Rightarrow p_۲ = f \end{cases} \Rightarrow p_۱ - p_۲ = ۳f - f = ۲f = ۱۰ \Rightarrow f = ۵\,cm$$

**۲۴- بارهای الکتریکی $q_1$، $q_2$، $q_3$ و $q_4$ مطابق شکل روبه‌رو قرار گرفته‌اند. بار الکتریکی $q_4$ را چند سانتی‌متر و در کدام جهت جابه‌جا کنیم تا میدان حاصل از بارها در نقطهٔ O برابر صفر شود؟** *(ریاضی خارج ۸۹)*




۱) ۴ سانتی‌متر به راست

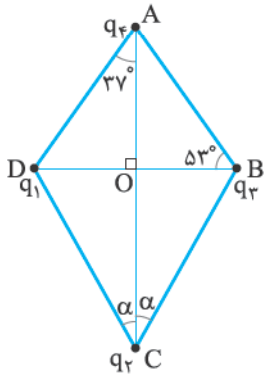
۲) ۴ سانتی‌متر به چپ

۳) ۱۰ سانتی‌متر به راست

۴) ۱۰ سانتی‌متر به چپ

**۲۵- چهار ذرهٔ باردار مطابق شکل در یک صفحه قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی وارد بر بار $q_4$ از طرف بارهای دیگر برابر صفر باشد، زاویهٔ $\alpha$ کدام است؟** *(تجربی ۸۹)*

$(\sin ۳۷^\circ = ۰/۶ , AO = ۴\ cm\ ,\ q_2 = ۶۴\ nC , q_1 = q_3 = -۱۰\ nC)$




۱) $۳۷^\circ$

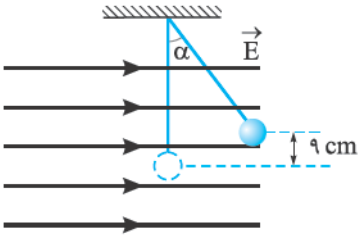
۲) $۵۳^\circ$

۳) $\text{Arc tan}\, ۲$

۴) $\text{Arc tan}\, \frac{۱}{۲}$

**۲۶- گلوله‌ای به جرم ۱۰ g به انتهای نخی با جرم ناچیز و طول ۴۵ cm بسته شده است. مطابق شکل، گلولهٔ آونگ در میدان الکتریکی یکنواختی به بزرگی $۱۰^۴\ N/C$ در حال تعادل است. بار الکتریکی گلوله چند میکروکولن است؟**

$(g = ۱۰\ N/kg)$




۱) $-۱/۵$

۲) $-۷/۵$

۳) $+۱/۵$

۴) $+۷/۵$

## انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی

این دو مفهوم مهم را در جدول زیر معرفی و مقایسه کرده‌ایم. حواسمان باشد که آن‌ها را به اشتباه به جای هم به کار نبریم.

| انرژی پتانسیل الکتریکی (U) | پتانسیل الکتریکی (V) |
|---|---|
| وقتی یک بار الکتریکی در میدان الکتریکی قرار گیرد، به آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود. در چنین حالتی، بار توانایی حرکت (انجام کار) بر اثر نیروی الکتریکی را دارد. به این توانایی انجام کار، انرژی پتانسیل الکتریکی می‌گویند. | در هر نقطه از فضا، نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی به بار الکتریکی را پتانسیل الکتریکی آن نقطه از فضا می‌نامند.<br>پتانسیل الکتریکی: $V = \frac{U \rightarrow \text{انرژی پتانسیل الکتریکی}}{q \rightarrow \text{بار الکتریکی}}$ |
| واحد انرژی پتانسیل الکتریکی: ژول (J) | واحد پتانسیل الکتریکی: $\text{ولت}\ (V) = \frac{\text{ژول}}{\text{کولن}}\ (J/C)$ |

ادامهٔ جدول در صفحهٔ بعد

| | |
|---|---|
| انرژی پتانسیل الکتریکی به نوع و اندازهٔ بار وابسته است. | پتانسیل الکتریکی خاصیتی است که فقط به نقاط فضا نسبت داده می‌شود و به نوع و اندازهٔ باری که در آن فضا قرار می‌گیرد، بستگی ندارد. |
| هرگاه یک بار الکتریکی در میدان رها شود، حرکت خودبه‌خودی آن همواره در جهتی است که انرژی پتانسیل الکتریکی آن بار کاهش می‌یابد. | حرکت خودبه‌خودی بار «+» به سمت نقاط با پتانسیل الکتریکی کم‌تر است.<br>حرکت خودبه‌خودی بار «−» به سمت نقاط با پتانسیل الکتریکی بیشتر است. |
| حرکت بار «+» در جهت خطوط میدان، انرژی پتانسیل بار را کاهش می‌دهد و بالعکس.<br>حرکت بار «−» در جهت خطوط میدان، انرژی پتانسیل بار را افزایش می‌دهد و بالعکس. | با حرکت در جهت خطوط میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی نقاط کاهش می‌یابد. |
| **تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی** یک بار الکتریکی که بین دو نقطه جابه‌جا می‌شود، برابر با منفی کاری است که میدان الکتریکی برای جابه‌جایی آن بار بین آن دو نقطه انجام می‌دهد: $\Delta U_E = -W_E$<br>اگر سرعت اولیه و نهایی بار یکسان باشد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی برابر است با کار نیروی خارجی: $\Delta U_E = W_{\text{خارجی}}$ | **اختلاف پتانسیل الکتریکی** بین دو نقطه، برابر است با نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی به بار، وقتی بار بین آن دو نقطه جابه‌جا شود:<br>$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-W_E}{q}$ |
| تغییر انرژی پتانسل الکتریکی یک بار در میدان الکتریکی یکنواخت:<br>$\Delta U_E = -W_E = -qEd\cos\alpha$<br>در این رابطه، علامت بار را در نظر می‌گیریم. | اختلاف پتانسیل بین دو نقطه در میدان الکتریکی یکنواخت:<br>$\Delta V = -Ed\cos\alpha$ (جابه‌جایی بار ↑)<br>• اگر جابه‌جایی در جهت خطوط میدان باشد: $\Delta V = -Ed$<br>• اگر جابه‌جایی خلاف جهت خطوط میدان باشد: $\Delta V = Ed$ |
| در رابطه‌های بالا، $\alpha$ زاویهٔ بین میدان الکتریکی و جهت جابه‌جایی بار است. | |

**نکات بیشتری راجع به مفاهیم جدول بالا:**

- پتانسیل الکتریکی در نزدیکی بارهای مثبت بیشتر از پتانسیل الکتریکی در نزدیکی بارهای منفی است.
- در جابه‌جایی عمود بر خطوط میدان، انرژی پتانسیل الکتریکی بار و پتانسیل الکتریکی نقاط ثابت می‌مانند.
- **تغییر انرژی جنبشی بار الکتریکی:** با استفاده از قضیهٔ کار و انرژی $(W_t = \Delta k)$ می‌توانیم تغییر انرژی جنبشی یک بار الکتریکی را با استفاده از کار میدان و کار نیروی خارجی به دست آوریم: $\Delta K = W_E + W_{\text{خارجی}}$ :تغییر انرژی جنبشی

حالا اگر اندازهٔ سرعت بار الکتریکی قبل و بعد از حرکت، یکسان باشد، خواهیم داشت: $W_{\text{خارجی}} = -W_E = q\Delta V$

- اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه، عامل شارش بار بین آن دو نقطه است. شارش بار مثبت از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کم‌تر تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که دو نقطه هم‌پتانسیل شوند.
- بنا بر قرارداد، پتانسیل الکتریکی زمین را صفر در نظر می‌گیریم و آن را پتانسیل مرجع می‌نامیم. منظور از پتانسیل

الکتریکی یک نقطه، اختلاف پتانسیل آن نقطه با پتانسیل مرجع است.

برای میدان الکتریکی از سه فرمول استفاده می‌کنیم:

در حالت کلی: $E = \frac{F}{q_0}$ ← باری که در داخل میدان E قرار می‌گیرد

میدان یکنواخت: $E = \frac{|\Delta V|}{d}$

میدان بار نقطه‌ای: $E = \frac{kq}{r^2}$ ← باری که میدان E را ایجاد کرده است

## سوال‌ها

**۲۷- در یک فضا، میدان الکتریکی ثابت و یکنواخت برقرار است. ذره‌ای با بار الکتریکی منفی را در نقطه‌ای از این فضا از حال سکون رها می‌کنیم. تا زمانی که ذره تحت اثر میدان الکتریکی در این فضا جابه‌جا می‌شود، به سمت مکان‌هایی با پتانسیل الکتریکی ..... می‌رود و انرژی پتانسیل الکتریکی آن ..... می‌یابد. (از وزن ذره صرف‌نظر شود.)** (ریاضی خارج ۹۳)

۱) کم‌تر ـ افزایش ۲) کم‌تر ـ کاهش ۳) بیشتر ـ افزایش ۴) بیشتر ـ کاهش

**۲۸- ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت q را با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواخت $\bar{E}$، در خلاف جهت میدان و به موازات خطوط میدان به اندازهٔ d جابه‌جا می‌کنیم. در این صورت انرژیِ ..... بار q به اندازهٔ Eqd ..... می‌یابد.** (ریاضی خارج ۸۶)

۱) جنبشی ـ افزایش ۲) جنبشی ـ کاهش

۳) پتانسیل الکتریکی ـ افزایش ۴) پتانسیل الکتریکی ـ کاهش

**۲۹- در یک میدان الکتریکی، بار $q = -2\,\mu C$ از نقطهٔ A تا B جابه‌جا می‌شود. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی آن در نقطه‌های A و B به ترتیب $0/4\,mJ$ و $0/6\,mJ$ باشد و پتانسیل نقطهٔ A برابر $20\,V$ باشد، پتانسیل نقطهٔ B چند ولت است؟** (تجربی خارج ۹۳)

۱) ۸۰ ۲) −۸۰ ۳) −۱۲۰ ۴) ۱۲۰

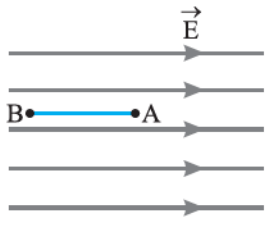
**۳۰- بار الکتریکی ۵− میلی‌کولنی، از نقطهٔ A به پتانسیل الکتریکی ۲ ولت به نقطهٔ B منتقل می‌شود. اگر در این جابه‌جایی کار نیروی میدان الکتریکی ۵ میلی‌ژول باشد، پتانسیل نقطهٔ B چند ولت است؟** (تجربی ۹۰)

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) ۱۰ ۴) ۳۰

**۳۱- بین دو صفحهٔ موازی که به فاصلهٔ $2\,cm$ از هم قرار دارند، اختلاف پتانسیل الکتریکی ۵۰۰ ولت ایجاد کرده‌ایم. اگر یک ذرهٔ آلفا بین این دو صفحه قرار گیرد، نیروی الکتریکی وارد بر آن چند نیوتون خواهد شد؟ $(e = 1/6\times10^{-19}\ C)$**

۱) $8\times10^{-13}$ ۲) $8\times10^{-15}$ ۳) $4\times10^{-13}$ ۴) $4\times10^{-15}$ (ریاضی ۹۵)

**۳۲- بار الکتریکی $q = -4\,\mu C$ مطابق شکل در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $10^5\ V/m$ رها می‌شود. در جابه‌جایی بار q از A تا B انرژی جنبشی بار، ۸ میلی‌ژول افزایش می‌یابد. $V_B - V_A$ چند کیلوولت است؟** (ریاضی ۸۹)



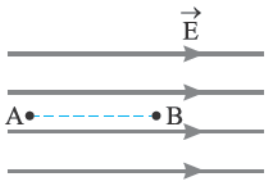

۱) ۲ ۲) −۲

۳) ۲۰۰ ۴) −۲۰۰

**۳۳- در یک میدان الکتریکی یکنواخت، ذرهٔ بارداری به جرم ۰/۱ گرم، از نقطه‌ای به پتانسیل الکتریکی ۱۰۰+ ولت از حال سکون به حرکت درمی‌آید و با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه به نقطهٔ دیگری به پتانسیل الکتریکی ۱۰۰− ولت می‌رسد. اگر در این مسیر نیروی مؤثر بر ذره فقط حاصل از میدان الکتریکی باشد، بار الکتریکی ذره چند میکروکولن است؟** (ریاضی خارج ۹۵)

۱) ۲/۵ ۲) ۴ ۳) ۲۵ ۴) ۴۰

۳۴- در شکل روبه‌رو، در میدان الکتریکی یکنواخت $10^5\ N/C$، ذره‌ای با بار الکتریکی $q = -5\ \mu C$ در نقطهٔ B بدون سرعت اولیه رها می‌شود. وقتی این ذره در مسیر مستقیم، ۲۰ سانتی‌متر جابه‌جا شده و به نقطهٔ A می‌رسد. انرژی جنبشی آن چند ژول می‌شود؟ (از اثر گرانش و نیروهای مقاوم در مقابل حرکت ذره صرف‌نظر شود.) (ریاضی خارج ۹۴)




۱) ۰/۱ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۰۱ ۴) ۰/۰۵

## توزیع بار الکتریکی روی اجسام

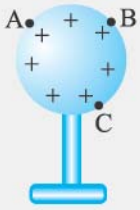
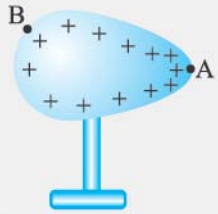
وقتی مقداری بار الکتریکی روی یک جسم قرار می‌دهیم، بسته به این‌که جسم رسانا یا نارسانا باشد، توزیع بارها متفاوت است:

| توزیع بار در اجسام نارسانا | توزیع بار در اجسام رسانا |
|---|---|
| بار نمی‌تواند در جسم نارسانا حرکت کند. بار قرار داده‌شده در جای خود ثابت می‌ماند. | بارهای الکتریکی در جسم رسانا حرکت می‌کنند تا در دورترین فاصله از یکدیگر و روی بیرونی‌ترین سطح رسانا قرار گیرند. در حالت تعادل (که بارها حرکت نمی‌کنند)، در داخل یک رسانای بسته، هیچ باری وجود ندارد. |

توزیع بار در اجسام رسانا به گونه‌ای اتفاق می‌افتد که پتانسیل الکتریکی تمام نقاط سطح رسانا با هم برابر شوند؛ یعنی سطح رسانا در حالت تعادل، یک سطح هم‌پتانسیل است.

**چگالی سطحی بار** نسبت بار توزیع‌شده روی رسانا به سطح آن رسانا را چگالی سطحی بار می‌نامیم:

$$\text{چگالی سطحی بار } (C/m^2) \leftarrow \sigma = \frac{q \rightarrow \text{بار الکتریکی } (C)}{A \rightarrow \text{سطح رسانا } (m^2)}$$

| توزیع بار روی یک کرهٔ رسانا به صورت متقارن بوده و چگالی سطحی در تمام نقاط آن یکسان است. | توزیع بار در اجسامی که تقارن کروی ندارند، به گونه‌ای است که تراکم بار و چگالی سطحی آن در نقاط نوک‌تیز بیشتر از نقاط دیگر است. |
|---|---|
|   $\sigma_A = \sigma_B = \sigma_C$ $V_A = V_B = V_C$ |   $\sigma_A > \sigma_B$ $V_A = V_B$ |

## سوال‌ها

۳۵- چگالی سطحی بار الکتریکی کره‌ای فلزی به قطر یک متر، $5\ \mu C/m^2$ است. بار الکتریکی موجود در سطح کره چند میکروکولن است؟ (ریاضی خارج ۸۹)

۱) $5\pi$ ۲) $7/5\pi$ ۳) ۱۲/۵ ۴) ۱۵

۳۶- یک کرهٔ رسانا به شعاع ۱۰ cm، روی پایهٔ عایق قرار دارد. چگالی سطحی بار کره $160\ \mu C/m^2$ است. اگر کره را با یک سیم به زمین (چشمهٔ خنثای بار الکتریکی) اتصال دهیم، چند الکترون از زمین به کره منتقل می‌شود؟ $(e = 1/6\times10^{-19}\ C\ ,\ \pi = 3)$

۱) $1/2\times10^{13}$ ۲) $1/2\times10^{14}$ ۳) $1/2\times10^{17}$ ۴) $1/2\times10^{19}$ (تجربی ۹۲)

۳۷- دو کرهٔ رسانای A و B به شعاع‌های $r_A$ و $r_B = 2r_A$ و چگالی سطحی بار $\sigma_A$ و $\sigma_B = 2\sigma_A$ دارای بار الکتریکی مثبت‌اند. چند درصد از بار کرهٔ بزرگ‌تر به کرهٔ کوچک‌تر منتقل شود تا نسبت بار کره‌ها برابر نسبت شعاع آن‌ها شود؟ (ریاضی ۹۳)

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۷۵

# ۱۰ القای الکترومغناطیس

در کنکور ریاضی ۲ تست (۴/۴ درصد)
در کنکور تجربی ۱ تست (۳/۳ درصد)

## شار مغناطیسی

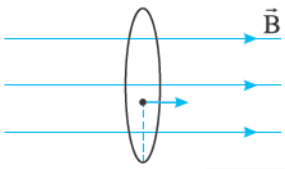
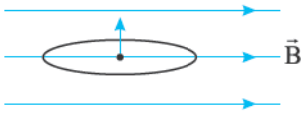
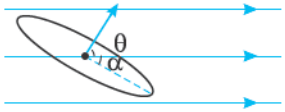
برای بیان تعداد خطوط میدان مغناطیسی که از یک سطح بسته عبور می‌کنند از کمیتی به نام شار مغناطیسی استفاده می‌کنیم.

$$\varphi = AB\cos\theta$$

- $\varphi$: شار مغناطیسی ($T.m^2$ یا $Wb$)
- $A$: مساحتی که خطوط میدان از آن می‌گذرد ($m^2$)
- $B$: میدان مغناطیسی ($T$)
- $\theta$: زاویهٔ بین بردار عمود بر سطح و خطوط میدان

جهت بردار عمود بر سطح، اختیاری است اما بعد از انتخاب آن نباید جهتش را تغییر داد.

**سه شکل ـ سه نکته:** با فرض ثابت‌بودن A و B به شکل‌های زیر توجه کنید:

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| بیشترین شار گذرنده از صفحه هنگامی است که صفحه عمود بر خطوط میدان مغناطیسی قرار گیرد.<br>$\theta = 0 \Rightarrow \cos\theta = 1$<br>$\Rightarrow \varphi_{max} = AB$ | وقتی سطح، موازی با خطوط میدان مغناطیسی قرار گیرد، شار عبوری از آن صفر است:<br>$\theta = 90^\circ \Rightarrow \cos\theta = 0$<br>$\Rightarrow \varphi = 0$ | زاویهٔ بین سطح و خطوط میدان ($\alpha$) متمم زاویهٔ $\theta$ است. اگر زاویهٔ بین سطح و خطوط میدان داده شد، از این تبدیل استفاده می‌کنیم:<br>$\theta = 90 - \alpha$ |

## سوال‌ها

**۱- حلقه‌ای درون میدان مغناطیسی یکنواخت ۰/۲ تسلا قرار دارد و حول یکی از قطرهایش که عمود بر خطوط میدان است می‌چرخد و بیشترین شار مغناطیسی که از آن می‌گذرد $4\times10^{-3}$ وبر است. مساحت این حلقه چند سانتی‌متر مربع است؟** *(تجربی خارج ۸۹)*

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۲۰۰

۲- اگر بردار میدان مغناطیسی یکنواختی در SI به صورت $\vec{B}=0/3\vec{i}+0/4\vec{j}$ باشد و حلقه‌ای به مساحت $200\ cm^2$ که سطح آن موازی محور x و عمود بر محور y است، در این میدان قرار داشته باشد، بزرگی میدان مغناطیسی در آن محیط و شار مغناطیسی عبوری از حلقه در SI از راست به چپ کدام‌اند؟ (ریاضی ۹۲)

۱) صفر و صفر ۲) ۰/۵ و $6\times10^{-3}$ ۳) ۰/۷ و $8\times10^{-3}$ ۴) ۰/۵ و $8\times10^{-3}$

۳- سیملوله‌ای به طول ۲۰ سانتی‌متر دارای ۱۰۰ حلقه است. حلقه‌ها به دور یک میلهٔ آهنی به شعاع مقطع ۲ cm و به تراوایی مغناطیسی ۳۰۰، به صورت منظم پیچیده شده‌اند. وقتی جریان ۰/۵ A از سیملوله می‌گذرد، شار مغناطیسی گذرنده از آن، چند وبر است؟ ($\pi^2=10$, $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\frac{T.m}{A}$ است.) (ریاضی خارج ۹۲)

۱) $8\times10^{-7}$ ۲) $4\times10^{-7}$

۳) $12\times10^{-5}$ ۴) $24\times10^{-7}$

## قانون لنز

تغییر شار مغناطیسی گذرنده از یک مدار بسته باعث ایجاد جریان القایی در آن مدار می‌شود. قانون لنز، جهت این جریان را بیان می‌کند.

**قانون لنز:** جهت جریان القایی در مدار به گونه‌ای است که میدان مغناطیسی ناشی از آن، با تغییر شار مغناطیسی مخالفت کند.

در فصل مغناطیس دیدیم که جریان الکتریکی باعث ایجاد میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان می‌شود. حالا این جریان می‌تواند جریان القایی باشد.

جریان القایی ⇐ ایجاد میدان مغناطیسی القایی ⇐ مخالفت با تغییر شار

شار مغناطیسی اولیهٔ عبوری از مدار (حلقه یا پیچه) توسط یک میدان مغناطیسی ایجاد شده بود (میدان مغناطیسی اصلی)، بنابراین می‌توان گفت:

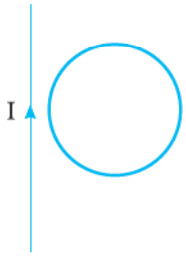
افزایش شار ⇐ ایجاد میدان مغناطیسی القایی در خلاف جهت میدان اصلی (برای مخالفت با تغییر شار)

کاهش شار ⇐ ایجاد میدان مغناطیسی القایی در جهت میدان اصلی (برای مخالفت با تغییر شار)

جهت جریان القایی و میدان مغناطیسی القایی نیز بنا بر قاعدهٔ دست راست (که آن را در فصل مغناطیس دیدیم) تعیین می‌شود.

## سوال‌ها

۴- در شکل روبه‌رو، حلقهٔ رسانا و سیم راست در یک صفحه قرار دارند. اگر حلقه را ..... و یا شدت جریان I را ....., جریان القایی در حلقه ساعتگرد خواهد شد. (تجربی ۹۳ ـ مشابه ریاضی خارج ۹۵)



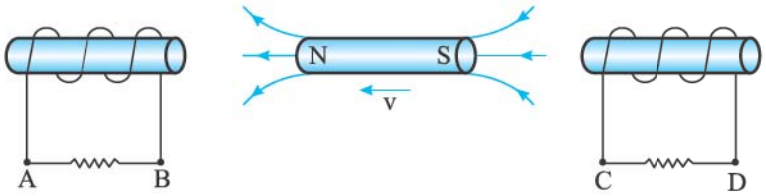

۱) از سیم دور کنیم ـ کاهش دهیم

۲) از سیم دور کنیم ـ افزایش دهیم

۳) به سیم نزدیک کنیم ـ کاهش دهیم

۴) به سیم نزدیک کنیم ـ افزایش دهیم

**۵- در شکل زیر، سیملوله‌ها ثابت‌اند. آهن‌ربا به سمت چپ در حرکت است. جهت جریان القایی در مقاومت‌ها کدام است؟** *(ریاضی خارج ۹۰ ـ مشابه تجربی خارج ۹۰)*



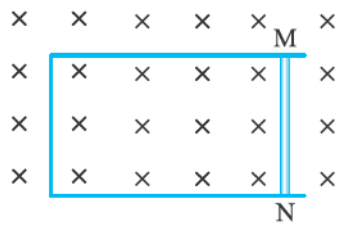

۱) از D به C و از A به B

۲) از C به D و از A به B

۳) از D به C و از B به A

۴) از C به D و از B به A

**۶- در شکل روبه‌رو، میدان مغناطیسی درون‌سو است و قاب U شکل رسانا است. اگر مماس بر قاب، میلهٔ رسانای MN را از حال سکون با شتاب به سمت چپ ببریم، جریان القایی در میله از ..... بوده و اندازهٔ آن در این وضعیت، ..... خواهد بود.** *(ریاضی ۹۱)*




۱) M به N، در حال افزایش

۲) M به N، ثابت

۳) N به M، ثابت

۴) N به M، در حال افزایش

## نیروی محرکهٔ القایی

ایجاد جریان القایی در مدار به خاطر نیروی محرکهٔ القایی است که با قانون زیر توضیح داده می‌شود:

**قانون القای الکترومغناطیسی فارادی:** هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن مدار القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

تغییر شار مغناطیسی ⇐ نیروی محرکهٔ القایی ⇐ جریان القایی

نیروی محرکهٔ القایی در یک حلقه ← $\varepsilon = \frac{-d\varphi}{dt}$

↓

آهنگ تغییر شار مغناطیسی (مشتق شار نسبت به زمان)

جریان القایی لحظه‌ای: $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-N}{R}\frac{d\varphi}{dt}$ ⇒ نیروی محرکهٔ القایی لحظه‌ای در پیچه‌ای با N حلقه: $\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$

جریان القایی متوسط: $\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = \frac{-N}{R}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ ⇒ نیروی محرکهٔ القایی متوسط در پیچه‌ای با N حلقه: $\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$

علامت منفی در روابط بالا بیان‌کنندهٔ جهت نیروی محرکه و جریان القایی است که آن را بنا بر قانون لنز تعیین کردیم.

## سوال‌ها

**۷- آهنگ تغییر شار مغناطیسی از جنس کدام کمیت فیزیکی است؟** *(تجربی ۹۱)*

۱) میدان مغناطیسی

۲) نیروی محرکهٔ الکتریکی

۳) شدت جریان الکتریکی

۴) نیروی الکترومغناطیسی

**۸- معادلهٔ شار مغناطیسی عبوری از یک سیملوله که شامل ۱۰۰ حلقه است، در SI به صورت $\varphi = \frac{۲}{۳}\times ۱۰^{-۲}\cos ۱۰۰\pi t$ است. بیشینهٔ نیروی محرکهٔ القایی و هم‌چنین نیروی محرکه در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۶۰۰}s$، به ترتیب کدام است؟ $(\pi = ۳)$** *(ریاضی خارج ۹۳ ـ مشابه تجربی خارج ۹۱)*

۱) ۲ ولت و $\sqrt{۳}$ ولت

۲) ۲۰۰۰ ولت و $۱۰۰۰\sqrt{۳}$ ولت

۳) ۲۰۰ ولت و $۱۰۰\sqrt{۳}$ ولت

۴) ۲۰۰ ولت و ۱۰۰ ولت

# پاسخ‌نامهٔ تشریحی

**۱- گزینهٔ «۴»** بیشترین شار مغناطیسی هنگامی از حلقه می‌گذرد که نیم‌خط عمود بر آن صفحه در راستای خطوط میدان قرار گیرد. در این حالت:

$$\theta = ۰ \Rightarrow \cos\theta = ۱$$

$$\varphi_{max} = AB \Rightarrow ۴\times۱۰^{-۳} = A\times ۰/۲ \Rightarrow A = \frac{۴\times۱۰^{-۳}}{۰/۲} = ۲۰\times۱۰^{-۳}\,m^۲ = ۲۰\times۱۰^{-۳}\times۱۰^۴\,cm^۲ = ۲۰۰\,cm^۲$$

**۲- گزینهٔ «۴»** ابتدا بزرگی میدان مغناطیسی را حساب می‌کنیم:

$$|\vec{B}| = \sqrt{۰/۳^۲ + ۰/۴^۲} = ۰/۵\,T \Rightarrow \text{حذف } ① \text{ و } ③$$

چون حلقه موازی محور x و عمود بر محور y است، تنها مؤلفه‌ای از میدان که در جهت y است، شار مغناطیسی ایجاد می‌کند. بنابراین:

$$\varphi = AB \Rightarrow \varphi = ۲۰۰\times۱۰^{-۴}\times ۰/۴ = ۸۰\times۱۰^{-۴} = ۸\times۱۰^{-۳}\ Wb$$

**۳- گزینهٔ «۳»** خطوط میدان مغناطیسی در داخل سیملوله و دور از لبه‌ها یکنواخت است. این خطوط به طور عمودی از سطح مقطع سیملوله عبور کرده و شار مغناطیسی ایجاد می‌کند. با اطلاعات داده‌شده میدان مغناطیسی و سطح مقطع سیملوله را یافته و با آن‌ها شار را تعیین می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} A = \pi r^۲ = \pi\times۴\times۱۰^{-۴} \\ B = K\mu_۰\frac{N}{\ell}I = ۳۰۰\times۴\pi\times۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰۰}{۰/۲}\times ۰/۵ \end{array}\right\} \xrightarrow{\varphi=AB} \varphi = ۴\pi\times۱۰^{-۴}\times۳۰۰\times۴\pi\times۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰۰}{۰/۲}\times ۰/۵$$

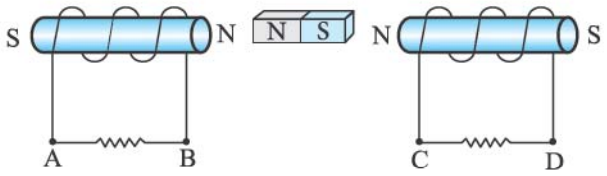
$$= ۴\pi^۲\times۴\times۳\times۱۰^{-۷}\times\frac{۰/۵}{۰/۲} = ۱۲\times۱۰^{-۵}\ Wb$$

**۴- گزینهٔ «۱»** بنا بر قاعدهٔ دست راست، میدان مغناطیسی سیم حامل جریان در محل حلقه درون‌سو است. از طرفی جریان القایی ساعتگرد در حلقه نیز بنا بر قاعدهٔ دست راست، تولید یک میدان مغناطیسی درون‌سو در محل حلقه می‌کند.

بنا بر قانون لنز، جریان القایی و میدان مغناطیسی ناشی از آن در جهتی است که با تغییر شار در محل حلقه مخالفت کند. هم‌جهت بودن میدان مغناطیسی سیم و میدان القایی حلقه نشان می‌دهد که شار مغناطیسی در محل حلقه کاهش یافته و جریان القایی سعی در جبران این کاهش دارد.

دورشدن حلقه از سیم و یا کاهش جریان در سیم سبب کاهش شار در محل حلقه است.

**۵- گزینهٔ «۱»** با حرکت آهن‌ربا جریان القایی در سیملوله‌های چپ و راست به گونه‌ای ایجاد می‌شود که با حرکت آهن‌ربا مخالفت کند (قانون لنز). بنابراین قطب‌های ایجادشده در سیملوله‌ها باید به شکل مقابل باشد:




برای ایجاد چنین قطب‌هایی، در سیملولهٔ چپ جریان باید از A به B و در سیملولهٔ راست از D به C باشد.

- قطب‌های سیملوله بر مبنای جهت جریان از قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود.
- قطب‌های همنام همدیگر را می‌رانند و قطب‌های ناهمنام همدیگر را می‌ربایند تا در این‌جا با حرکت آهن‌ربا مخالفت کنند.

**۶- گزینهٔ «۱»** با حرکت میله به سمت چپ، شار مغناطیسی گذرنده از سطح بسته در حال کاهش است. بنا بر قانون لنز، جریان القایی با تقویت میدان مغناطیسی درون‌سو با این کاهش مخالفت می‌کند. جریان القایی در سطح بسته باید ساعتگرد ( از M به N ) باشد تا میدان درون‌سو را تقویت کند.

حرکت با شتاب میله به سمت چپ به معنای افزایش سرعت حرکت میله است. افزایش مستمر سرعت حرکت میله باعث افزایش جریان القایی در آن می‌شود.

**۷- گزینهٔ «۲»** در درس‌نامه داشتیم: (آهنگ تغییر شار مغناطیسی)$-=$ نیروی محرکهٔ القایی $\Rightarrow \varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$

**۸- گزینهٔ «۴»**

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = -۱۰۰\times\frac{۲}{۳}\times۱۰^{-۲}\times۱۰۰\pi\times(-\sin۱۰۰\pi t)$$

بیشینهٔ این مقدار وقتی حاصل می‌شود که $\sin۱۰۰\pi t = ۱$ باشد:

$$\varepsilon_{max} = \frac{۲}{۳}\times۱۰۰\pi = \frac{۲}{۳}\times۱۰۰\times۳ = ۲۰۰\,V \xrightarrow{t=\frac{۱}{۶۰۰}} \varepsilon = \frac{۲}{۳}\times۳\times۱۰۰\times\sin\frac{۱۰۰\pi}{۶۰۰} = \frac{۲}{۳}\times۳\times۱۰۰\times\sin\frac{\pi}{۶} = ۱۰۰\,V$$

**۹- گزینهٔ «۲»** با مشتق‌گیری از رابطهٔ داده‌شده، معادلهٔ جریان القایی را به دست می‌آوریم:

$$|I| = |\frac{-N}{R}\frac{d\varphi}{dt}| \Rightarrow |I| = \frac{۶۰}{۲۰}[۰/۰۰۲\times۵۰۰\times\cos(۵۰۰t-\frac{\pi}{۶})] \Rightarrow |I| = (۳\times۱)\cos(۵۰۰t-\frac{\pi}{۶})$$

این مقدار وقتی بیشینه است که $\cos\theta = ۱$ باشد، در نتیجه: $I_{max} = ۳A$

**۱۰- گزینهٔ «۱»** بزرگی نیروی محرکهٔ القایی متوسط: $|\bar{\varepsilon}| = |-N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}| \Rightarrow |\bar{\varepsilon}| = |-۱\times\frac{\varphi_۲-\varphi_۱}{t_۲-t_۱}|$

$$\Rightarrow |\bar{\varepsilon}| = |\frac{۳۲\times۱۰^{-۳}-۰}{۲-۰}| = ۱۶\,mV$$

از معادلهٔ $\varphi$ مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، شار در حال افزایش است. طبق قانون لنز، جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با این افزایش شار مخالفت کند. بنابراین جریان القایی در حلقه در جهتی است که میدان اصلی درون‌سو را تضعیف کند (یعنی میدان القایی باید برون‌سو باشد). پس جریان القایی در حلقه پادساعتگرد و در مدار از A به B است.

**۱۱- گزینهٔ «۴»** در این سؤال نیروی محرکهٔ القایی لحظه‌ای خواسته شده (برعکس سؤال قبل که متوسط را می‌خواست)؛ داریم:

$$|\varepsilon| = |-\frac{d\varphi}{dt}| \Rightarrow |\varepsilon| = (۸t+۸)\times۱۰^{-۲} \xrightarrow{t=۱s} |\varepsilon| = ۱۶\times۱۰^{-۲}\,V = ۰/۱۶\,V$$

در این‌جا نیز شار مغناطیسی با گذشت زمان در حال افزایش است و جهت جریان القایی دقیقاً مانند سؤال قبل تعیین می‌شود.

**۱۲- گزینهٔ «۴»** از رابطهٔ توان $(P = \frac{\varepsilon^۲}{R})$ مشخص است که توان همواره مثبت است (حذف ① و ③). تفاوت گزینه‌های (۲) و (۴) در بازهٔ زمانی ۰/۰۲ s تا ۰/۰۵ s است. توان را در این بازه به دست می‌آوریم:

$$\varepsilon = -NA\cos\theta\frac{\Delta B}{\Delta t} = -۱\times(\pi\times(۱۰\times۱۰^{-۲})^۲)\times۱\times\frac{۰-۰/۵}{۰/۰۵-۰/۰۲} = -۳\times۱۰^{-۲}\times(-\frac{۰/۵}{۰/۰۳}) = +۰/۵\,V$$

$$P = \frac{\varepsilon^۲}{R} = \frac{(۰/۵)^۲}{۵} = ۰/۰۵\,W$$

**۱۳- گزینهٔ «۳»** نیروی محرکهٔ القایی در هر لحظه برابر با منفی شیب نمودار $\varphi - t$ در آن نقطه است. نمودار داده‌شده خطی است. در چنین حالتی داریم: $\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$

در نتیجه: $\varepsilon = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -(\frac{۰-۲}{۳-۱}) = ۱\,V$