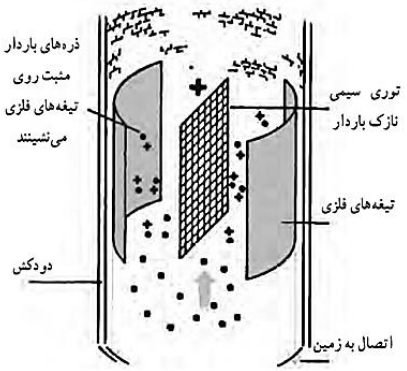
فعالیت ۱-۵ کتاب درسی **رسوب دهندهٔ الکتروستاتیکی (ESP)** دود و غبار را از گازهای زائدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌آید جدا می‌سازد و در کاهش آلودگی هوای ناشی از دودکش نقش دارد. رسوب دهنده‌ها انواع مختلفی دارند. در مورد اساس کار این رسوب دهنده‌ها تحقیق کنید.



پاسخ: رسوب‌دهندهٔ الکتریکی از توری فلزی نازکی با بار الکتریکی مثبت و دو تیغهٔ فلزی که به زمین متصل هستند و دارای بار الکتریکی منفی هستند، تشکیل شده است. ذرات دود هنگام عبور از میان توری فلزی دارای بار مثبت می‌شوند و به همین دلیل توسط تیغه‌های دارای بار منفی جذب می‌شوند و بار آن‌ها به زمین تخلیه می‌شود (بدین صورت، **تخلیهٔ الکتریکی** بین توری و تیغه‌های متصل به زمین اتفاق می‌افتد) و دوده‌ها روی تیغه‌ها رسوب می‌کنند و به این ترتیب از هوا جدا می‌گردند. تیغه‌ها را هر چند روز یکبار با ضربه زدن می‌تکانند و دوده‌ها را جدا می‌کنند تا دوباره آماده به کار شوند.

☑ بخش۷ : انرژی پتانسیل الکتریکی (U_E)

می‌خواهیم دربارهٔ انرژی پتانسیل الکتریکی صحبت کنیم اما لازم است که پیش از آن، مروری بر مفهوم انرژی پتانسیل گرانشی و برخی مفاهیم از مبحث کار و انرژی که در پایهٔ دهم آموختید داشته باشیم. (**یادآوری**: یکای انواع انرژی و همچنین کار در SI، **ژول**(J) است.)

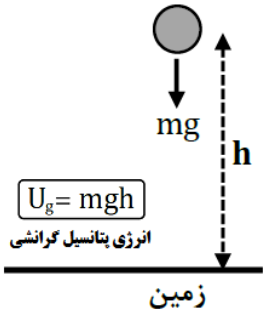
«**انرژی** » توانایی انجام کار است و به دو حالت کلی وجود دارد: ۱- انرژی جنبشی(K) ۲- انرژی پتانسیل(U).

به انرژی‌ای که اجسام به سبب حرکتشان دارند، **انرژی جنبشی** گفته می‌شود. انرژی جنبشی جسمی به جرم m که با تندی v حرکت می‌کند، از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

اما **انرژی پتانسیل**، داستان متفاوتی دارد. این انرژی‌ای است که در اجسام یک سامانه به سبب وضعیت خاصی که نسبت به یکدیگر دارند ذخیره می‌شود. برای محاسبهٔ این نوع انرژی، رابطه (فرمول) یکتایی وجود ندارد و بسته به این‌که منشأ این انرژی چه چیزی باشد، رابطهٔ متفاوتی برای آن تعریف می‌شود. در پایهٔ دهم، یکی از انواع این انرژی با منشأ گرانشی به شما معرفی شد.

انرژی پتانسیل گرانشی(U_g): می‌دانیم که هر جسمی به جرم m را اگر به حال خود رها کنیم، تمایل دارد بر روی زمین بماند و اگر بخواهیم آن را از سطح زمین جدا کنیم و به ارتفاع h ببریم، باید بر روی آن کار انجام دهیم (در واقع باید زور بزنیم تا جسم را بر خلاف میلش از زمین جدا کنیم و به ارتفاع ببریم). تمام انرژی‌ای که صرف این کار می‌شود درون سامانهٔ زمین ـ جسم ذخیره می‌شود. این انرژیِ ذخیره شده، همان انرژی پتانسیل گرانشی است که تغییرات آن از رابطهٔ $\Delta U_g = mgh$ به‌دست می‌آید. تا وقتی که جسم در حال بالا رفتن باشد انرژی پتانسیلِ آن نیز در حال افزایش است لذا تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی در هنگام بالا رفتن، مثبت است: $\Delta U_g > 0$



اما کاری که نیروی گرانش (نیروی وزن: mg) در هنگام بالا رفتن این جسم انجام داده است، برابر است با: $W_g = -mgh$ که مقداری منفی دارد زیرا جسم بر خلاف جهت نیروی گرانش، به سمت بالا حرکت کرده است. می‌بینیم که کار نیروی گرانشی، برابر منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی است. لذا می‌توانیم این نتیجهٔ بسیار مهم را بنویسیم: $W_g = -\Delta U_g \leftarrow \Delta U_g = -W_g$

حال اگر جسم را از ارتفاعی که دارد رها کنیم، خود به خود به سمت زمین حرکت می‌کند. اینجا دیگر نیازی به زور زدن و صرف انرژی نداریم چون جسم تمایل دارد به سمت زمین برود. لذا شروع به مصرف کردنِ انرژی ذخیره شدهٔ خود کرده و سرعت می‌گیرد. هرچه به سطح زمین نزدیکتر می‌شود از انرژی پتانسیل گرانشی جسم کم شده (تغییرات آن منفی است: $\Delta U_g < 0$) و به انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود و سرعت بیشتری پیدا می‌کند تا به زمین برسد. در این حالت انرژی پتانسیل گرانشی آن صفر می‌شود. کار نیروی گرانشی نیز در این حالت مثبت است.

از توضیحات صفحهٔ قبل، نتایج مهم زیر به‌دست می‌آید که در هر نوع سامانهٔ ذخیرهٔ انرژی پتانسیل معتبر است:

هرگاه جسم را **مجبور کنیم** که در خلاف جهت تمایلش حرکت کند، **انرژی پتانسیل** آن **افزایش** می‌یابد: $\Delta U_{\text{سامانه}} > 0$ و $W_{\text{سامانه}} < 0$

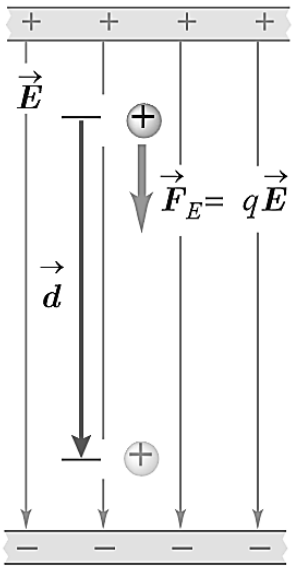
هرگاه جسم را رها کنیم تا **خودبه‌خود** در جهت تمایلش حرکت کند، **انرژی پتانسیل** آن **کاهش** می‌یابد: $\Delta U_{\text{سامانه}} < 0$ و $W_{\text{سامانه}} > 0$

○ نکته: اندیس‌ها مهم‌اند! طبق نتیجه‌ای که از انرژی پتانسیل گرانشی به دست آمد ($W_g = -\Delta U_g$) می‌توان نشان داد که در هر سامانه‌ای که انرژی پتانسیل را ذخیره می‌کند شبیه این نتیجه برقرار است یعنی: $W_{\text{سامانه}} = -\Delta U_{\text{سامانه}}$ به این معنی که: کاری که سامانه بر روی جسم انجام می‌دهد، برابر منفی تغییرات انرژی پتانسیل آن سامانه است. اندیس «سامانه» در «$W_{\text{سامانه}}$» از این جهت اهمیت دارد که ممکن است نیروهای دیگری جز نیروی سامانه هم بر روی جسم کار انجام دهند که این رابطه با آن نیروها کاری ندارد. در مثال صفحهٔ قبل، که مثالی از سامانهٔ زمین ـ جسم بود، این ما هستیم که جسم را تا ارتفاع h بالا برده‌ایم. پس ما هم که جزء این سامانه نیستیم با نیروی خود بر روی جسم کار انجام داده‌ایم که می‌توانیم آن را با « $W_{\text{خارجی}}$ » یا « $W_{\text{ما}}$ » نشان دهیم. اما این رابطه چیزی دربارهٔ کار ما نمی‌گوید و صرفاً رابطهٔ میان W_g و ΔU_g را بیان می‌کند. البته « $W_{\text{ما}}$ » نیز با کار و تغییرات انرژی پتانسیل سامانه، رابطهٔ خاص خود را دارد که در ادامه با آن آشنا می‌شویم.

❖ انرژی پتانسیل الکتریکی (U_E):

فرض کنید که بار مثبت q_1 را در جای خود محکم و ثابت کرده‌ایم. (شکل مقابل)

حال اگر بار مثبت q_2 را به نزدیک آن ببریم و سپس رها کنیم چه می‌شود؟ آری، بار q_2 شروع به دور شدن از بار q_1 کرده و دارای انرژی جنبشی می‌شود. این انرژی جنبشی خود به خود به وجود نیامده بلکه طبق قانون پایستگی انرژی، این انرژی باید از تبدیل یک انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی حاصل شده باشد. در واقع، وقتی که یک بار الکتریکی، در میدان الکتریکیِ بار دیگر قرار می‌گیرد، دارای مقداری انرژی پتانسیل می‌گردد که به آن **انرژی پتانسیل الکتریکی** می‌گوییم. این وضعیت، چیزی شبیه انرژی پتانسیل گرانشی است. در آن‌جا نیز وقتی جسمی در فاصله‌ای از زمین قرار می‌گرفت، دارای انرژی پتانسیل گرانشی می‌شد. از آنجا که هیچ بار مثبتی دوست ندارد که نزدیک بار مثبت دیگر قرار بگیرد، ابتدا نیرویی مانند نیروی دست ما باید مقداری کار انجام دهد و این دو بار مثبت را به هم نزدیک کند. کاری که ما انجام می‌دهیم، در این میدان الکتریکی به صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود و آماده است تا با رها شدن بارهای مثبت، به انرژی جنبشی تبدیل شود. پس با نوع دیگری از انرژی پتانسیل که در سامانه‌ای شامل ذرهٔ باردار و میدان الکتریکی شکل می‌گیرد. آشنا شدیم.

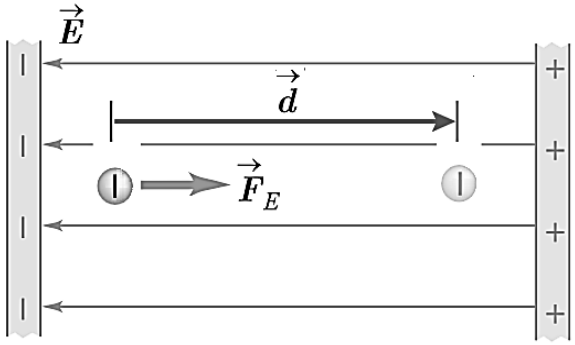


حالا می‌خواهیم روابطی را برای این نوع انرژی پتانسیل پیدا کنیم. برای این منظور، بار الکتریکی مثبتی را همانند شکل مقابل، در یک **میدان الکتریکی یکنواخت** رها می‌کنیم تا بتواند آزادانه حرکت کند. این بار الکتریکی، فقط تحت تأثیر نیرویی است که از سوی میدان الکتریکی بر آن وارد می‌شود (با چشم پوشی از نیروی گرانش و مقاومت هوا). می‌دانیم که نیروی وارد بر **بار مثبت** در یک میدان الکتریکی، هم جهت با میدان است. پس بار مثبت، خودبه‌خود در جهت میدان شروع به حرکت می‌کند (از صفحهٔ مثبت دور و به صفحهٔ منفی نزدیک می‌شود). با توجه به نکاتی که ذکر شد، چون این حرکت خود به خودی و در جهتِ تمایلِ ذره است، انرژی پتانسیل الکتریکی آن مصرف شده و کاهش می‌یابد ($\Delta U_E < 0$) و چون ذره در جهت نیروی میدان حرکت می‌کند، کاری که میدان الکتریکی روی این ذره انجام می‌دهد مثبت است ($W_E > 0$). و با توجه به رابطهٔ کلی که برای سامانه‌های انرژی پتانسیل ذکر کردیم، در این‌جا هم می‌توانیم نتیجه بگیریم:

$$W_E = -\Delta U_E$$

(رابطهٔ مقابل، در همهٔ شرایط و همهٔ مسائل این فصل، معتبر است)

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید**

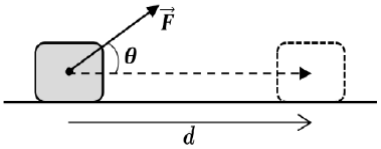


نکته: اگر در یک میدان الکتریکی یکنواخت، به جای بار مثبت، یک بار منفی را رها کنیم، با توجه به این‌که نیروی وارد بر بار منفی در میدان الکتریکی، خلاف جهت میدان است، بار منفی به صورت طبیعی تمایل دارد که در خلاف جهت میدان حرکت کند. پس خودبه‌خود از صفحهٔ منفی دور شده و به صفحهٔ مثبت نزدیک می‌شود. در این حالت نیز همانند قبل، انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و کار میدان الکتریکی مثبت خواهد بود.

یافتن رابطه‌ای برای ΔU_E:

تا اینجای کار، به یک رابطهٔ بسیار مهم در روابط انرژی پتانسیل الکتریکی دست یافته‌ایم: $W_E = -\Delta U_E$

طبق این رابطه، کار میدان الکتریکی (W_E) و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) هم‌اندازه اما قرینهٔ یکدیگرند. یعنی فقط در علامت با هم اختلاف دارند. پس اگر برای W_E رابطه‌ای تعریف کنیم، منفیِ آن رابطه برای ΔU_E نیز صدق می‌کند.



نوشتن رابطه برای کار(W_E) آسان به نظر می‌رسد. زیرا در پایهٔ دهم در فصل کار و انرژی دانستیم که وقتی به جسمی نیروی F نیوتون وارد می‌شود و آن جسم در راستای نیرو به اندازهٔ d متر جابه‌جا می‌شود، کار انجام شده توسط آن نیرو بر روی جسم برابر است با: $W = Fd\cos\theta$

در اینجا نیز به ذرهٔ باردار (که جسمی کوچک است) از طرف میدان الکتریکی، نیروی $F_E = |q|E$ وارد می‌شود و آن را در راستای میدان به اندازهٔ d متر حرکت می‌دهد. پس می‌توانیم از رابطه برای محاسبهٔ کار میدان الکتریکی نیز استفاده کنیم:

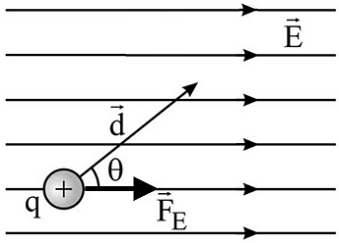
$W_E = F_E d\cos\theta \Rightarrow F_E = |q|E$ (نیروی الکتریکی)

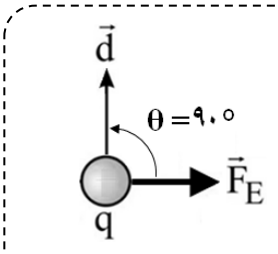
کار میدان الکتریکی: $W_E = |q|Ed\cos\theta$

$\Delta U_E = -W_E \Longrightarrow$ **تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی:** $\Delta U_E = -|q|Ed\cos\theta$

θ در این روابط، زاویهٔ بین بردارهای نیرو ($\vec{F}_E$) و جابه‌جایی ($\vec{d}$) است.

توجه: در شکل مقابل، ذرهٔ باردار به صورت مایل(کج) در میدان حرکت کرده است. اما در کتاب درسی، فقط جابه‌جایی‌های هم‌راستا با خطوط میدان الکتریکی و یا عمود بر خطوط میدان الکتریکی مورد بررسی و سوال قرار گرفته‌اند. بر این اساس، **فقط با ۳ حالت زیر در مسائل، مواجه خواهیم بود:**



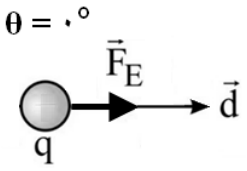


$\vec{F}_E$ و $\vec{d}$ عمود بر هم

$\cos ۹۰^\circ = ۰$

$W_E = ۰$

$\Delta U_E = ۰$

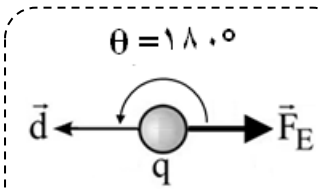


$\vec{F}_E$ و $\vec{d}$ هم‌جهت

$\cos ۰^\circ = ۱$

$W_E = |q|Ed$

$\Delta U_E = -|q|Ed$



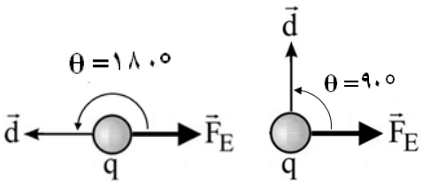
$\vec{F}_E$ و $\vec{d}$ در خلاف جهت

$\cos ۱۸۰^\circ = -۱$

$W_E = -|q|Ed$

$\Delta U_E = |q|Ed$

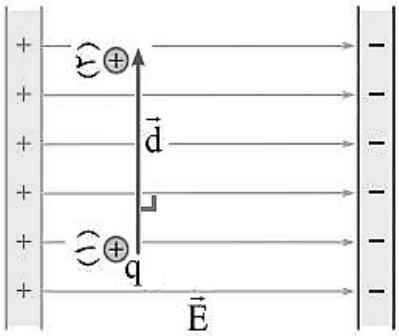
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **



○ نکته‌ای برای اهل دقت: در ۳ حالتِ مطرح شده در صفحهٔ قبل، حالاتی وجود دارد که نیرو و جابه‌جایی در جهت هم نیستند. مگر جسم نباید در جهت نیروی وارد بر آن حرکت کند؟

پاسخ اول: توجه کنید که این شکل‌ها فقط جهت نیروی الکتریکی که از سوی میدان بر ذرهٔ باردار وارد می‌شود را نشان می‌دهد نه همهٔ نیروهای تأثیرگذار بر ذره را. پس ممکن است نیروهای خارجی دیگری (مثل نیروی وزن یا نیروی دست ما) نیز بر ذره وارد شده و مسیر آن را تغییر داده باشد. اما اگر هم این‌طور باشد، این نیروها در کمیت‌ها و روابطی که تاکنون به دست آوردیم تأثیری ندارند. مثلاً ما برای به محاسبهٔ کار میدان، فقط باید F_E و d و زاویهٔ بین آن‌ها (θ) را داشته باشیم، لذا فقط آن‌ها را در شکل رسم کردیم. و این‌که نیروهای دیگری هم وجود داشته باشد به محاسبهٔ کار میدان ربطی ندارد. (اگر می‌خواستیم کار نیروی خارجی را حساب کنیم، آن‌وقت به جای F_E، بردار نیروی خارجی را در شکل رسم می‌کردیم.)

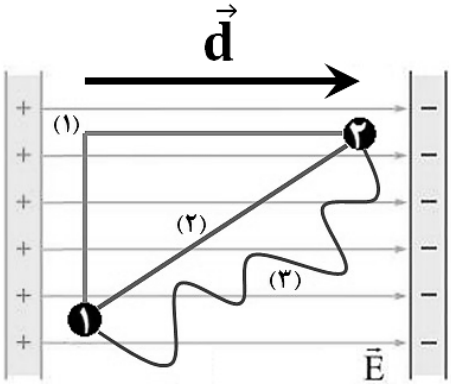
پاسخ دوم(پرتاب ذره در میدان): در فیزیک سال دوازدهم خواهید دید که جابه‌جاییِ یک جسم لزوماً هم‌جهت با نیروی خالص وارد بر آن نیست. اما برای ملموس شدن این موضوع، می‌توانیم به مواردی اشاره کنیم که ذرهٔ باردار در میدان الکتریکی، **پرتاب** می‌شود. نیرویی که این ذره را پرتاب می‌کند، بلافاصله پس از پرتاب، از آن جدا می‌شود و دیگر در میدان الکتریکی با جسم همراه نیست. بنابراین تنها نیروی مؤثر بر آن ذره، نیروی الکتریکی است. حال اگر این ذره در جهتی مخالف با نیروی میدان الکتریکی به داخل میدان پرتاب شود، با این‌که نیروی الکتریکی در مقابل آن مقاومت می‌کند اما آن ذره به جهت تندی اولیه‌ای که دارد، مدتی بر خلاف جهت نیروی الکتریکی در میدان حرکت می‌کند تا به تدریج تندیِ آن کم شده و به صفر برسد. بعد از آن، تغییر جهت می‌دهد و در جهت نیروی الکتریکی سرعت می‌گیرد. (مانند توپی که به آسمان پرت می‌شود و با این‌که در این حالت نیروی وزن، آن را به سمت زمین می‌کشد اما مدتی بر خلاف جهت نیروی وزن به سمت بالا حرکت می‌کند تا تندی آن صفر شود و دوباره به سمت زمین بازگردد.)



○ نکته: با توجه به این‌که در روابط W_E و ΔU_E، عبارت $\cos\theta$ وجود دارد، در حالتی که $\vec{F}_E$ و $\vec{d}$ **عمود بر هم** باشند ($\theta = 90^\circ$)، آن‌گاه $\cos\theta$ صفر خواهد شد و به تبع آن، هر دو کمیت W_E و ΔU_E نیز صفر می‌شوند. پس این نکته را به خاطر بسپارید که:

اگر بار الکتریکی (+ یا −) عمود بر جهت میدان حرکت کند، تغییرات انرژی پتانسیل و کار نیروی الکتریکی صفر می‌شود.

ⓘ توجه: وقتی ΔU_E صفر باشد، یعنی: $U_{E2}=U_{E1}$، که این به معنی ثابت ماندن انرژی پتانسیل الکتریکی(U_E) در فاصلهٔ بین دو نقطه است.



○ نکته: بر اساس نکتهٔ قبل، اگر بار الکتریکی مسیری را بین دو نقطه در میدان طی کند، فقط آن مقداری را که در راستای میدان پیموده است در محاسبهٔ کار و تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی حساب می‌شود و مابقی آن، عمود بر میدان و صفر محسوب خواهد شد. مثلاً در شکل مقابل، اگر ذرهٔ باردار از هرکدام از مسیرهای سه‌گانه میان نقاط ۱ و ۲ جابه‌جا شود، اندازهٔ d آن (مسافت پیموده شدهٔ آن بر اثر نیروی الکتریکی) یکسان خواهد بود؛ زیرا فاصلهٔ این دو نقطه در راستای موازی با خطوط میدان همین مقدار است. بنابراین می‌توانیم بگوییم:

کار نیروی الکتریکی (W_E) ــ و همچنین تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) ــ در جابه‌جایی بار بین دو نقطه، به مسیر حرکت بستگی ندارد، بلکه به فاصلهٔ آن دو نقطه در راستای میدان (خطوط میدان) بستگی دارد.

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید**

تغییرات انرژی جنبشی (ΔK):

تا اینجای کار، موفق شدیم که رابطه‌ای برای تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) پیدا کنیم. اما وقتی صحبت از انرژی پتانسیل می‌شود، پای انرژی جنبشی نیز به میان می‌آید. بخصوص این‌که این دو انرژی در سامانهٔ میدان الکتریکی، مدام به هم تبدیل می‌شوند.

ⓘ توجه: در ابتدا توجه کنید که وقتی بار الکتریکی فقط در معرض نیروی الکتریکیِ میدان باشد، چون نیروهای اتلافی یا نیروی خارجی دیگری به آن اثر نمی‌کند، به حرکت در می‌آید و هرچه از انرژی پتانسیل آن کم شود به انرژی جنبشی آن اضافه می‌شود (و بالعکس) و چیزی از انرژی کل(انرژی مکانیکی) تلف نمی‌شود؛ لذا انرژی آن پایسته است و می‌توان از **قانون پایستگی انرژی**، رابطهٔ انرژی جنبشی و پتانسیل را این طور بیان کرد: $\Delta K = -\Delta U_E$. اما توصیهٔ ما این است که هرگاه پای انرژی جنبشی و یا تندی ذره به میان آمد، فقط از **قضیهٔ کار و انرژی جنبشی** (قانون طلایی) استفاده نمایید. این قضیه در تمام حالات (پایسته یا ناپایسته) و شرایطی که در این فصل بحث می‌شود، جواب می‌دهد و به این صورت، از پیچیده شدنِ مسئله و گیج شدن میان حالات مختلف رها می‌شوید.

قضیهٔ کار و انرژی جنبشی: $W_t = \Delta K$

این قضیه می‌گوید که مجموع تک‌تک کارهایی که توسط نیروهای مختلف بر روی جسم انجام می‌شود (یعنی: W_t) برابر است با تغییر انرژی جنبشی آن جسم (ΔK). بر این اساس، چون تا این بخش، تنها نیروی وارد بر جسم را نیروی الکتریکی ناشی از میدان (یعنی: F_E) فرض کرده‌ایم فقط یک کار بر روی ذره انجام شده است و آن کار میدان الکتریکی (یعنی: W_E) است. پس برای این حالت: $W_t = W_E$ است. لذا برای پیدا کردن رابطهٔ تغییرات انرژی جنبشی (ΔK) می‌نویسیم:

$$W_t = \Delta K \xrightarrow{W_t = W_E} W_E = \Delta K \xrightarrow{W_E = -\Delta U_E} -\Delta U_E = \Delta K \rightarrow \boxed{\Delta K = -\Delta U_E}$$

○ یادآوری: ΔK به صورت مقابل، باز می‌شود:

$$\Delta K = \underbrace{K_2 - K_1}_{\text{انرژی جنبشی}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \underbrace{\frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)}_{\text{تندی ذره}}$$

○ نکتهٔ مهم: این نکتهٔ مهم را به خاطر داشته باشید که هرگاه در مسائل، صحبت از **تندی ذره** یا **انرژی جنبشی** به میان آمد، باید ΔK را به شکل مناسب آن مسئله باز کنید و بنویسید. یعنی هرگاه فقط صحبت از انرژی جنبشی در نقاط ابتدایی یا انتهایی بود کافی است که از عبارت $\Delta K = K_2 - K_1$ استفاده کنیم و اگر صحبت از تندی ذره در نقاط ابتدایی یا انتهایی بود: $\Delta K = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$

❖ توضیح دو اصطلاح:

➔ رها شدن: اگر مسئله بگوید که ذره در میدان **رها می‌شود** به این معنی است که تندی (سرعت) اولیهٔ آن صفر است ($v_1 = 0$) و همچنین رها شدن ذره می‌تواند به معنای حرکت آزادانهٔ ذره در میدان (در جهت دلخواه ذره) نیز باشد. در این صورت، فقط نیروی الکتریکیِ میدان به ذره وارد می‌شود و نیروی خارجی نداریم. (اما باز هم به داده‌ها و شرایط مسئله دقت کنید).

➔ پرتاب شدن: اگر مسئله بگوید که ذره در میدان **پرتاب می‌شود** به این معنی است که دارای تندی اولیه است و قاعدتاً ذره در جهت مخالف نیروی الکتریکی پرتاب می‌شود و تنها نیروی مؤثر بر آن نیز نیروی الکتریکی خواهد بود (توضیحات بیشتر قبلاً داده شده است).

در نهایت، برای رابطه‌هایی که تا اینجا پیدا کردیم به این جمع‌بندی می‌رسیم:

رابطهٔ اصلی(مبنا)

انرژی پتانسیل الکتریکی $\Delta U_E = -|q|Ed\cos\theta$

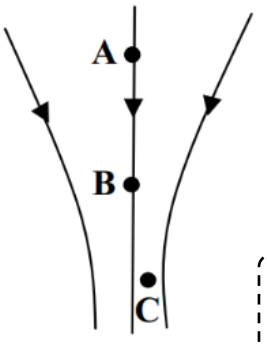
رابطهٔ کمیت‌ها با هم در غیاب نیروی خارجی

تحلیل مفهومی

○ اگر فقط نیروی الکتریکی بر روی ذرهٔ باردار، کار انجام دهد: $\Delta K = W_E = -\Delta U_E$

- اگر ذره در جهت میل طبیعی‌اش حرکت کند: ΔU_E منفی (در حال کاهش) و W_E مثبت است.
- اگر ذره در خلاف جهت میل طبیعی‌اش حرکت کند: ΔU_E مثبت (در حال افزایش) و W_E منفی است.

مثال ۲۵ (نهایی تجربی ـ شهریور ۹۸): شکل مقابل، خطوط میدان الکتریکی را در بخشی از فضا نشان می‌دهد.



الف) بزرگی میدان الکتریکی را درنقاط B و C مقایسه کنید.

ب) جهت نیروی وارد بر بار $q-$ را در نقطهٔ A رسم کنید.

پ) اگر بار $q-$ از نقطهٔ A تا نقطهٔ B جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد یا افزایش؟

توضیح الف) .....

توضیح ب) .....

توضیح پ) *حرکت بار منفی در جهت میدان، باعث افزایش انرژی پتانسیل می‌شود. (بار منفی میل ندارد در جهت میدان حرکت کند، لذا باید با زور و اجبار این کار را انجام دهیم. پس انرژی پتانسیل آن افزایش می‌یابد)*

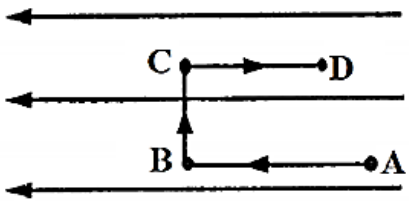
○ روش‌های تشخیص افزایش (یا کاهش) انرژی پتانسیل الکتریکی (یادآوری و جمع‌بندی)

۱- **روش اصلی:** حرکت **بار مثبت** در خلاف جهت میدان و **بار منفی** در جهت میدان باعث افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی می‌شود. **(و بالعکس)**

۲- **روش مفهومی۱:** هرگاه برای حرکت ذره در میدان **زور بزنیم**، انرژی پتانسیل الکتریکی ذره افزایش می‌یابد! **(و بالعکس)**

۳- **روش مفهومی۲:** هرگاه بار به صفحهٔ **همنام** خود نزدیک شود، انرژی پتانسیل افزایش می‌یابد.(مثلاً بار + به صفحهٔ + نزدیک شود) **(و بالعکس)**

مثال ۲۶ (مشابه نهایی تجربی ـ خرداد ۹۵): مطابق شکل، ذره‌ای با بار منفی را در یک میدان الکتریکی یکنواخت از A تا D در مسیرهای نشان داده شده جابه‌جا می‌کنیم.



الف) در کدام نقطه، اندازهٔ میدان الکتریکی بزرگتر است؟

ب) در کدام مسیر، انرژی پتانسیل الکتریکی ذره کاهش می‌یابد؟

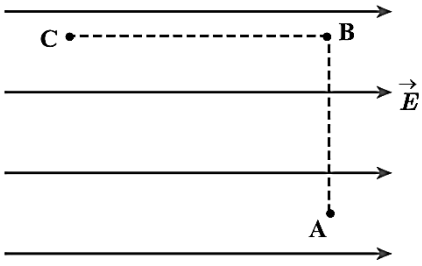
پ) در کدام مسیر، کاری که برای جابه‌جایی بار انجام می‌شود، صفر است؟

توضیح الف) .....

توضیح ب) *حرکت بار منفی در خلاف جهت میدان، باعث کاهش انرژی پتانسیل می‌شود (چون دارد در جهت دلخواهش حرکت می‌کند و زوری در کار نیست).*

توضیح پ) .....

مثال ۲۷ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۱۶): مطابق شکل زیر، بار $q = +۵۰\ nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $۸\times۱۰^{۵}\ N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = ۰/۲\ m$ و $BC = ۰/۴\ m$ باشد مطلوب است:



الف) نیروی الکتریکی وارد بر q .

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد.

پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه‌جایی.

کتاب درسی ○ مثال ۱- ۱۰ ← در این‌مثال با **پرتاب ذرهٔ باردار** در میدان و **قضیهٔ کار و انرژی جنبشی** و نیز محاسبهٔ **تندی ذره** سروکار دارید.

تمرین ۱-۸ کتاب درسی در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = ۲\times۱۰^{۳}\ N/C$ ، پروتونی را در نقطهٔ A از حالت سکون رها می‌کنیم. اگر بار پروتون $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ و جرم آن $۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}\ Kg$ باشد، با چه تندی‌ای به نقطهٔ B می‌رسد؟