



# به نام خدا



## مبانی فیزیک ۲

**دانشگاه علمی – کاربردی شرکت تولیدی لاستیک دنا**

مدرس:

زهرا اسدی

[zahra.asadi6640@yahoo.com](mailto:zahra.asadi6640@yahoo.com)

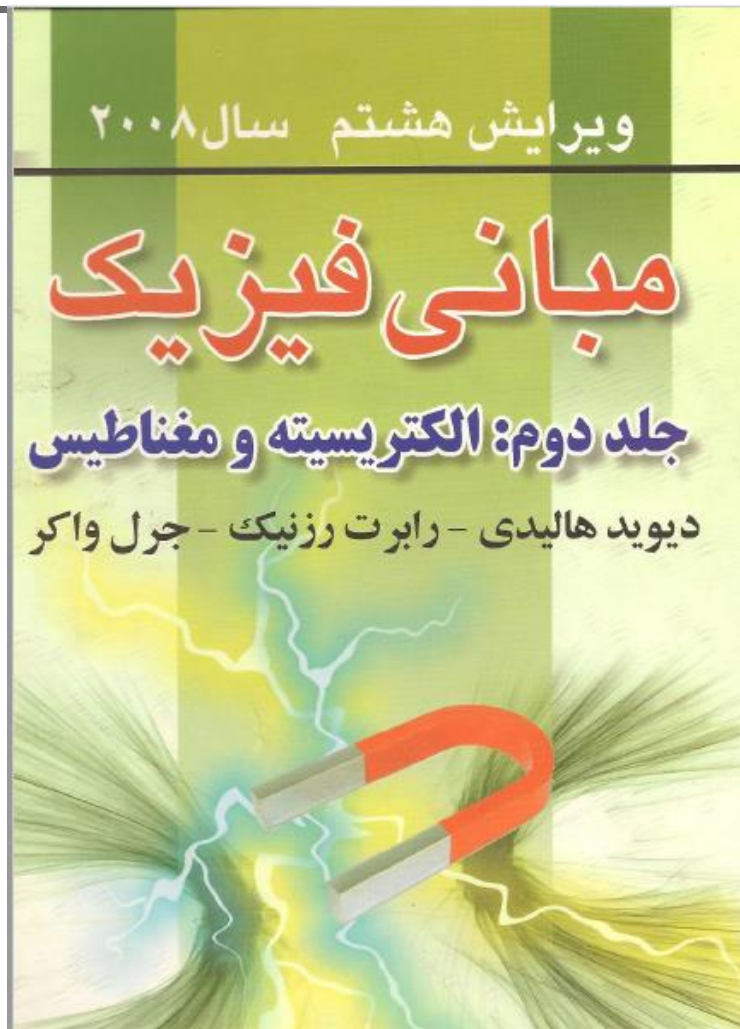
# معرفی کتاب

ویرایش هشتم سال ۲۰۰۸

## مبانی فیزیک

جلد دوم: الکتریسیته و مغناطیس

دیوید هالیدی - رابرت رزنیک - جرج واکر





## فصل دوم: میدان الکتریکی

---

- میدان الکتریکی
- خطوط نیرو
- محاسبه  $\vec{E}$
- بار نقطه ای در میدان الکتریکی
- دوقطبی در میدان الکتریکی

# میدان گرانشی

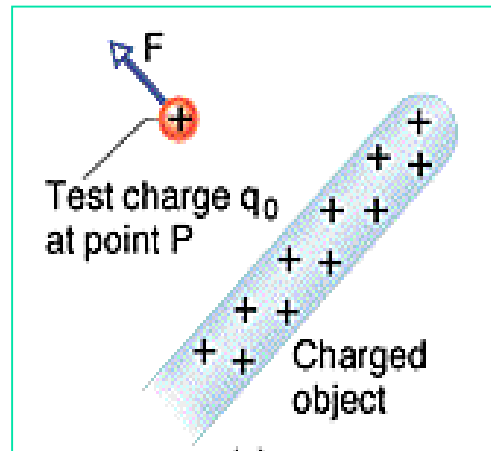
- به هر نقطه در فضای نزدیک به زمین می توان یک میدان گرانشی نسبت داد که شدت آن :

$$g = \frac{F}{m}$$

- که در آن  $F$  نیروی گرانشی وارد بر جسم  $m$  رها شده در میدان گرانشی است

# میدان الکتریکی

- اگر بار آزمونی را در فضا نزدیک یک میله باردار قرار دهیم بر آن نیروی الکترودستاتیک وارد میشود بطور مشابه می گوییم که در این فضا میدان

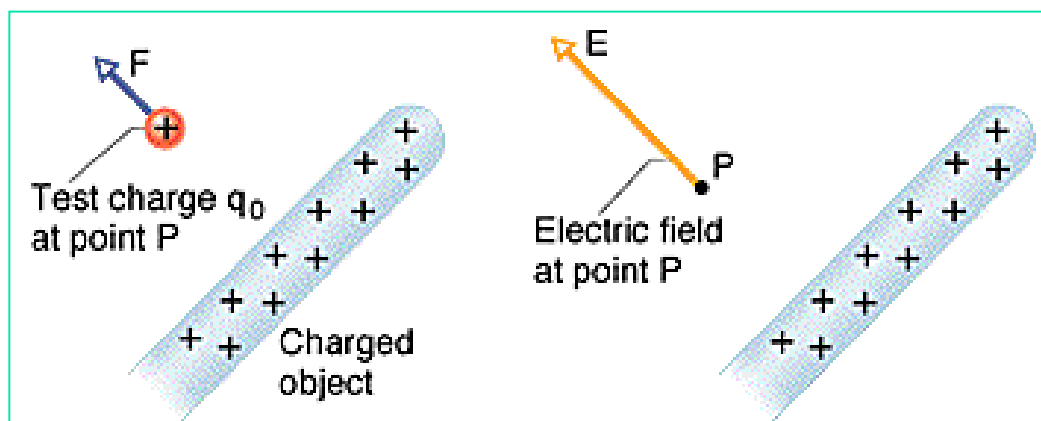


الکتریکی وجود دارد.

- بارهای الکتریکی از طریق میدانهای الکتریکی اطرافشان بر یکدیگر نیرو وارد می کنند.

# میدان الکتریکی

- اگر بر بار الکتریکی  $q_0$  که مثبت فرض می شود در یک نقطه نیروی  $F$  وارد شود، شدت میدان الکتریکی در آن نقطه بنا به تعریف :



$$E = \frac{F}{q_0}$$

- چون  $q_0$  کمیتی نرده است  $E$  یک بردار است که در جهت نیرو وارد بر بار آزمون مثبت است.



# میدان الکتریکی

■ از قانون کولن می‌دانیم که دو بار الکتریکی بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. این نیرو را می‌توان با استفاده از مفهوم جدیدی به نام میدان الکتریکی توضیح داد، یعنی واسطه‌ای که بارهای الکتریکی بواسطه آن بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

■ به بیان دیگر هر بار الکتریکی در فضای اطراف خود یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کند که هرگاه بار الکتریکی دیگری در محدوده این میدان قرار گیرد، بر آن نیروی وارد می‌شود



# میدان الکتریکی

- میدان الکتریکی کمیتی برداری است، یعنی در میدان الکتریکی علاوه بر مقدار دارای جهت نیز می باشد. برداری بودن این کمیت را می توان از تعریف آن نیز فهمید. چون میدان الکتریکی را به صورت نسبت نیرو بر بار تعریف کردیم و نیز چون نیرو بردار است، لذا میدان الکتریکی نیز بردار خواهد بود.



# مثال

■ در صورتی که الکترون در میدان الکتریکی  $E$  تحت تاثیر یک نیروی الکتریکی برابر با وزنش قرار بگیرد، بزرگی میدان چقدر است؟

$$F = mg$$

$$E = \frac{F}{q} = \frac{mg}{e} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 9.8}{1.6 \times 10^{-16}} = 5.6 \times 10^{-11} N/c$$

میدان الکتریکی در مجاورت سطح زمین در یک روز آفتابی حدود صد نیوتن بر کولن در جهت قائم رو به پایین است، نسبت نیروهای الکتریکی و گرانشی وارد بر یک الکترون را به دست آورید .

$$F = K \frac{Q \cdot q_0}{r^2}, m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}, g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$F_E = eq = (1.6 \times 10^{-19})(100) = 1.6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

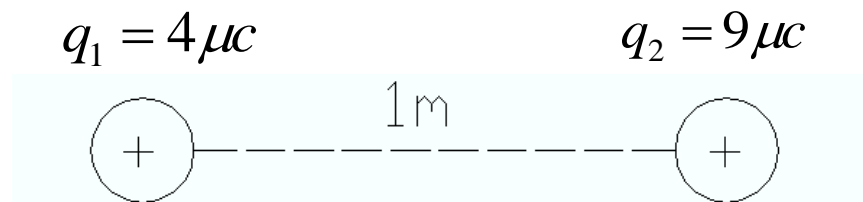
جهت نیروی الکتریکی قائم و رو به بالاست .

$$F_g = mg = (9.1 \times 10^{-31})(9.8) = 8.9 \times 10^{-30} \text{ N}$$

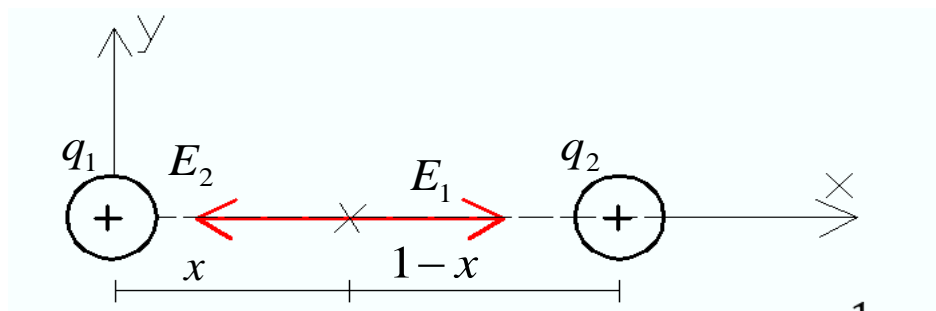
$$\frac{F_g}{F_E} = 5.6 \times 10^{-13}$$

# مثال

دو بار الکتریکی همنام  $q_1 = 4\mu\text{C}$ ,  $q_2 = 9\mu\text{C}$  در فاصله ۱ متری از یکدیگر قرار دارند، در چه نقطه ای به جز بینهایت روی امتداد خط واصل دو بار میدان الکتریکی برآیند صفر خواهد بود ؟



نقطه مورد نظر نزدیک بار کوچکتر و در فاصله بین دو بار قرار دارد.



$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$E_1 = E_2$$

$$K \frac{q_1}{x^2} = K \frac{q_2}{(1-x)^2} \Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6}}{x^2} = \frac{9 \times 10^{-6}}{(1-x)^2}$$

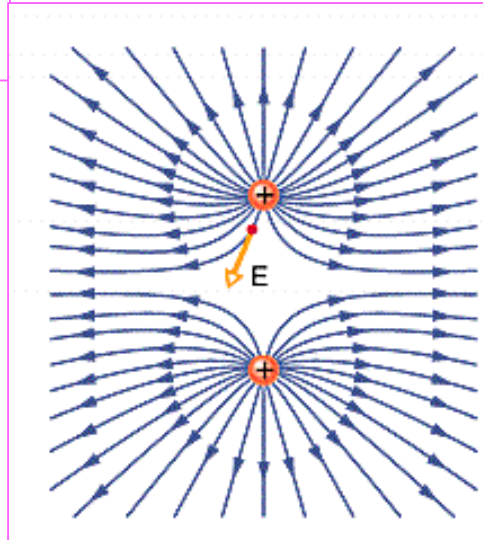
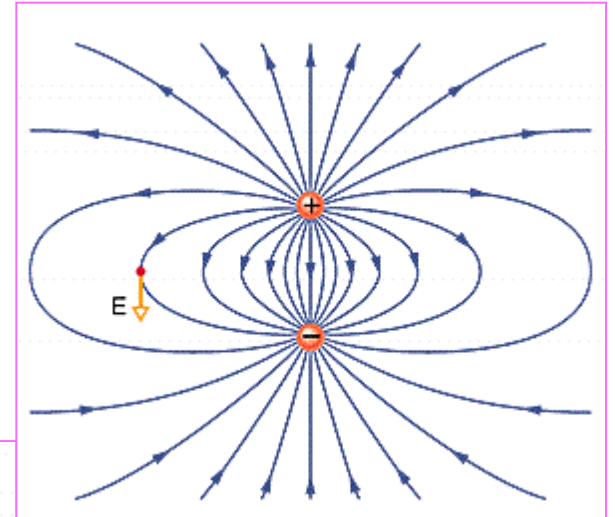
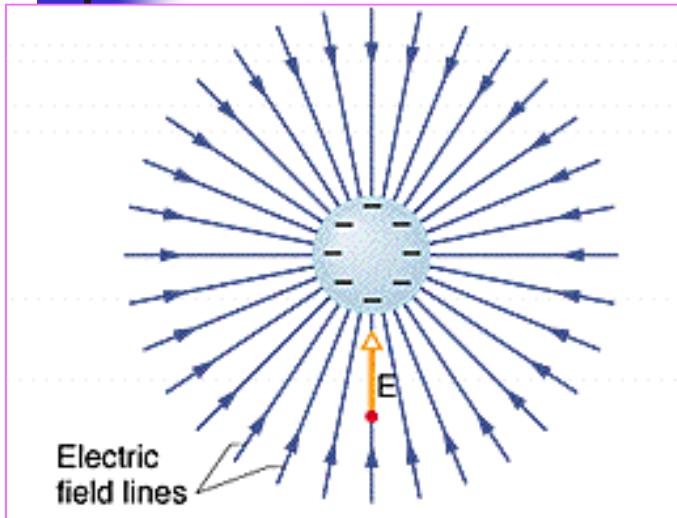
$$\frac{2}{x} = \pm \frac{3}{1-x} \Rightarrow \begin{cases} x = 0.4m & \text{غ. ق.} \\ x = -2m & \text{ق} \end{cases} \Rightarrow x = 0.4m$$



# خطوط میدان الکتریکی

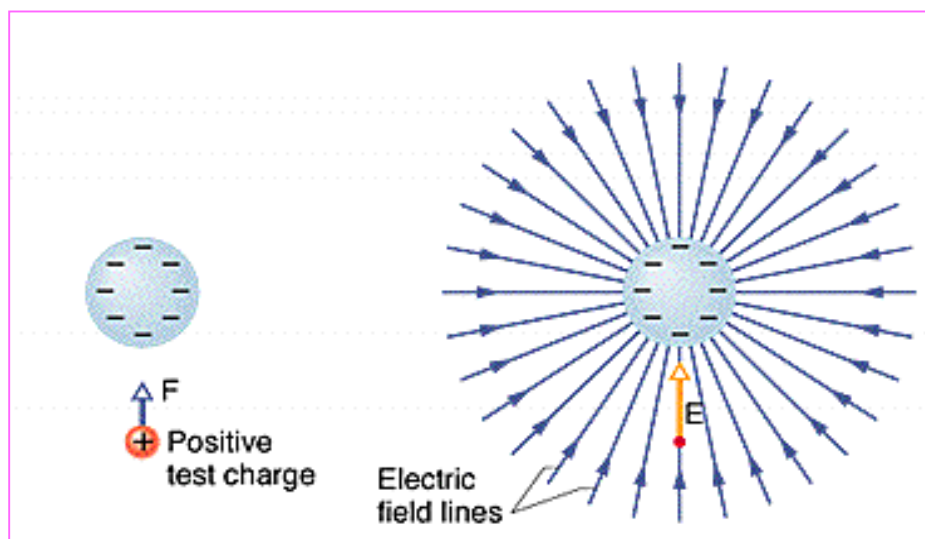
- معمولاً خطوط میدان الکتریکی در اطراف هر بار الکتریکی با استفاده از مفهوم خطوط نیرو نشان داده می‌شود. به عنوان مثال اگر یک بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت را در نقطه‌ای از فضا در نظر بگیریم، در این صورت خطوطی از این نقطه به طرف خارج رسم می‌شوند.
- مماس بر هر خط نیرو در هر نقطه راستای  $E$  را بدست می‌دهد.
- این خطوط بیانگر جهت میدان الکتریکی هستند. همچنین با استفاده از چگالی خطوط میدان الکتریکی می‌توان به شدت میدان الکتریکی نیز پی برد.

# خطوط میدان الکتریکی



# محاسبه میدان الکتریکی

■ شدت میدان الکتریکی اطراف یک بار نقطه ای  $q$  و در فاصله  $r$  از بار:



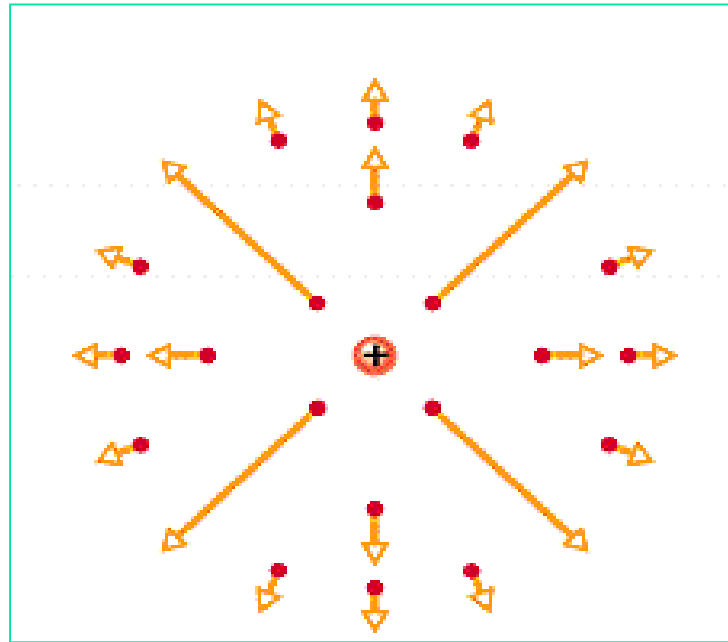
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$$



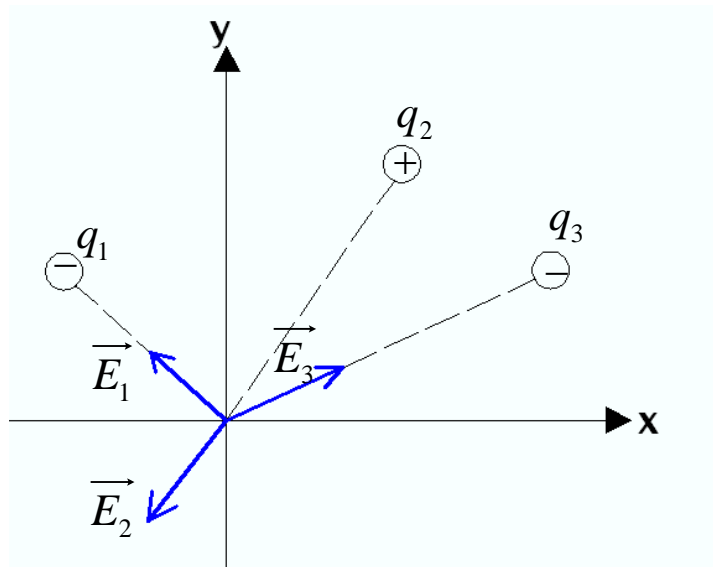
# میدان الکتریکی

- هر چه از بار دور میشویم شدت متناسب با عکس مجذور فاصله  $r^2$  کاهش می یابد.



# اصل برهم نهی

- محاسبه  $E$  هنگامی که گروه بارهای نقطه ای وجود دارد:
- اصل برهم نهی خطی در مورد میدان الکتریکی معتبر است
- الف)  $E_n$  حاصل از هر بار را در یک نقطه معین بدست می آوریم.
- ب) میدان برآیند  $E$ ، جمع بردارهای  $E_n$  ها است:



$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{\vec{F}_{01}}{q_0} + \frac{\vec{F}_{02}}{q_0} + \dots + \frac{\vec{F}_{0n}}{q_0} \\ &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \end{aligned}$$

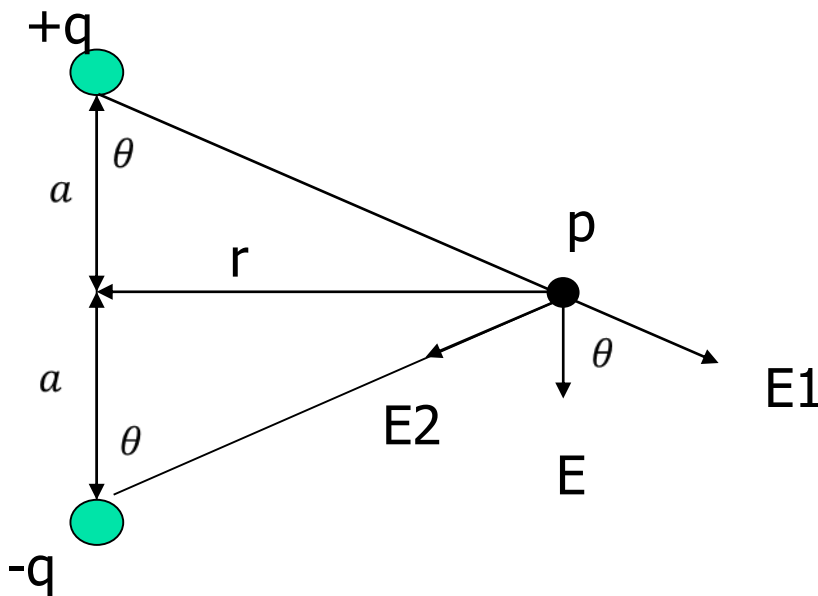
$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i$$

$$E = \sqrt{(\sum E_x)^2 + (\sum E_y)^2}$$

$$\tan \theta = \frac{\sum E_y}{\sum E_x}$$

# دو قطبی الکتریکی

دو قطبی از دو بار نقطه ای و که در فاصله  $2a$  از یکدیگر قرار دارند تشکیل شده است میدان را به در نقطه  $p$  به دست آورید.



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

# دو قطبی الکتریکی

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_1 = E_2 = k \frac{q}{r^2 + a^2}$$

در راستای افق مولفه های همدیگر را خنثی می کنند

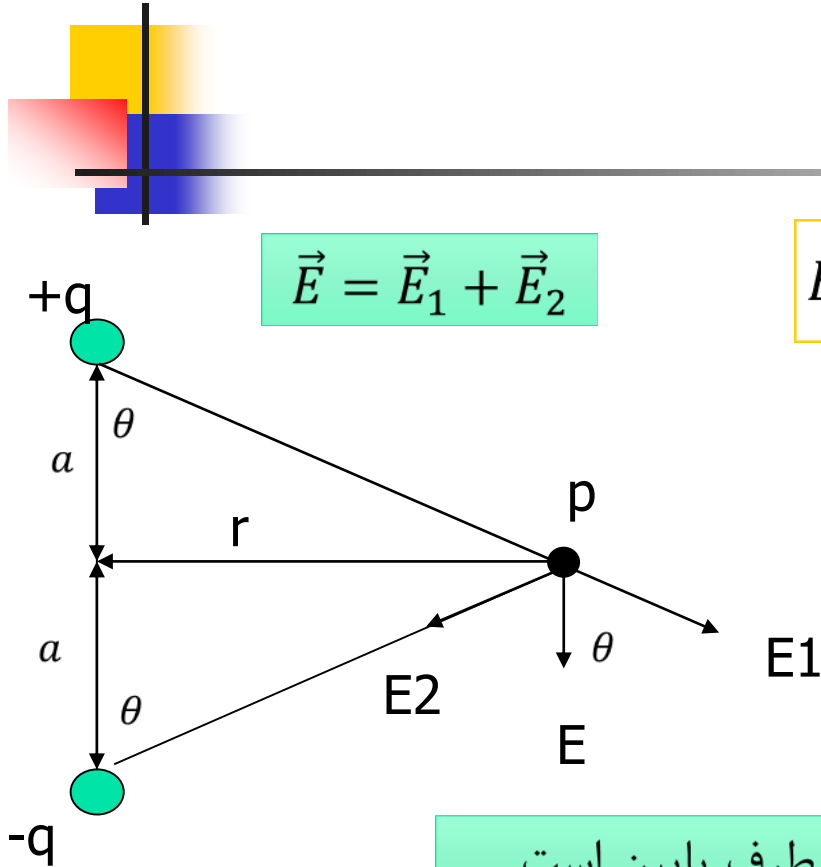
$$E_1 \sin \theta - E_2 \sin \theta = 0$$

پس جمع برداری میدان های  $E_1$  و  $E_2$  در راستای قائم و به طرف پایین است.

$$E = 2E_1 \cos \theta$$

$$E = 2k \frac{q}{r^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}} = k \frac{2aq}{(r^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$\cos \theta = \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}}$$



# دو قطبی الکتریکی

$$E = 2k \frac{q}{r^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}} = k \frac{2aq}{(r^2 + a^2)^{3/2}}$$

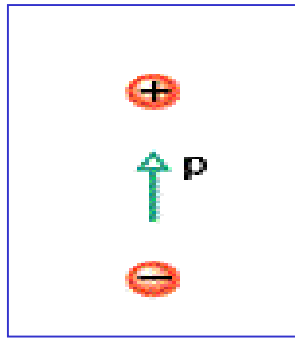
اگر  $r \gg a$  باشد میتوان از  $a$  در مخرج صرف نظر کرد

$$E = 2k \frac{q}{r^2 + a^2} \frac{a}{\sqrt{r^2 + a^2}} = k \frac{2aq}{r^3}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

# گشتاور دو قطبی الکتریکی

■ گشتاور دو قطبی الکتریکی یک بردار است که جهت آن از بار منفی به بار مثبت است.



■ گشتاور دو قطبی الکتریکی = فاصله دو بار  $\times$  بار الکتریکی

$$P = 2aq$$

■ اصل ضرب  $2aq$  را گشتاور دو قطبی الکتریکی نامند و با  $p$  نمایش می دهند. پس شدت

میدان بر حسب  $p$ ، در نقاط دور روی عمود منصف دو قطبی:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P}{r^3} = k \frac{P}{r^3}$$



# میدان الکتریکی و اجسام رسانا

---

میدان الکتریکی در داخل یک جسم رسانا همواره برابر صفر است.

چون اگر درون جسم رسانا میدان الکتریکی وجود داشته باشد، در این صورت بر همه بارهای درون آن نیرو وارد می‌شود. این نیرو باعث به حرکت در آمدن بارهای آزاد می‌شود. حرکت بار را جریان می‌گویند. بنابراین در اثر ایجاد جریان در داخل جسم رسانا بارها به سطح آن منتقل می‌شوند، باز میدان درون آن صفر می‌شود



# جسم رسانا در میدان الکتریکی

---

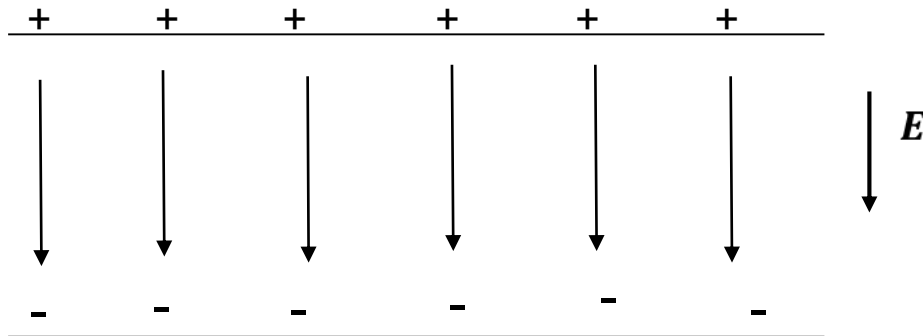
هرگاه جسم رسانایی را در یک میدان خارجی قرار دهیم، میدان داخلی در خلاف جهت میدان خارجی ایجاد می شود. تفکیک بارهای الکتریکی درون جسم رسانا (حرکت بارهای منفی به یک طرف) آنقدر ادامه می یابد تا تعادل الکتروستاتیکی ایجاد شده و برآیند میدان درون جسم رسانا صفر می شود.

در شرایط ایستا برآیند ماکروسکوپی درون جسم رسانای همگن برابر صفر است.



# میدان الکتریکی یکنواخت

- در بیشتر موارد میدان الکتریکی از نظر اندازه و جهت از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می کند.
- اما اگر چنانچه اندازه جهت میدان در منطقه ای ثابت باشد، در این صورت میدان الکتریکی را یکنواخت یا ثابت می گویند.



# بار نقطه ای در میدان الکتریکی

- بر بارها ی واقع در میدان الکتریکی چه نیرویی وارد می شود.

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

- میدان الکتریکی بر ذره باردار نیرویی وارد می کند که :
- اگر  $q > 0$  باشد  $E$  و  $F$  هم جهتند و در غیر این صورت در خلاف جهت یکدیگرند.

# ضرب بردارها

■ ضرب عدد در بردار: حاصل حتما بردار است.

$$m \vec{a} = m(a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}) = m a_x \hat{i} + m a_y \hat{j} + m a_z \hat{k}$$

■ ضرب نقطه ای (ضرب دو بردار): حاصل حتما عدد است.

$$\left. \begin{array}{l} \vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k} \\ \vec{b} = b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta \\ \vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \end{array}$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}$$

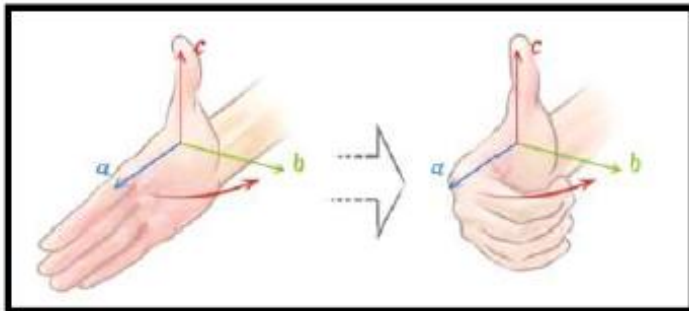
# ضرب برداری

■ ضرب برداری (ضرب دو بردار): حاصل حتما بردار است.

$$\left. \begin{aligned} \vec{a} &= a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k} \\ \vec{b} &= b_x \hat{i} + b_y \hat{j} + b_z \hat{k} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - b_y a_z) \hat{i} + (a_z b_x - b_z a_x) \hat{j} + (a_x b_y - b_x a_y) \hat{k}$$
$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} \Rightarrow |\vec{c}| = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \theta$$

راستای بردار  $\vec{c}$  بر صفحه شامل  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$  عمود است.

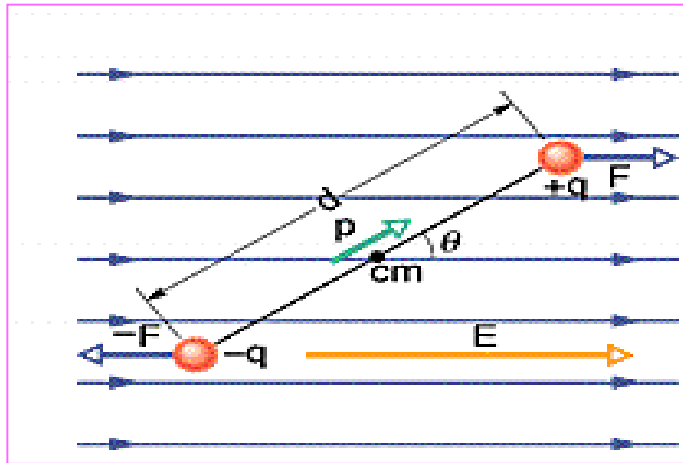
$\theta$ : زاویه کوچکتر بین بردارهای  $\vec{a}$  و  $\vec{b}$



جهت بردار  $\vec{c}$  از قانون دست راست پیروی می کند. چهار انگشت دست راست در جهت بردار اول، چرخش انگشتان در جهت بردار دوم، آنگاه انگشت شصت در جهت خواهد بود.

# دوقطبی در میدان الکتریکی

- فرض می کنیم که یک دوقطبی با گشتاور  $\mathbf{p}$  در میدان خارجی  $\mathbf{E}$  قرار داشته باشد.

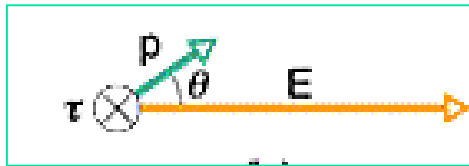


- دو نیروی مساوی و مخالف  $\mathbf{F}$  و  $-\mathbf{F}$ ، که اندازه های آن  $qE$  است، بر دو قطبی اثر می کند.

# دوقطبی در میدان الکتریکی

■ نیروی بر آیند صفر است ولی گشتاور نیروها صفر نیست و برابر است با

:



$$\tau = r \times F$$

■  $r$  فاصله از مرکز دو قطبی

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} \Rightarrow |\vec{c}| = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \theta$$

$$\tau = F \frac{d}{2} \sin \theta + F \frac{d}{2} \sin \theta = Fd \sin \theta = pE \sin \theta.$$

$$F = qE$$

$$p = dq$$

■ که می توان آن را به صورت برداری زیر نوشت:

$$\tau = p \times E$$



# کار انجام شده برای چرخاندن دو قطبی

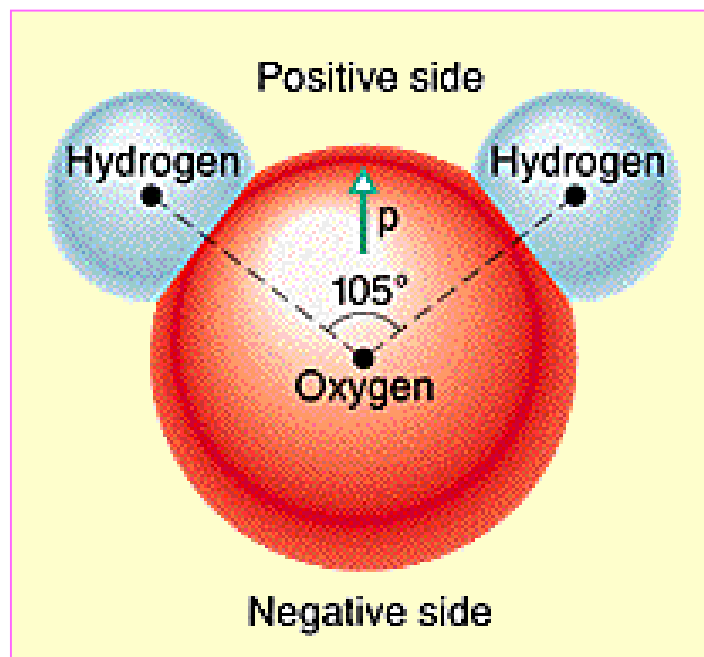
■ کار لازم برای چرخاندن دو قطبی در میدان به اندازه زاویه  $\theta$  از رابطه زیر به دست میاید.

■ اگر بخواهیم دو قطبی موجود در میدان خارجی تغییر سمت دهد یک عامل خارجی روی آن کار انجام می دهد. این کار در دستگاه دو قطبی به صورت انرژی پتانسیل ذخیره میشود.

$$W = U = -P \cdot E = -PE \cos \theta$$

# مثال

یک مولکول خنثی آب در حالت بخار دارای گشتاور دو قطبی  $2.6 \times 10^{-30}$  است. الف) مرکز موثر بارهای مثبت و منفی از یکدیگر چقدر فاصله دارد؟



$$p = qd = 10ed$$

$$d = \frac{p}{10e} = \frac{2.6 \times 10^{-30}}{10 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 1.625 \times 10^{-12} \text{m}$$

O: 6 electron

H: 2 electron



## مثال

ب) اگر مولکول در میدان الکتریکی  $E = 1.5 \times 10^{-4} \text{ N/C}$  قرار داده شود  
گشتاور نیروی ماکزیممی وارد بر آن چقدر است؟

$$\tau = p \times E$$

$$\tau = pE \sin \theta = 2.6 \times 10^{-30} \times 1.5 \times 10^{-4} \sin 90$$

$$\tau = 9.3 \times 10^{-26} \text{ N.m}$$

## مثال

یک عامل خارجی چقدر کار باید انجام دهد تا دو قطبی از وضعیت  $\theta = 0$  به وضعیت  $\theta = -180$  بچرخد ؟

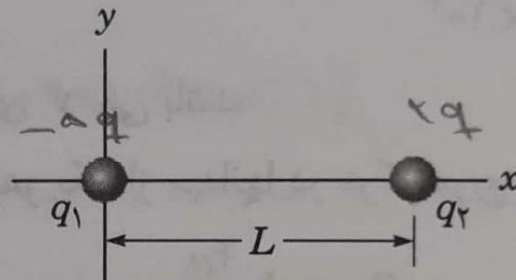
$$W = U - U_0 = U(180) - U(0) =$$

$$(-pE \cos(-180)) - (-pE \cos 0) = pE + pE = 2pE$$

$$W = 2 \times 2.6 \times 10^{-30} 1.5 \times 10^{-4} = 1.9 \times 10^{-25} \text{ J}$$

# تمرین

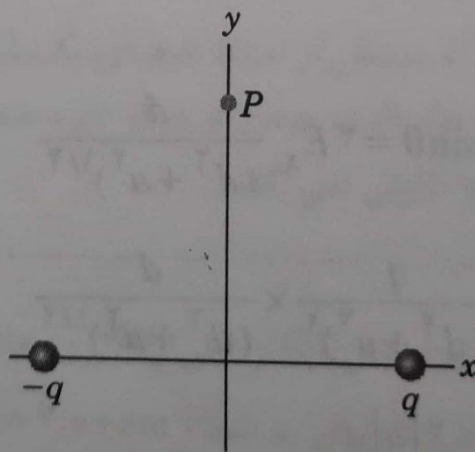
۴★★۸ در شکل زیر، ذره ۱ و ذره ۲ به بارهای  $q_1 = -5,00q$  و  $q_2 = +2,00q$  در روی محور  $x$  ثابت شده‌اند. (الف) در چه مختصه‌ای (برحسب  $L$ ) روی محور  $x$ ، میدان الکتریکی برایند ناشی از این دو ذره صفر می‌شود؟ (ب) خطوط میدان الکتریکی برایند را رسم کنید.



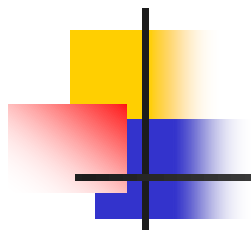
شکل مسأله ۸ الف

# تمرین

★★۱۱ در شکل زیر دو ذره بار را روی محور  $x$  نشان می‌دهد: بار  $-q = -3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$  در  $x = -3,00 \text{ m}$  و بار  $q = 3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$  در  $x = +3,00 \text{ m}$ . (الف) مقدار و (ب) جهت میدان الکتریکی برآیند این دو ذره (نسبت به جهت مثبت محور  $x$ ) را در نقطه  $P$ ، به مختصه  $y = 4,00 \text{ m}$ ، به دست آورید.



شکل مسأله ۱۱ الف



یک عمل درست، بهتر است از هزار نصیحت

**دکتر حسابی**