

РАБОТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

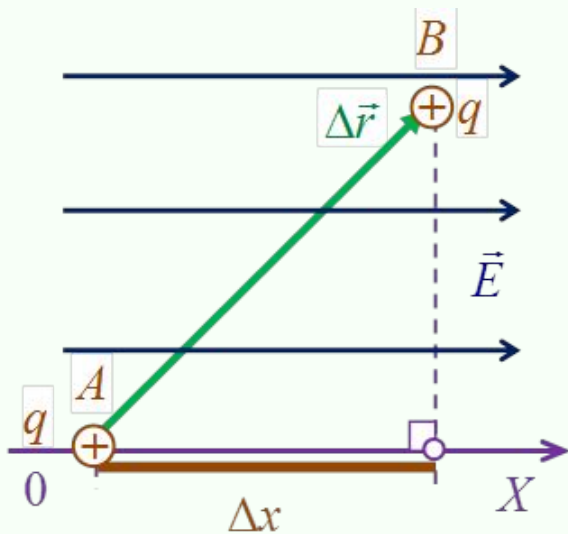
10 КЛАСС

Это материалы сайтов www.alsak.ru и web-physics.ru

учитель физики,
МГОЛ № 1,
Сакович А.Л.

Могилев, 2014, 2015, 2016

РАБОТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ



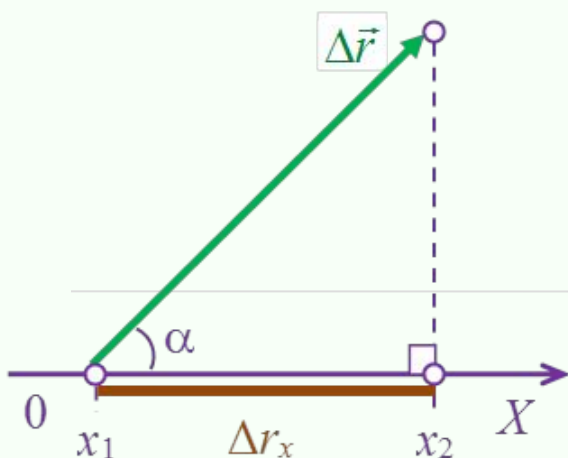
$$A_{AB} = q \cdot E \cdot \Delta x.$$

- ❖ Работа электростатического поля при перемещении заряда в однородном электростатическом поле между точками A и B равна произведению заряда q , на значение напряженности электрического поля E и на проекцию перемещения заряда Δx на ось, направленную вдоль силовой линии.

Проекция перемещения заряда на ось OX равна

$$\Delta x = \Delta r_x = \Delta r \cdot \cos \alpha = x_2 - x_1,$$

где x_2 и x_1 — координаты заряда в конечном и начальном положении соответственно; Δr — перемещение заряда; α — угол между направлением перемещения и силовой линией.



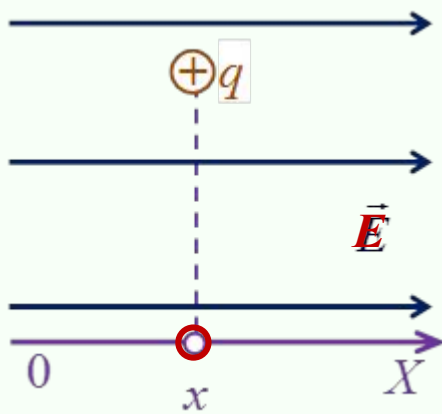
РАБОТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

- ❖ Поле, работа сил которого не зависит от формы траектории и на замкнутой траектории равна нулю, называется *потенциальным* или *консервативным*.

Электростатическое поле — это потенциальное поле.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Потенциальная энергия W_p заряда q в электростатическом поле



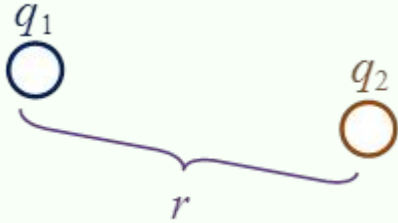
$$W_p = -q \cdot E \cdot x,$$

где E — значение напряженности электрического поля в точке, где находится заряд;

x — координата заряда на оси OX , направленной вдоль силовой линии.

Координата x зависит от выбора системы отсчета (СО), поэтому и потенциальная энергия W_p заряда зависит от выбора СО.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ



Рассмотрим два точечных заряда q_1 и q_2 , расположенных на расстоянии r друг от друга.

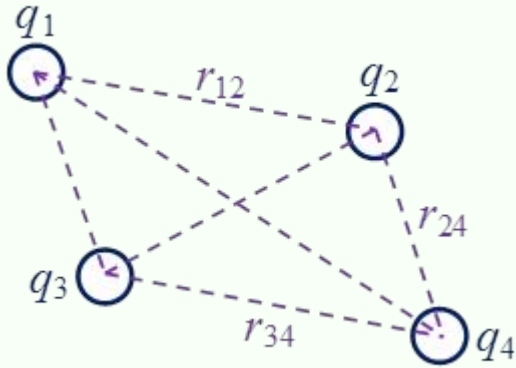
Потенциальная энергия W_p взаимодействия двух зарядов равна

$$W_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r},$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коэффициент пропорциональности.

- Если q_1 и q_2 — одноименные заряды, то $W_p > 0$,
- если q_1 и q_2 — разные по знаку заряды, то $W_p < 0$.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ



Рассмотрим несколько точечных зарядов q_1, q_2, q_3, \dots

Потенциальная энергия W_p их взаимодействия равна сумме потенциальных энергий *всех пар* взаимодействующих зарядов:

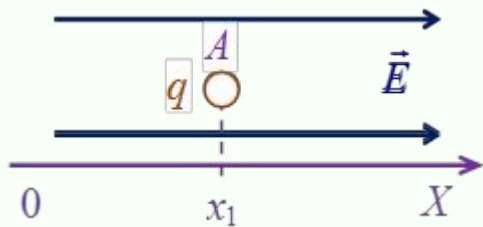
$$W_p = W_{p12} + W_{p13} + W_{p14} + \dots + W_{p23} + W_{p24} + \dots,$$

где $W_{p12}, W_{p13}, W_{p14}, \dots$ — потенциальная энергия взаимодействия *первого* заряда со вторым, с третьим, ...;

W_{p23}, W_{p24}, \dots — потенциальная энергия взаимодействия *второго* заряда с третьим, с четвертым и т.д.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯ

Введем еще одну характеристику электрического поля.



В точку A однородного электростатического поля с напряженностью E помещаем заряд q .

Выберем CO , в которой координата точки A равна x_1 .

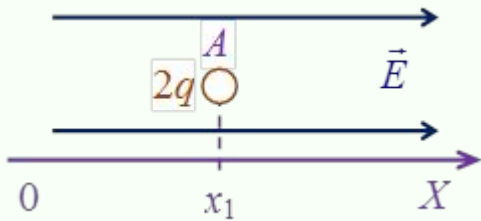
Потенциальная энергия W_p заряда q в точке A :

$$W_p = -q \cdot E \cdot x_1.$$

Найдем значение величины

$$\frac{W_p}{q} = -E \cdot x_1.$$

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯ



В точку A однородного электростатического поля с напряженностью E помещаем заряд $2q$.

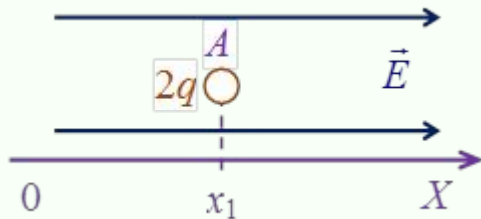
Потенциальная энергия W_p заряда $2q$ в точке A :

$$W_p = -2q \cdot E \cdot x_1.$$

Найдем значение величины

$$\frac{W_p}{2q} = -E \cdot x_1.$$

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯ



Аналогичный результат мы получим, если будем помещать в точку A другие заряды.

Следовательно, величина

$$\frac{W_p}{q} = -E \cdot x$$

- *не зависит* от величины заряда, который мы помещаем в электрическое поле;
- *но зависит* от параметров электрического поля:
 - от E (напряженности поля),
 - от x (координаты точки поля).

ПОТЕНЦИАЛ

Новая характеристика электрического поля — *потенциал* φ поля в данной точке.

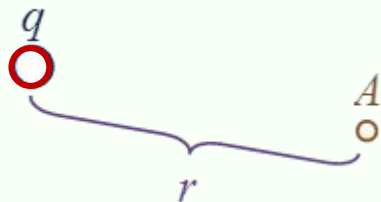
$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

❖ *Потенциал электростатического поля* φ в данной точке пространства — это скалярная физическая величина, равная отношению потенциальной энергии W_p , которой обладает точечный заряд q в данной точке пространства, к величине этого заряда.

$$[\varphi] = \frac{[W_p]}{[q]} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$$

- Единицей измерения потенциала является *вольт* (В).
- Потенциал — это *энергетическая характеристика* электрического поля.

ПОТЕНЦИАЛ



Пусть электрическое поле создано *точечным* зарядом q .

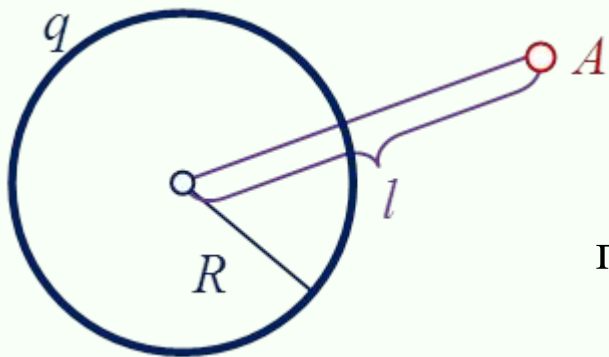
В точке A , расположенной на расстоянии r от заряда q , потенциал поля

$$\varphi = k \cdot \frac{q}{r},$$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коэффициент пропорциональности.

ПОТЕНЦИАЛ

❖ Значение потенциала электрического поля, созданного сферой радиуса R , имеющей заряд q , в точке A на расстоянии l от центра сферы, равно



- $\varphi = k \cdot \frac{q}{l}$ если $l > R$
- $\varphi = k \cdot \frac{q}{R}$ если $l \leq R$

где $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коэффициент пропорциональности.

СВОЙСТВА ПОТЕНЦИАЛА

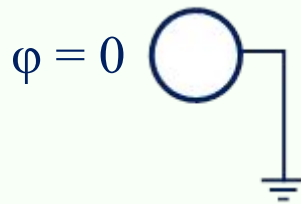
1. Потенциал (как и потенциальная энергия заряда) зависит от выбора СО (нулевого уровня).

- За нулевой потенциал в *технике* выбирают:

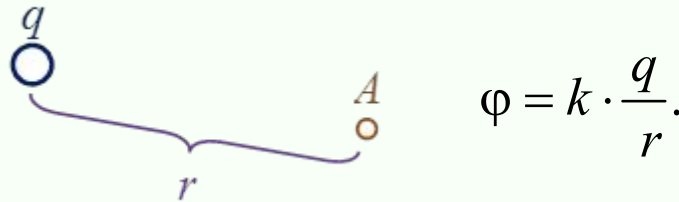
- потенциал поверхности Земли

или

- потенциал проводника, соединенного с землей (*заземленный*).



СВОЙСТВА ПОТЕНЦИАЛА



- За нулевой уровень потенциала в *физике* принимается любая точка, бесконечно удаленная от зарядов, создающих поле.

$$\varphi = 0 \text{ если } r \rightarrow \infty$$

2. Если электрическое поле создано:
 - зарядом $q > 0$, то потенциал этого поля $\varphi > 0$;
 - зарядом $q < 0$, то $\varphi < 0$.
-

СВОЙСТВА ПОТЕНЦИАЛА

3. Принцип суперпозиции.

q_1
○

q_2
○

A ○

○ q_3

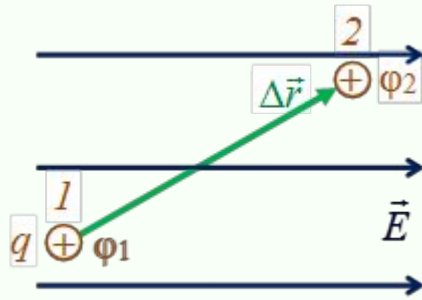
Пусть электрическое поле создано зарядами q_1, q_2, q_3 . Тогда

$$\varphi_A = \varphi_{A1} + \varphi_{A2} + \varphi_{A3},$$

$$\varphi_A = \varphi_{A1} + \varphi_{A2} + \varphi_{A3} + \dots$$

- ❖ Потенциал поля, созданного несколькими зарядами, в некоторой точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в этой точке каждым зарядом в отдельности.
-

РАБОТА ПОЛЯ



Пусть потенциалы электрического поля в точке 1 — φ_1 , в точке 2 — φ_2 .

Тогда работ электрического поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2.

$$A_{12} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

ПОТЕНЦИАЛ

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}.$$

- ❖ *Разность потенциалов* между данными точками электростатического поля — это скалярная физическая величина, численно равная работе сил поля по перемещению заряда в 1 Кл между этими точками.
 - Разность потенциалов обозначается $\varphi_1 - \varphi_2$, измеряется в вольтах (В).
Не путайте
 - *изменение потенциала* $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$
 - *и разность потенциала* $\varphi_1 - \varphi_2$.
 - Разность потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) не зависит от выбора СО.
-

НАПРЯЖЕНИЕ

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ называют *электрическим напряжением* между точками поля 1 и 2, обозначают U_{12} или U :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U_{12} = U = \frac{A_{12}}{q}.$$

❖ *Напряжение* между данными точками электростатического поля — это скалярная физическая величина, численно равная работе сил поля по перемещению заряда в 1 Кл между этими точками.

- Измеряется в вольтах (В).
- Данная формула *верна*, если на участке поля между двумя точками работа *сторонних сил* равна нулю.

Не путайте

- *напряжение* U
- *и напряженность* E .

НАПРЯЖЕНИЕ

Не системная единица измерения работы электрического поля — *электронвольт* (эВ).

- ❖ 1 эВ равен работе, совершаемой силами электрического поля при перемещении электрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) между двумя точками, напряжение между которыми равно 1 В.

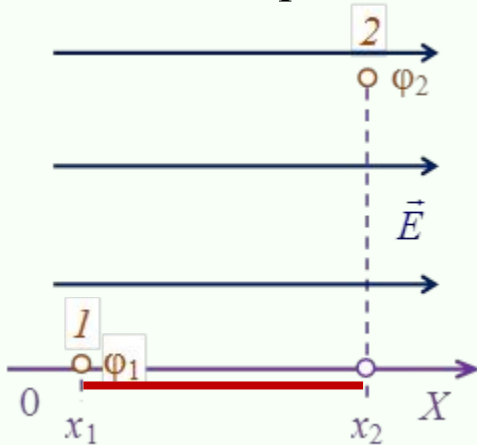
$$A = q \cdot U.$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

НАПРЯЖЕННОСТЬ И НАПРЯЖЕНИЕ

Формула связи между напряженностью E и напряжением U однородного электростатического поля.



$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_2 - x_1} = \frac{U}{\Delta x}.$$

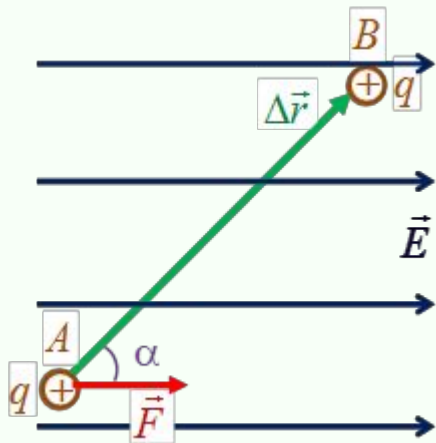
где Δx — расстояние между точками 1 и 2 вдоль силовой линии.

Из этой формулы получаем новую единицу измерения напряженности:

$$[E] = \frac{[U]}{[\Delta x]} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

$$A_{AB} = q \cdot E \cdot \Delta x.$$



Поместим в однородное электростатическое поле с напряженностью E положительный заряд q (в точке A).

Предположим, что заряд переместился из точки A в точку B .

Найдем, чему равна работа электростатического поля A по перемещению заряда.

Из механики: работа силы F равна

$$A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha.$$

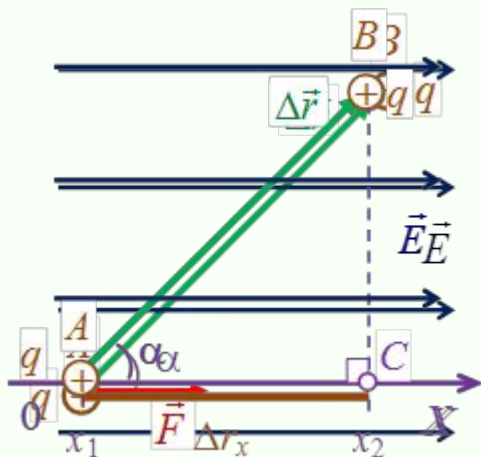
- Чему равна сила F , если известны значения q и E ?

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}, \quad F = q \cdot E.$$

- Куда она направлена?
- Между чем измеряется угол α ?

ВЫВОД ФОРМУЛ

$$A_{AB} = q \cdot E \cdot \Delta x.$$



Направим ось Ox вдоль силовой линии и построим проекцию перемещения Δr_x на ось Ox .

□ Чему равна проекция Δr_x ?

$$\Delta r_x = \Delta r \cdot \cos \alpha = x_2 - x_1 = \Delta x.$$

Таким образом мы имеем:

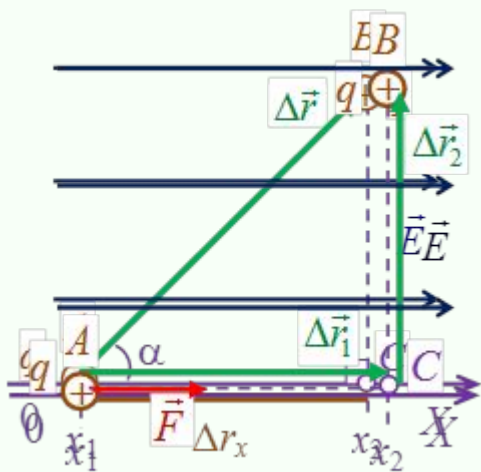
$$A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha.$$

$$F = q \cdot E, \quad \Delta r \cdot \cos \alpha = x_2 - x_1 = \Delta x.$$

$$A_{AB} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = q \cdot E \cdot \Delta x.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

- Электростатическое поле — это потенциальное поле, т.е. работа по перемещению заряда в этом поле *не зависит* от формы траектории.



Найдем работу поля при перемещении заряда q по траектории ACB .

$$A_{ACB} = A_{AC} + A_{CB},$$

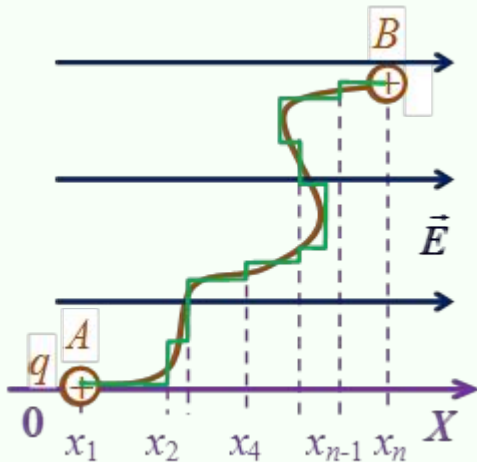
$$A_{AC} = q \cdot E \cdot \Delta r_{1x} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = q \cdot E \cdot \Delta x,$$

$$A_{CB} = q \cdot E \cdot \Delta r_{2x} = q \cdot E \cdot 0 = 0,$$

$$A_{ACB} = q \cdot E \cdot \Delta x + 0 = q \cdot E \cdot \Delta x.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

- Электростатическое поле — это потенциальное поле, т.е. работа по перемещению заряда в этом поле *не зависит* от формы траектории.



Найдем работу поля при перемещении заряда q по криволинейной траектории.

$$A_{AB3} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n,$$

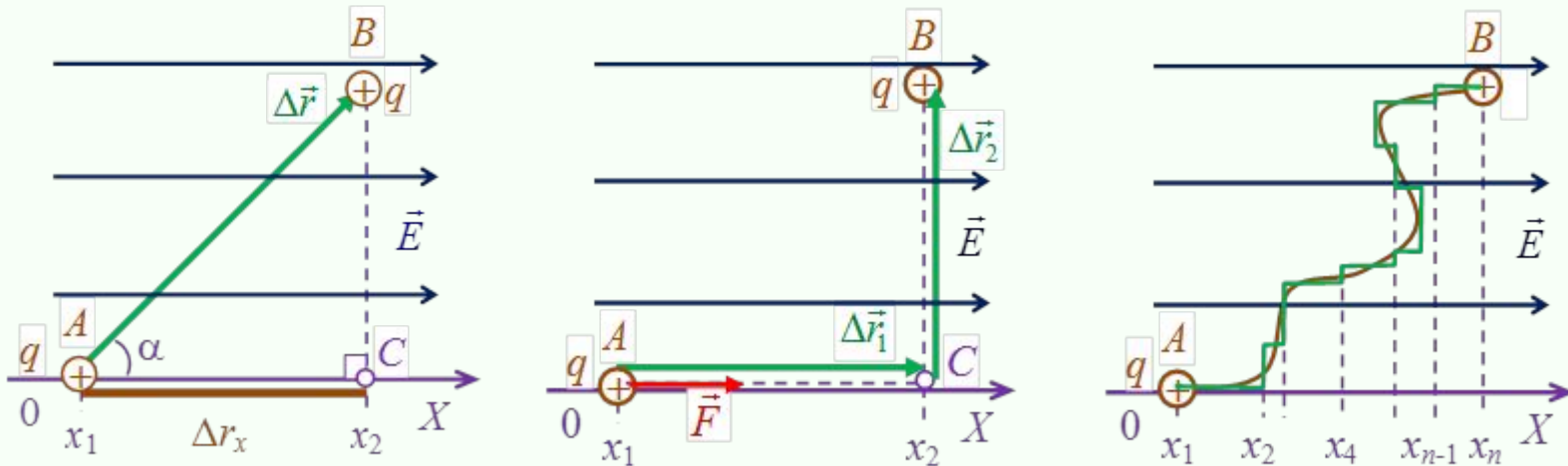
$$A_{AB3} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) + q \cdot E \cdot (x_3 - x_2) + q \cdot E \cdot (x_4 - x_3) + \dots + q \cdot E \cdot (x_{n-1} - x_n),$$

$$A_{AB3} = q \cdot E \cdot (\cancel{x_2 - x_1} + \cancel{x_3 - x_2} + \cancel{x_4 - x_3} + \dots + \cancel{x_{n-1} - x_{n-2}} + \cancel{x_n - x_{n-1}}),$$

$$A_{AB3} = q \cdot E \cdot (x_n - x_1) = q \cdot E \cdot \Delta x.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

- Электростатическое поле — это потенциальное поле, т.е. работа по перемещению заряда в этом поле *не зависит* от формы траектории.



$$A_{AB} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = \boxed{q \cdot E \cdot \Delta x.}$$

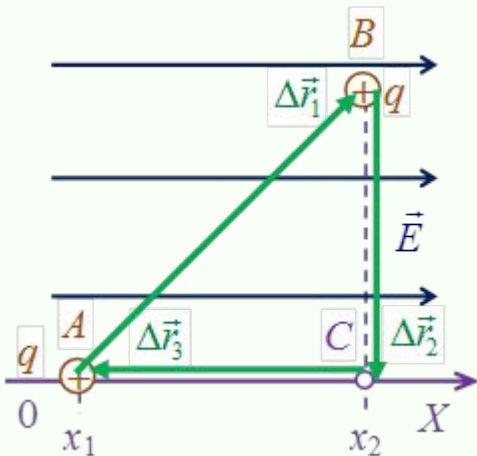
$$A_{AB3} = q \cdot E \cdot (x_n - x_1) = \boxed{q \cdot E \cdot \Delta x.}$$

$$A_{ACB} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = \boxed{q \cdot E \cdot \Delta x.}$$

Вывод. Работа по перемещению заряда в электростатическом поле *не зависит* от формы траектории, по которой двигался заряд q , а *зависит* от начальной и конечной координат заряда.

ВЫВОД ФОРМУЛ

- Работа по перемещению заряда в электростатическом поле на замкнутой траектории равна нулю.



Найдем работу поля при перемещении заряда q по траектории $ABCA$.

$$A_{ABCA} = A_{AB} + A_{BC} + A_{CA},$$

$$A_{AB} = q \cdot E \cdot \Delta r_{1x} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1),$$

$$A_{BC} = q \cdot E \cdot \Delta r_{2x} = q \cdot E \cdot 0 = 0,$$

$$A_{CA} = q \cdot E \cdot \Delta r_{3x} = q \cdot E \cdot (x_1 - x_2),$$

$$A_{ABCA} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) + q \cdot E \cdot 0 + q \cdot E \cdot (x_1 - x_2),$$

$$A_{ABCA} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1 + x_1 - x_2),$$

$$A_{ABCA} = q \cdot E \cdot 0 = 0.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

$$W_p = -q \cdot E \cdot x.$$

Из *механики*: работа консервативных сил равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком:

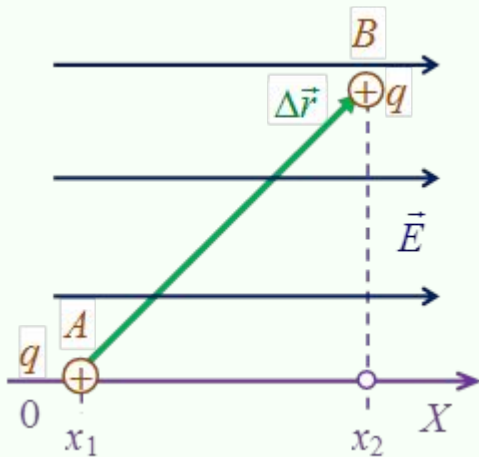
$$A_{AB} = -\Delta W_p = -(W_{p2} - W_{p1}) = -W_{p2} - (-W_{p1}).$$

С другой стороны, выше доказали, что

$$A_{AB} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1) = q \cdot E \cdot x_2 - q \cdot E \cdot x_1.$$

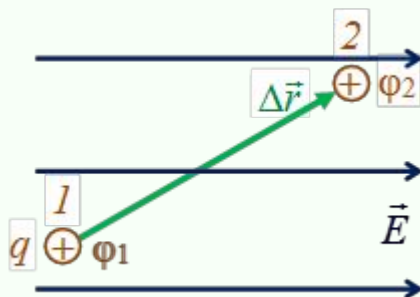
$$W_{p1} = -q \cdot E \cdot x_1, \quad W_{p2} = -q \cdot E \cdot x_2,$$

$$W_p = -q \cdot E \cdot x.$$



ВЫВОД ФОРМУЛ

$$A_{12} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$



Пусть потенциалы электрического поля в точке 1 — φ_1 , в точке 2 — φ_2 .

Тогда потенциальные энергии заряда q в точке 1 и в точке 2 будут равны:

$$W_1 = q \cdot \varphi_1, \quad W_2 = q \cdot \varphi_2.$$

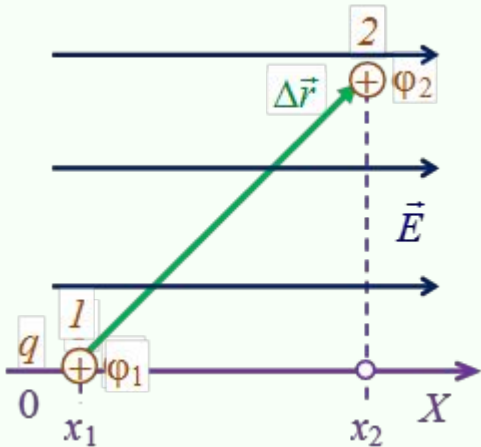
Найдем работу электрического поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 2.

$$A_{12} = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = q \cdot \varphi_1 - q \cdot \varphi_2 = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

$$A_{12} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2), \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}.$$

ВЫВОД ФОРМУЛ

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_2 - x_1} = \frac{U}{\Delta x}.$$



Пусть потенциалы однородного электростатического поля в точке 1 — φ_1 , в точке 2 — φ_2 ; координаты этих точек — x_1 и x_2 ; напряженность поля — E .

Из точки 1 в 2 перемещается заряд q .

В этом случае работу электрического поля можно найти двумя способами:

$$A_{12} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = A_{12} = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1).$$

Приравняв два выражения для работы A_{12} , найдем E :

$$q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = q \cdot E \cdot (x_2 - x_1),$$

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_2 - x_1} = \frac{U}{\Delta x}.$$

ЛИТЕРАТУРА

Физика – 10. § 16-17, С. 121-127, 130-132.

Учу решать задачи: подготовка к ЦТ, поступление в лицей



[Почитать про автора](#)

Приглашаю учеников **9-11 классов**.

Занятия могут проходить очно (для жителей г. **Могилева** республики Беларусь) или дистанционно через интернет.

[Подробнее про дистанционные курсы](#)

Так же вы можете заказать отдельный вебинар (интернет-урок) или заниматься самостоятельно по дидактическому материалу для подготовки к ЦТ.

[Подробнее про вебинары](#)

[Подробнее](#)

Здесь может быть ваша реклама
