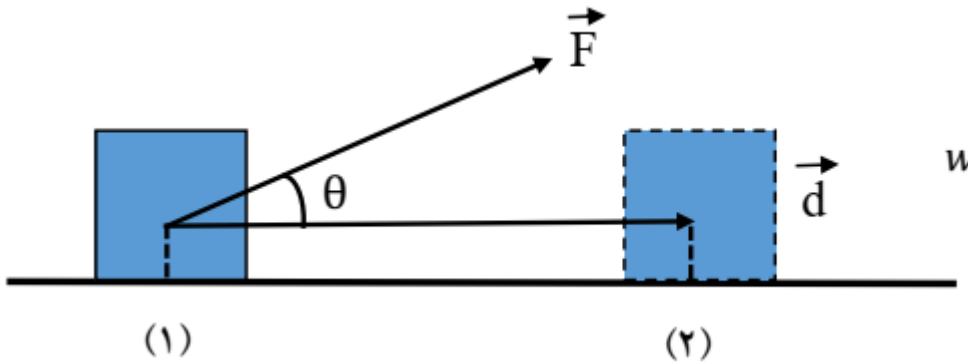
باسمه تعالی

وبینار تخصصی ویژه دبیران فیزیک استان ایلام

انرژی پتانسیل الکتریکی
و
پتانسیل الکتریکی (اختلاف پتانسیل الکتریکی)

یادآوری

❖ کار نیروی $\vec{F}$ در جابجایی $\vec{d}$ از رابطه ی زیر بدست می آید.



$$w_F = Fd\cos\theta$$

❖ قضیه ی کار – انرژی جنبشی: $w_T = \Delta K = K_۲ - K_۱$

❖ اگر جسمی با سرعت ثابت حرکت کند شتاب آن $(\vec{a})$ و در نتیجه برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است:

$$\vec{a} = ۰ \Rightarrow \vec{F}_{NET} = ۰$$

انواع انرژی پتانسیل

۱-انرژی پتانسیل گرانشی

۲- انرژی پتانسیل پتانسیل کشسانی

۳-انرژی پتانسیل الکتریکی

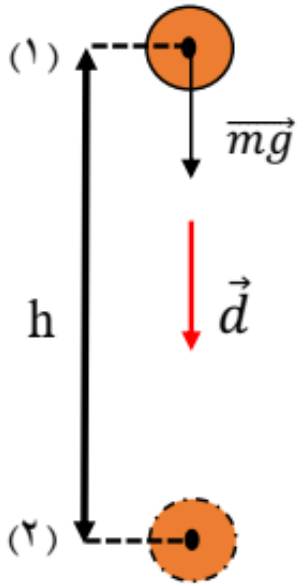
نکته: انرژی پتانسیل برای نیروهایی تعریف می شود که کار آنها به مسیر حرکت بستگی ندارد.

نیروی وزن ⟵ انرژی پتانسیل گرانشی

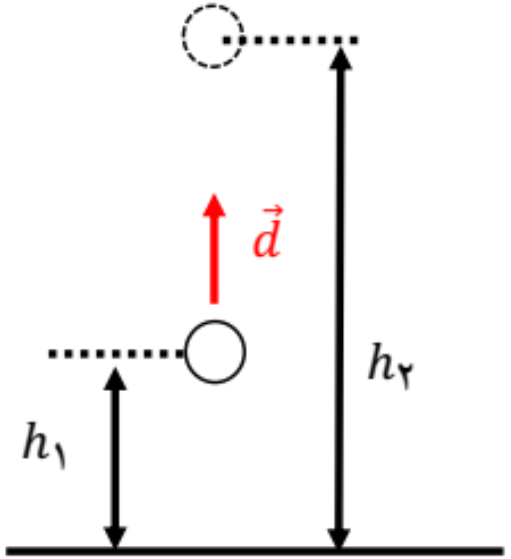
نیروی کشسانی فنر ⟵ انرژی پتانسیل کشسانی

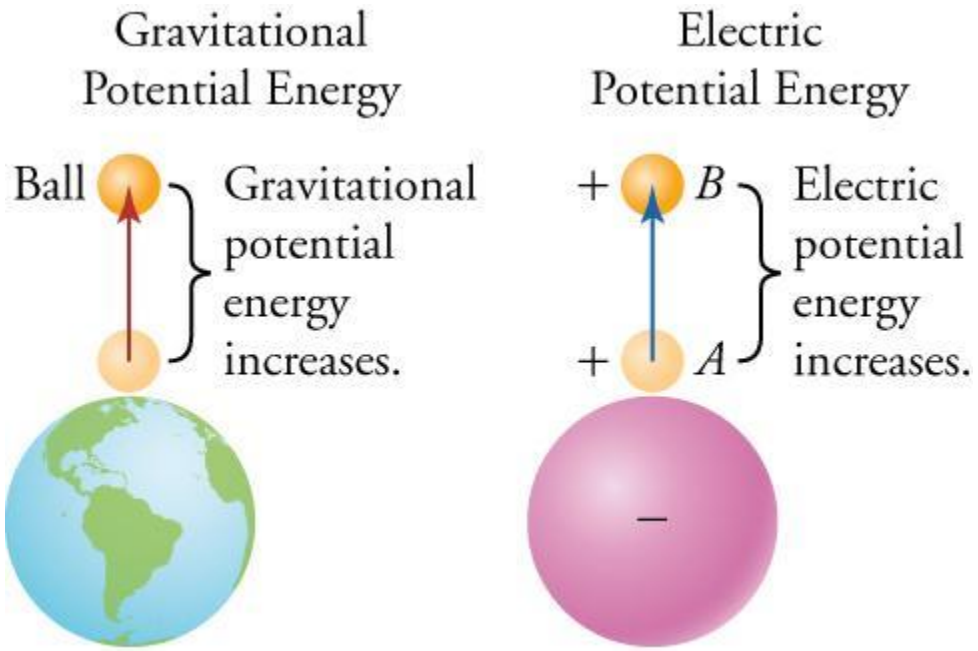
نیروی الکتریکی ⟵ انرژی پتانسیل الکتریکی

نکته: هر حرکتی که بصورت خودبخودی در طبیعت انجام شود، در راستای آن انرژی پتانسیل سامانه کاهش می یابد.



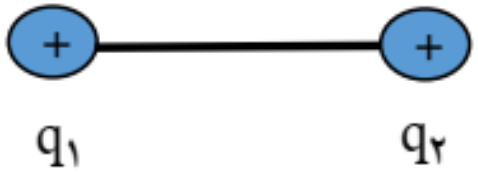
نکته: هر حرکتی که در خلاف جهت خودبخودی انجام شود، چون برای آن انرژی صرف می شود، در این حالت انرژی پتانسیل سامانه افزایش می یابد.





✓ به طور مشابه می توان گفت بار مثبت به صورت خودبخودی در جهت خطوط میدان حرکت می کند. بنابراین با حرکت بار مثبت در جهت خطوط میدان الکتریکی انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می یابد و اگر بار مثبت در خلاف جهت خود بخودی یعنی در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کند، انرژی پتانسیل سامانه افزایش می یابد.

انرژی پتانسیل الکتریکی



- دو ذره باردار q_1 و q_2 ($q_1 > ۰$ و $q_2 > ۰$) در نظر بگیرید که در آن بار q_1 در جای خود ثابت و بار q_2 در فضای اطراف آن رها شده است.

- می دانیم بار q_2 بر اثر میدان الکتریکی حاصل از بار q_1 از آن رانده و دارای انرژی جنبشی می شود.

این انرژی از کجا آمده است؟

- بنا به قانون پایستگی انرژی مکانیکی داریم: $E = k + u = \text{ثابت} \Longrightarrow \Delta k + \Delta u = 0 \Longrightarrow \Delta k = -\Delta u$

تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (Δu)

- تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار در جابجایی بین دو نقطه در یک میدان الکتریکی برابر با منفی کاری است که نیروی الکتریکی در جابجایی بار با سرعت ثابت بین آن دو نقطه انجام می دهد:

$$\Delta u = -W_E \qquad (۱)$$

✓ **نکته:** چه میدان الکتریکی یکنواخت چه غیریکنواخت باشد رابطه ی (۱) درست می باشد.

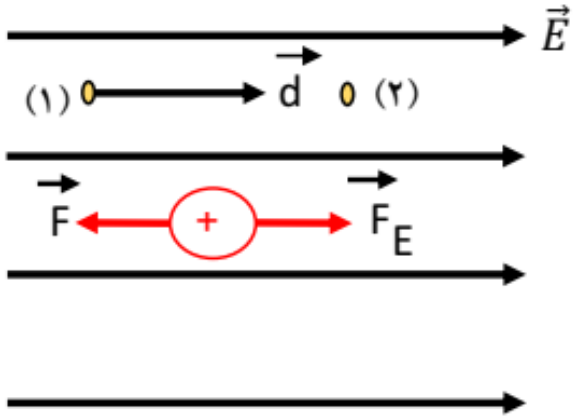
سئوال: چرا در تعریف تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار باید با سرعت ثابت جابجا شود؟

$$\vec{F} + \vec{F}_E = 0 \Longrightarrow \vec{F} = -\vec{F}_E$$

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

$$W_F = -W_E \underset{\text{از (۱)}}{\Longrightarrow} \Delta u = -W_E = W_F$$

مثال: بار الکتریکی q ($q > 0$) در یک میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ به اندازه ی d در جهت خطوط میدان الکتریکی با سرعت ثابت جابجا می شود. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار را در این جابجایی بیابید و بگویید که انرژی پتانسیل الکتریکی بار افزایش یافته یا کاهش؟



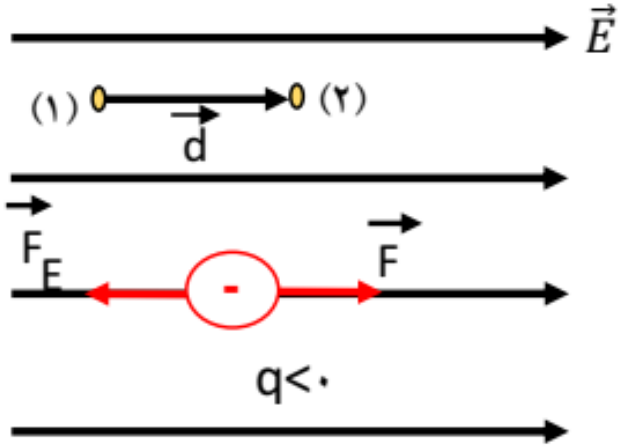
$$\left.\begin{aligned} \Delta u = -W_E = -F_E d\cos\theta \\ F_E = q_E\ ,\theta = 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\Delta u = -qEd$$

و $\Delta u < 0$

انرژی پتانسیل الکتریکی بار کاهش می یابد.

سئوال قبل را برای حالتی حل کنید که بار q ($q<0$) در میدان الکتریکی یکنواخت E به اندازه ی d در جهت میدان جابجا شود.

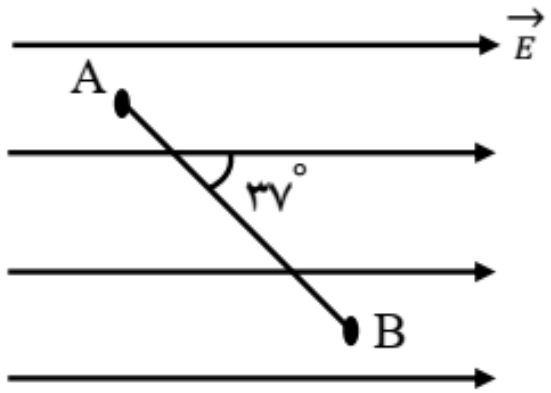


$$\left.\begin{aligned}\Delta u = -W_E = -F_E d\cos\theta \\ F_E = |q|E\ ,\theta = ۱۸۰^\circ\end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\Delta u = -|q|Ed\cos ۱۸۰^\circ$$

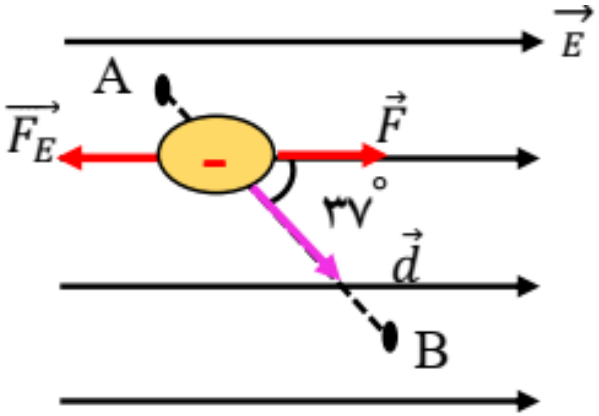
$$\Rightarrow \Delta u = |q|\,Ed \Rightarrow \Delta u > ۰$$

✓ **نکته**: از حل دو مثال قبل می توان نتیجه گرفت که تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار، به نوع بار، اندازه ی بار و .... بستگی دارد.



مسئله: مطابق شکل روبرو $q = -۵۰\ nc$ در میدان الکتریکی یکنواخت $۸ \times ۱۰^{۵}\ N/c$ از نقطه ی A تا نقطه ی B با سرعت ثابت جابجا می کنیم. اگر طول پاره خط $\overline{AB}$ برابر ۲۰ سانتی متر باشد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار را در این جابجایی بیابید.

$$(\cos ۳۷^{\circ} = ۰/۸ , \sin ۳۷^{\circ} = ۰/۶)$$



$$q = -۵۰nc = -۵ \times ۱۰^{-۸}c$$

$$E = ۸ \times ۱۰^{۸}\frac{N}{C}$$

$$\overline{AB} = d = ۲۰cm = ۰/۲\ m$$

$$\Delta u = W_F = Fd\cos\theta$$

$$\Longrightarrow \Delta u = |q|Ed\cos\theta \Longrightarrow \Delta u = \left|-۵ \times ۱۰^{-۸}\right| \times ۸ \times ۱۰^{۵} \times ۰/۲ \times \cos ۳۷^{\circ}$$

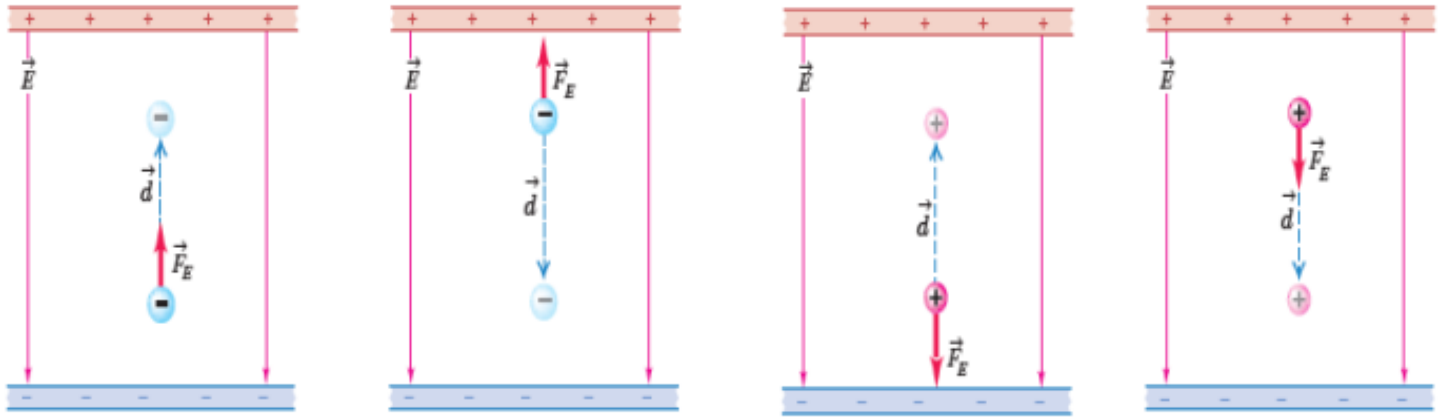
$$\Longrightarrow \Delta u = ۶/۴ \times ۱۰^{-۳}j$$

پرسش ۱-۷ صفحه ۲۱ کتاب

در هر یک از شکل های زیر با توجه به علامت بار ذره ی جابجا شده و جهت میدان الکتریکی الکتریکی نیروی جهت ،، $(\vec{E})$ $(\vec{F}_E)$ و جهت جابجایی ذره $(\vec{d})$ تعیین کنید که:

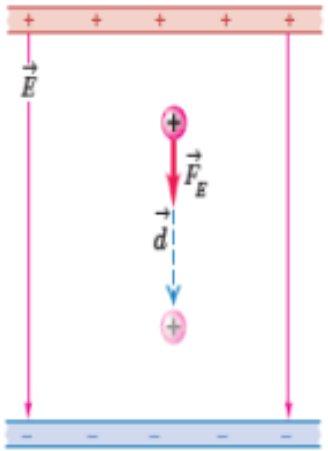
الف) کار نیروی الکتریکی (W_E) مثبت است یا منفی؟

ب) انرژی پتانسیل الکتریکی (u_E) کاهش یافته است یا افزایش؟



$$W_E = F_E d \cos\theta \quad \text{و} \quad \Delta u = -W_E$$

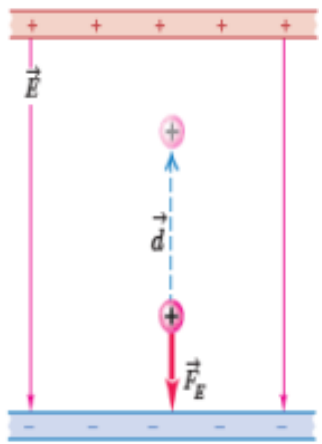
در شکل الف داریم:



(الف)

$$\theta = ۰ \Longrightarrow \cos\theta = ۱ \Longrightarrow W_E = F_E d \Longrightarrow W_E > ۰ , \Delta u < ۰$$

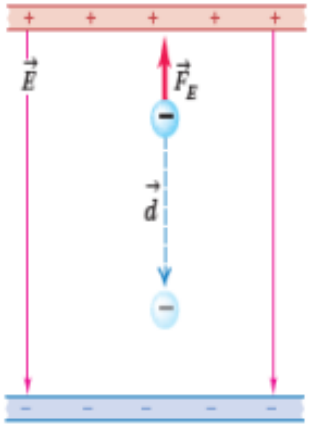
در شکل ب داریم:



(ب)

$$\theta = ۱۸۰ \Longrightarrow \cos\theta = -۱ \Longrightarrow W_E = -F_E d \Longrightarrow W_E < ۰ , \Delta u > ۰$$

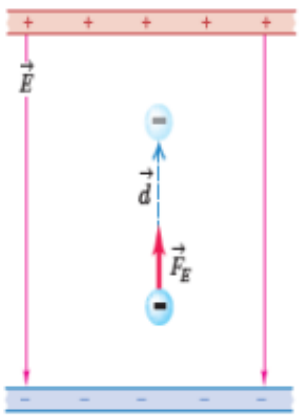
در شکل پ داریم:



(پ)

$$\theta = ۱۸۰ \Longrightarrow \cos\theta = -۱ \Longrightarrow W_E = -F_E d \Longrightarrow W_E < ۰ , \Delta u > ۰$$

در شکل ت داریم:



(ت)

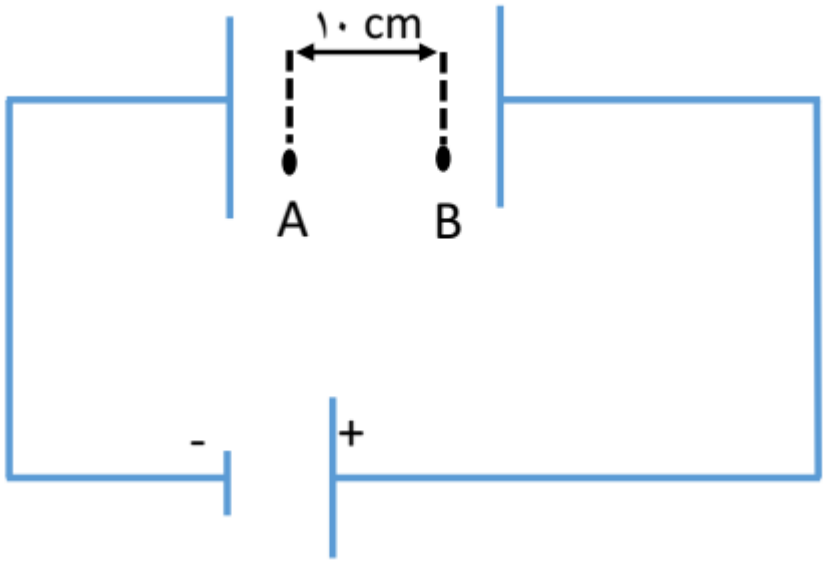
$$\theta = ۰ \Longrightarrow \cos\theta = ۱ \Longrightarrow W_E = F_E d \Longrightarrow W_E > ۰ , \Delta u < ۰$$

مثال ۱-۹ صفحه ۲۱ کتاب

در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E= 2\times10^{3}$ N/C مطابق شکل، پروتونی از نقطه ی A با سرعت $V_{\circ}$ در خلاف جهت میدان الکتریکی پرتاپ شده است. پروتون سرانجام در نقطه ی B متوقف می شود. بار پروتون $1/6\times10^{-19}$ C و جرم آن تقریباً $1/6\times10^{-27}$ kg است.

الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در این جابجایی چقدر است؟

ب) تندی پرتاب پروتون (V°) را پیدا کنید. از وزن پروتون و مقاومت هوا چشم پوشی شود.



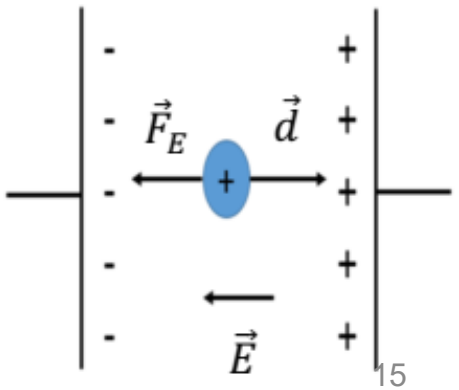
قبل از حل این سئوال به توضیح این مطلب می پردازیم که چرا از وزن پروتون صرفنظر می شود.

$$W = mg \Longrightarrow W = ۱/۶ \times ۱۰^{-۲۷} \times ۱۰ = ۱/۶ \times ۱۰^{-۲۶} N$$
$$F_E = qE \Longrightarrow F_E = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \times ۲ \times ۱۰^{۳} = ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۶}$$

$$\frac{W}{F_E} = \frac{۱/۶ \times ۱۰^{-۲۶}}{۳/۲ \times ۱۰^{-۱۶}} = ۵ \times ۱۰^{-۱۱} << ۱ \Longrightarrow W << F_E$$

الف)

$$\Delta u = -W_E = -|q|Ed\cos\theta$$
$$\Delta u = -۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \times ۲ \times ۱۰^{۳} \times ۰/۱ \times \cos ۱۸۰^{\circ}$$
$$\Delta u = ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۷} j$$



$$\Delta k = -\Delta u \Rightarrow \Delta k = -3/2 \times 10^{-17} j \Rightarrow \quad \frac{1}{2} m(V_B^2 - V_A^2) = -3/2 \times 10^{-17}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \times 1/6 \times 10^{-27}\left(0 - V_\circ^2\right) = -3/2 \times 10^{-17}$$

$$\Longrightarrow V_\circ^2 = 4 \times 10^{10} \Longrightarrow V_\circ = 2 \times 10^5 \frac{m}{s}$$

فرض کنید در سئوال قبل فقط سرعت پرتاپ (V_O) را بخواهند. راه حل دیگر سئوال استفاده از سیستماتیک و دینامیک می باشد.

$$F = ma \Rightarrow qE = ma \Rightarrow a = \frac{-qE}{m}$$

$$a = \frac{-1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^3}{1/6 \times 10^{-27}} = -2 \times 10^{11} \frac{m}{s^2}$$

$$V_B^2 - V_A^2 = 2a\Delta x \Longrightarrow 0 - V_\circ^2 = 2(-2 \times 10^{11})10^{-1} \Longrightarrow V_\circ = 2 \times 10^5 \frac{m}{s}$$

مثال ۱-۸ صفحه ۲۱ کتاب

در مثال قبل اگر جای قطب های باتری عوض شود و پروتون را در نقطه ی A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی به نقطه ی B می رسد؟

$$\Delta u = -W_E = -|q|Ed\cos\theta$$

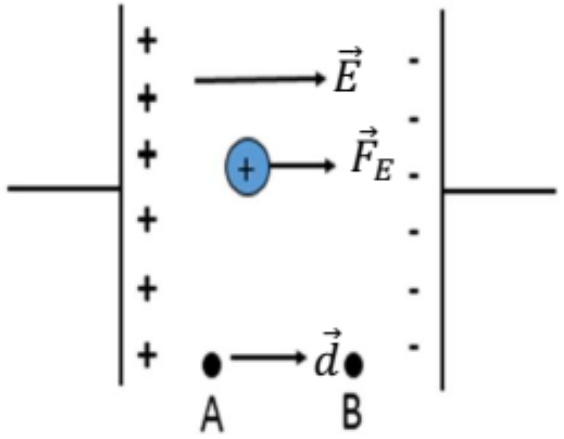
$$\Delta u = -۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} \times ۲ \times ۱۰^{۳} \times ۰/۱ \times \cos ۰$$

$$\Delta u = -۳/۲ \times ۱۰^{-۱۷} j \Longrightarrow \Delta k = ۳/۲ \times ۱۰^{۱۷}$$

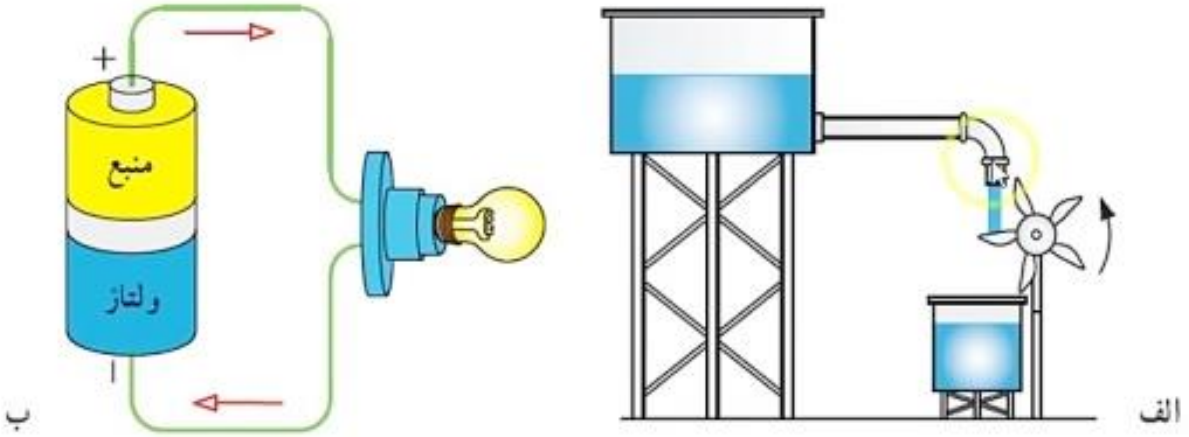
$$\Longrightarrow \frac{۱}{۲} m(V_B^۲ - V_A^۲) = ۳/۲ \times ۱۰^{-۱۷}$$

$$\Longrightarrow \frac{۱}{۲} \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۲۷}(V_B^۲ - ۰) = ۳/۲ \times ۱۰^{۱۷}$$

$$\Longrightarrow V_B = ۲ \times ۱۰^{۵} \frac{m}{s}$$



در قسمت قبل دیدیم که تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره ی باردار در جابجایی بین دو نقطه به نوع و اندازه ی بار جابجا شده بستگی دارد. بنابراین نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی به بار ذره مستقل از نوع و اندازه ی بار جابجا شده است. به این نسبت اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه ای می گوییم که بار میان آن ها جابجا شده است.



شکل ۲ــ۲ــ مقایسه منبع آب با منبع ولتاژ

$$\Delta V = \frac{\Delta u}{q} \text{ یا } V_2 - V_1 = \frac{u_2 - u_1}{q}$$

به عبارت دیگر:

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه واقع در میدان الکتریکی برابر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی واحد بار مثبت است وقتی از نقطه ی اول تا نقطه ی دوم جابجا می شود.

تکلیف

یکای اختلاف پتانسیل را برحسب یکاهای اصلی بنویسید.

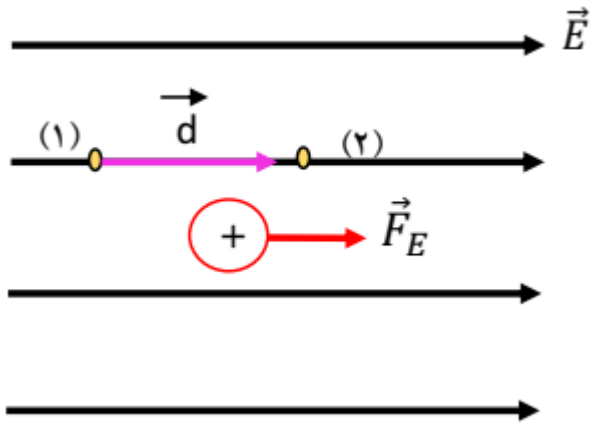
نکته: دقت کنید که در رابطه ی $\Delta V = \frac{\Delta u}{q}$ ، علامت بار q را باید در نظر بگیریم.

مثال ۱-۹ صفحه ۲۳ کتاب

الف) نشان دهید در یک میدان الکتریکی یکنواخت با حرکت در سوی خطوط میدان، با توجه به نوع بار پتانسیل الکتریکی کاهش می یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، با توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می یابد.

الف) فرض کنید بار q (q>۰) به اندازه ی d درجهت خطوط میدان الکتریکی یکنواخت $(\vec{E})$

جابجا شود:



$$W_E = F_E d\cos\theta$$

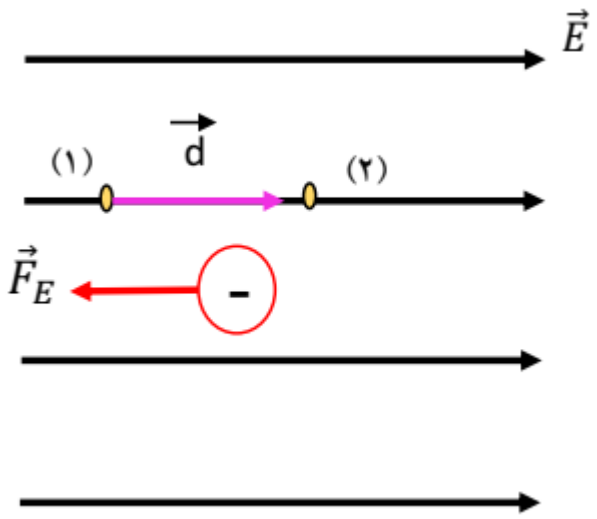
$$\Rightarrow W_E = qEd\ \cos(۰) = +qEd$$

$$\Delta u = -W_E \Rightarrow \Delta u = -qEd$$

$$\Rightarrow \Delta V = \frac{\Delta u}{q} \Rightarrow \Delta V = \frac{-qEd}{q}$$

$$\Rightarrow \Delta V = -Ed \Rightarrow \Delta V < ۰$$

حال فرض کنید فرض کنید بار q (q<۰) به اندازه ی d درجهت خطوط میدان الکتریکی یکنواخت $(\vec{E})$ جابجا شود:



$$W_E = F_E d\cos\theta$$

$$\Rightarrow W_E = |q|Ed\ \cos(۱۸۰)$$

$$\Rightarrow W_E = -|q|Ed$$

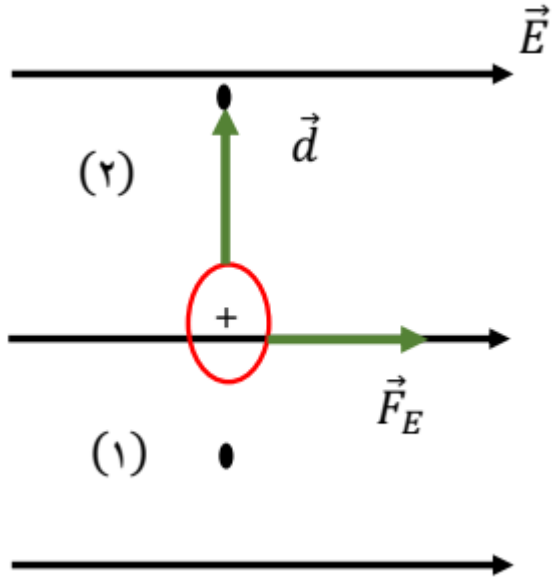
$$\Delta u = -W_E \Rightarrow \Delta u = |q|Ed$$

$$\Rightarrow \Delta V = \frac{\Delta u}{q} \Rightarrow \Delta V = \frac{|q|Ed}{-|q|}$$

$$\Rightarrow \Delta V = -Ed \Rightarrow \Delta V < ۰$$

- برای حرکت در خلاف جهت میدان همین روش مشابه عمل می شود و مشاهده می شود که چه بار مثبت چه بار منفی باشد، اگر در خلاف جهت خطوط میدان حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی زیاد می شود.

ب) فرض کنید بار q (q>۰) درجهت عمود بر خطوط میدان الکتریکی یکنواخت $(\vec{E})$ جابجا شود:



$$W_E = F_E d\cos\theta$$

$$\Rightarrow W_E = qEd\ \cos(۹۰)$$

$$\Rightarrow W_E = ۰$$

$$\Rightarrow \Delta u = ۰$$

$$\Rightarrow \Delta V = ۰$$

$$\Rightarrow V \text{ ثابت}$$

نکته: برای بدست آوردن اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در یک میدان یکنواخت می توان مستقیماً از رابطه ی زیر استفاده کرد: $\Delta V = -Ed\cos\theta$ که θ = زاویه ی بین $\vec{E}$ و $\vec{d}$ می باشد

✓ با دانستن رابطه ی $\Delta V = -Ed\cos\theta$ حل تمرین ۹ فصل ۱ صفحه ی ۲۳ کتاب بسیار آسان می شود.

سطح هم پتانسیل

سطحی است که پتانسیل الکتریکی تمام نقاط آن برابر است.

سئوال: سطوح هم پتانسیل نسبت به خطوط میدان الکتریکی چه وضعیتی دارند؟

$$V = \text{ثابت} \Longrightarrow \Delta V = ۰ \Longrightarrow \Delta V = -Ed\cos\theta = ۰ \Longrightarrow \cos\theta = ۰ \Longrightarrow \theta = ۹۰$$

یعنی سطح هم پتانسیل بر خطوط میدان الکتریکی عمود است.

- ✓ نکته: در تشابه با انرژی گرانشی، می توانیم برای انرژی پتانسیل الکتریکی مرجع اختیار کنیم که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی ذره و پتانسیل الکتریکی صفر باشد. در نتیجه پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از میدان از رابطه زیر بدست می آید. $V = \frac{u}{q}$

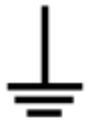
سئوال: نیوتن بر کولن معادل چه یکایی می باشد؟

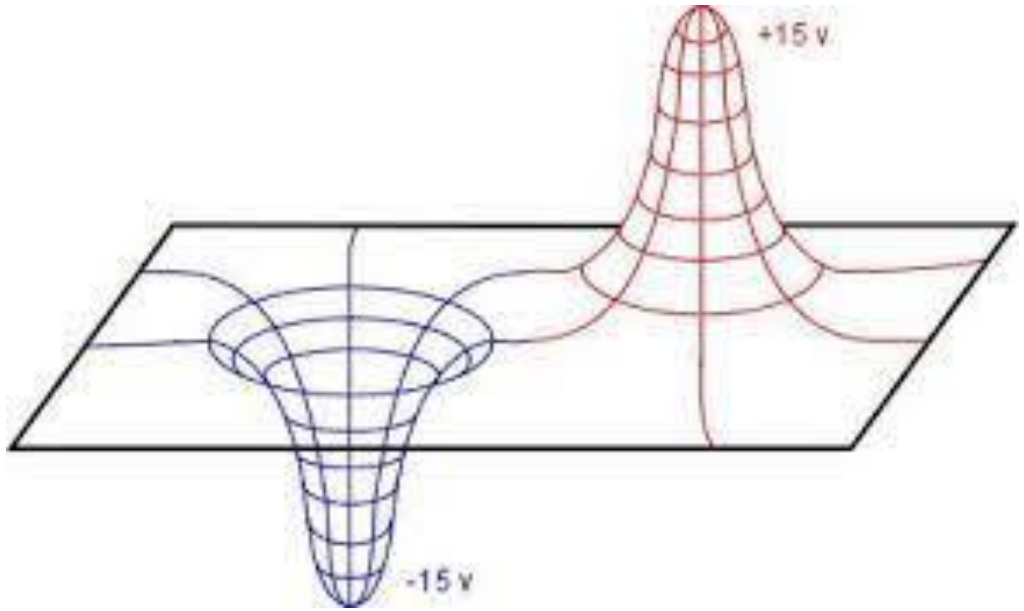
طبق رابطه ی $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ نیوتن بر کولن (N/C) یکای میدان الکتریکی می باشد. از طرفی در تمرین 1-9 دیدیم که اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در یک میدان الکتریکی یکنواخت از رابطه ی $|\Delta V| = Ed$ بدست می آید.

$$|\Delta V| = Ed \Longrightarrow E = \frac{|\Delta V|}{d} \Longrightarrow \text{یکای میدان} = \frac{V}{m}$$

بنابراین نیوتن بر کولن معادل ولت بر متر است. 1N/C = 1V/m

مبداء یا مرجع پتانسیل الکتریکی

نقطه یا سطحی است که پتانسیل الکتریکی آن بدلخواه برابر صفر می گیرند و پتانسیل الکتریکی سایر نقاط را نسبت به این نقطه می سنجند. در مدارهای الکتریکی اتصال به زمین را با نماد  نشان می دهند.

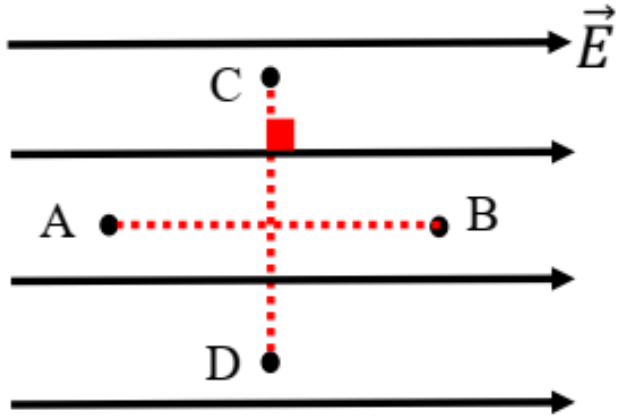


جمع بندی

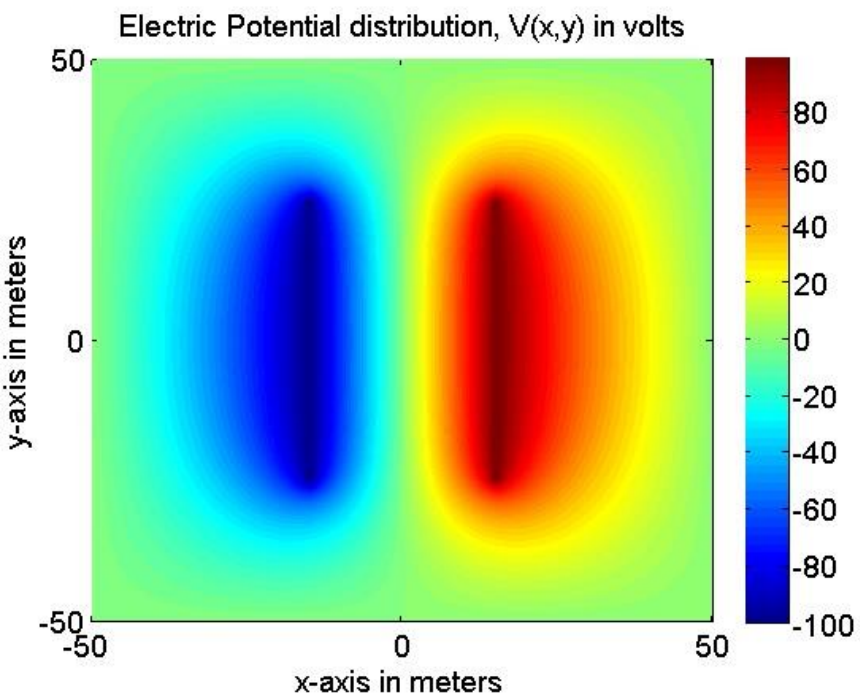
۱) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی در جابجایی بین دو نقطه در یک میدان الکتریکی به نوع و مقدار بار جابجا شده بستگی دارد.

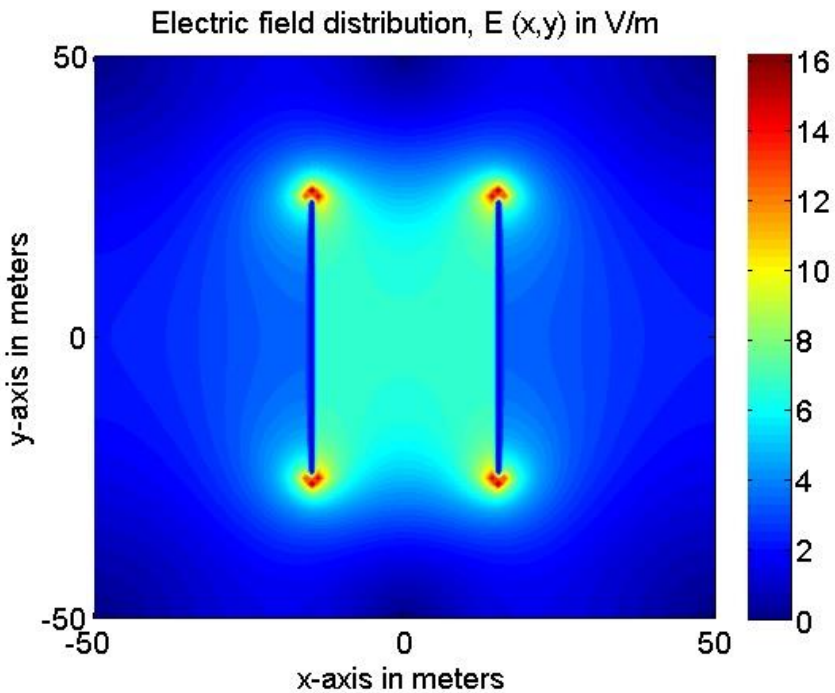
۲) اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه در یک میدان الکتریکی به نوع و مقدار بار جابجا شده بین آن دو نقطه بستگی ندارد.

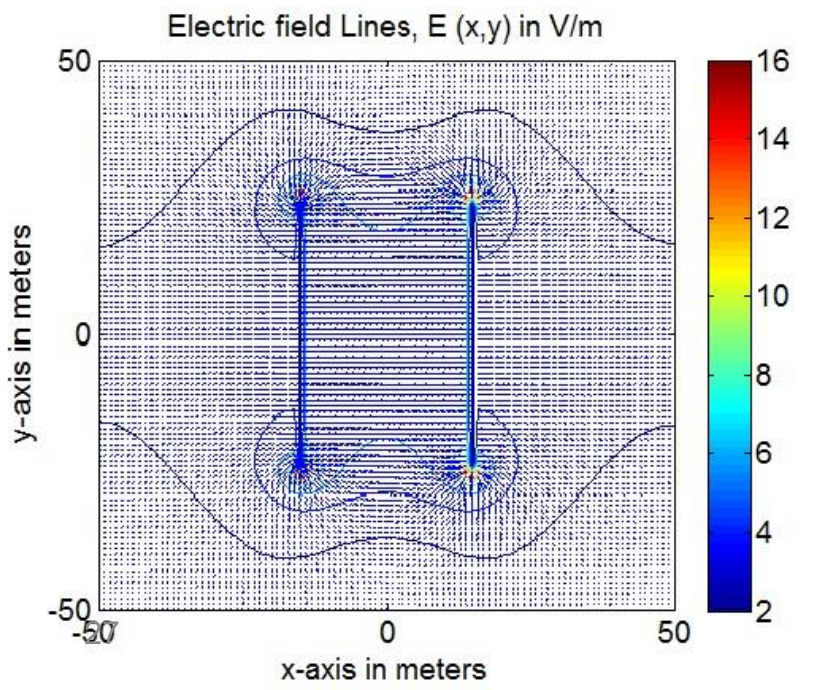
در شکل زیر پتانسیل الکتریکی در نقاط A, B, C, D را با هم مقایسه کنید.

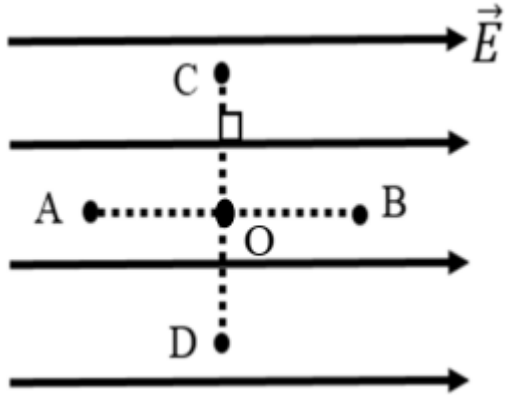


$$V_A > V_C = V_D > V_B$$









در شکل زیر بار الکتریکی q (q <۰) در نقطه ی O قرار دارد. این بار از نقطه ی O به کدام نقطه یا نقاط دیگر برود تا: الف) انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش یابد.

ب) پتانسیل الکتریکی آن کاهش یابد. پ) پتانسیل الکتریکی آن تغییر نکند.

ت) انرژی پتانسیل الکتریکی آن ثابت بماند.

حل الف)

خلاف جهت خطوط میدان جابجا شویم.

$$\left.\begin{array}{l}\Delta u < ۰ , q < ۰ \\ \Delta V = \dfrac{\Delta u}{q}\end{array}\right\} \Longrightarrow \Delta V > ۰ \Longrightarrow$$

بنابراین باید از O به A برود.

حل ب)

جهت خطوط میدان جابجا شود.

$$\Delta V < ۰ \Longrightarrow$$

بنابراین باید از O به B برود.

حل پ)

$$\Delta V = ۰ \Longrightarrow \Delta V = -Ed\cos\theta = ۰ \Longrightarrow \cos\theta = ۰ \Longrightarrow \theta = ۹۰$$

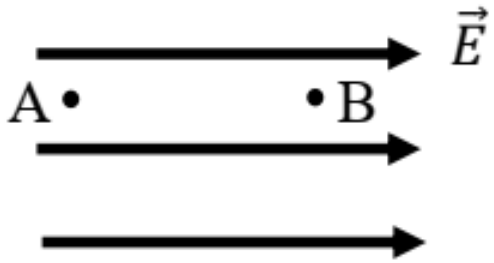
در جهت عمود بر خطوط میدان جابجا شود. یعنی از O به C یا D برود.

حل ت)

$$\Delta u = ۰ \Longrightarrow \Delta V = ۰$$

از O به C یا D برود.

سوال: در شکل زیر بار الکتریکی $q = +2\mu c$ از نقطه ی A به پتانسیل الکتریکی $V_A = -100v$ به نقطه ی B انتقال می یابد در نتیجه انرژی پتانسیل الکتریکی آن به اندازه ی 4×10^{-4} J کاهش می یابد. پتانسیل نقطه ی B چند ولت است؟



$$q = +۲\mu c = ۲ \times ۱۰^{-۶} c$$

$$V_A = -۱۰۰v$$

$$V_B = ?$$

$$\Delta u = -۴ \times ۱۰^{-۴} J$$

$$\Delta V = \frac{\Delta u}{q} \Longrightarrow \Delta V = \frac{-۴ \times ۱۰^{-۴}}{۲ \times ۱۰^{-۶}} = -۲۰۰v$$

$$\Delta V = V_B - V_A \Longrightarrow -۲۰۰ = V_B - (-۱۰۰) \Longrightarrow V_B = -۳۰۰v$$

سئوال: الکترونی از یک پایانه باتری به یک پایانه ی دیگری منتقل شده و در نتیجه انرژی پتانسیل الکتریکی آن $22/4 \times 10^{-10}$ nj کاهش یافته است. در این صورت این الکترون، از پایانه ..... باتری به پایانه ..... آن رفته و اختلاف پتانسیل پایانه های باتری ..... بوده است.($e = 1/6 \times 10^{-19}c$)

۱) منفی– مثبت– ۲۴V

۲) مثبت – منفی – ۲۴V

۳) منفی– مثبت– ۱۴V

۴) مثبت– منفی– ۱۴V

$$q = -e = ۱/٦ \times ۱۰^{-۱۹}c$$

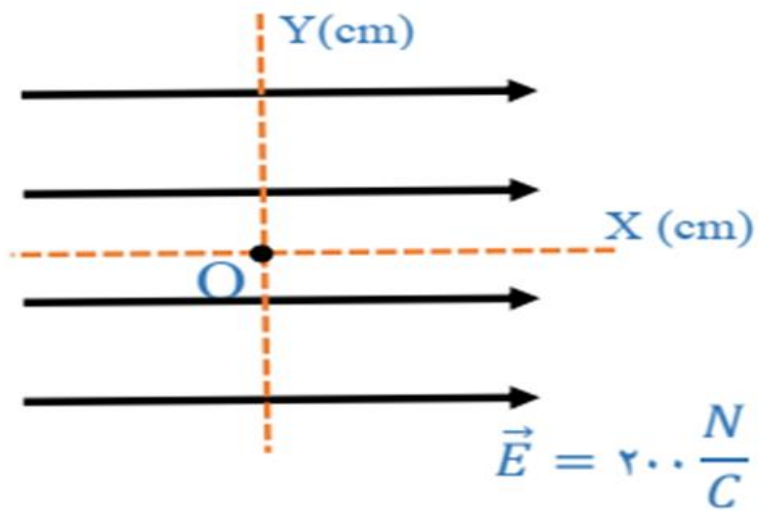
$$\Delta u = -۲۲/٤ \times ۱۰^{-۱۰} nj = -۲۲/٤ \times ۱۰^{-۱۹} j$$

$$\Delta V = \frac{\Delta u}{q} \Longrightarrow \Delta V = \frac{-۲۲/۴ \times ۱۰^{-۱۹}}{-۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۱۴v > ۰$$

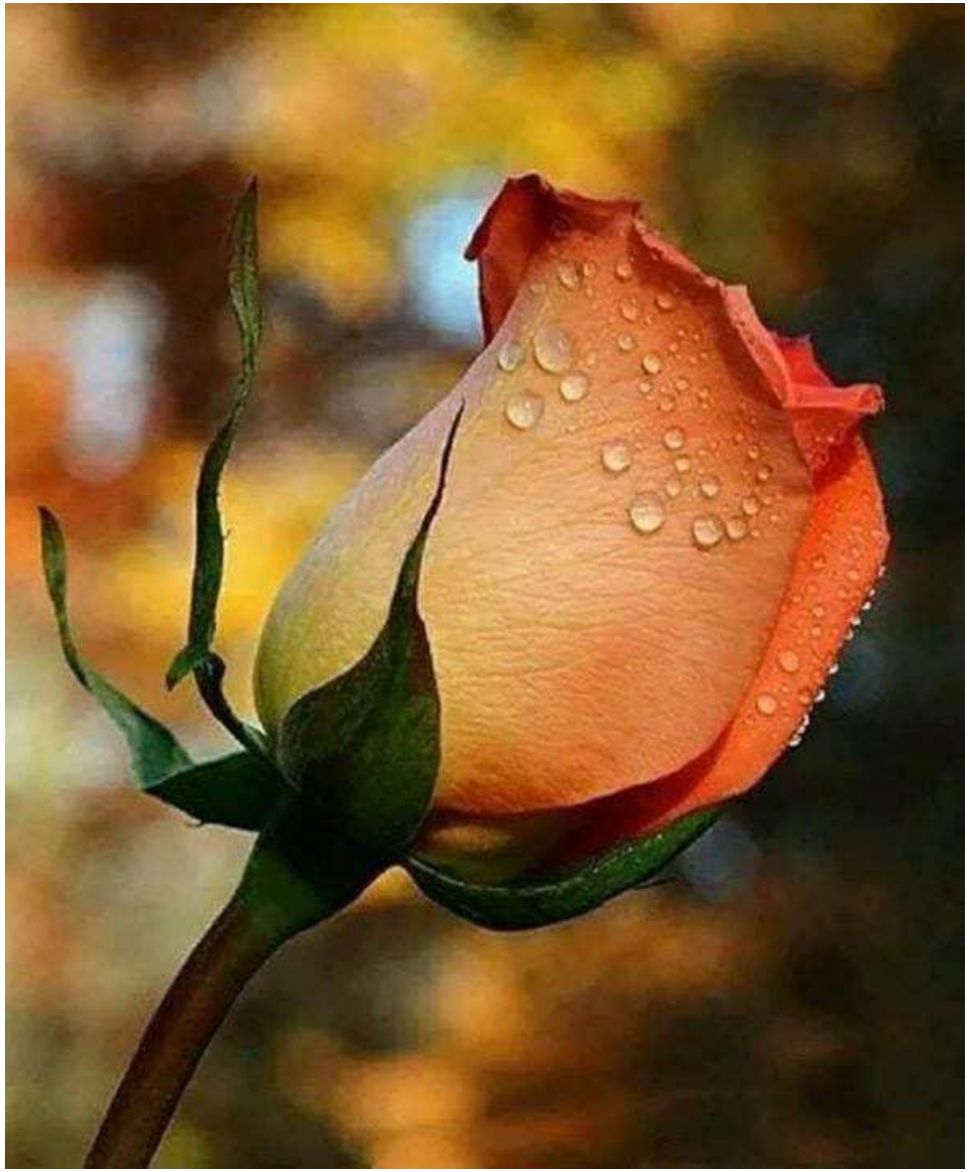
در خلاف جهت خطوط میدان جابجا شده ایم ($\Delta V > ۰$) یعنی از منفی به مثبت (گزینه ی ۲)

تکلیف

یک میدان الکتریکی یکنواخت مطابق شکل در فضا برقرار است. اگر پتانسیل الکتریکی نقطه ی O (مبداء مختصات) صفر باشد، پتانسیل الکتریکی نقاط $A\ (۲۰cm\ ,\ ۴۰\ cm)$ و $B\ (-۴۰\ cm\ ,\ ۳۰\ cm)$ به ترتیب از راست به چپ چند ولت است؟



۱) ۴۰- و ۸۰ ۲) ۴۰ و ۸۰- ۳) ۴۰- و ۶۰ ۴) ۸۰ و ۶۰-



سپاس از توجه
شما اساتید
بزرگوار