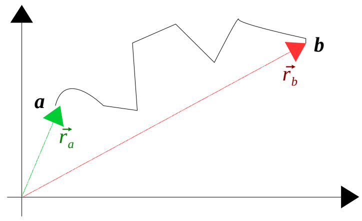
Билет 5.
Работа в электрическом поле, потенциал и разность потенциалов



Работа в электрическом поле

Вычислим работу силы Кулона при перемещении по произвольной траектории в электрическом поле, создаваемым точечным зарядом q, пробного заряда q_0 из точки **a** в точку **b**.

Выделим на траектории **ab** элементарное перемещение $\vec{dl}$ и вычислим работу силы Кулона на этом перемещении. $dA=\vec{F}\cdot d\vec{l}=F\cdot dl\cdot\cos\alpha$

Где $\vec{dl}$ – вектор перемещения, α – угол между векторами силы $\vec{F}$ и перемещением $d\vec{l}$, $dl\cdot\cos\alpha=dr$

Здесь dr – бесконечно малое изменение расстояния между зарядами q и q_0. Тогда $dA=F\cdot dr$.

$$F=k\frac{q q_0}{r^2}\quad\Rightarrow\quad dA=k\frac{q q_0}{r^2}\cdot dr$$

Работа силы Кулона, совершенная на всей траектории при движении заряда q_0 от точки **a** к точке **b**, есть сумма всех dA,

то есть определенный интеграл в от r_a до r_b.

$$A=\int_{r_a}^{r_b} k\frac{q q_0}{r^2}\cdot dr=k q q_0\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)\qquad A=k q q_0\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$

Из полученного результата следует, что *работа силы Кулона не зависит от формы и длины траектории движения* заряда q_0, а *зависит только от его начального и конечного положений* в электрическом поле.

Значит сила Кулона – <u>консервативная сила.</u>

По принципу суперпозиции электрических полей и за счет аддитивности работы, можно обобщить этот вывод на электрическое поле любой системы неподвижных зарядов.

Следствие: Работа электрической силы при перемещении заряда по замкнутой траектории равна нулю.

Потенциальная энергия заряда в электрическом поле. Потенциал.

В системе неподвижных электрических зарядов действуют консервативные силы. Следовательно, системе зарядов можно соотнести значение потенциальной энергии взаимодействия.

Представим систему как состоящую из пробного заряда q_0 и электрического поля, создаваемого остальными зарядами системы. Какой из зарядов системы «назначить» пробным, зависит от условия конкретной задачи.

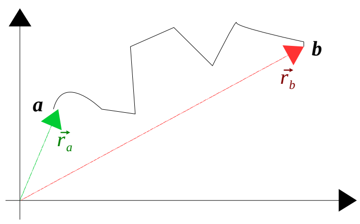
Заменим потенциальную энергию системы на потенциальную энергию пробного заряда, помещенного в данную точку поля, создаваемого остальными зарядами системы. Это соответствует понятию потенциальной энергии, как *функции конфигурации системы*. Из механики известно, что разность значений потенциальной энергии при переходе системы от одной конфигурации к другой равна сумме работ всех консервативных сил, совершенных в результате этого перехода.

При перемещении пробного заряда q_0 в поле точечного заряда q из точки **a** в точку **b**.

$$\varPi_1-\varPi_2=\sum A_{к.с.}\quad\Rightarrow\quad \varPi_a-\varPi_b=A_{F_{кулона}}$$

$$A_{F_{кулона}}=k q q_0\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$

$$\varPi_a-\varPi_b=k q q_0\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$



Из механики известно, что значение потенциальной энергии системы зависит от выбора системы отсчета, то есть такой конфигурации, потенциальная энергия которой условно принимается равной нулю.

В данном случае удобно считать потенциальную энергию заряда q_0 равной нулю, когда он находится бесконечно далеко от заряда q, создающего поле.

Пусть потенциальная энергия заряда q_0 в точке **b** равна нулю, когда $r_b\to\infty$, тогда потенциальная энергия заряда q_0 в точке **a** равна $\varPi_a=\dfrac{k q q_0}{r_a}$.

Поскольку потенциальная энергия прямо пропорциональна величине пробного заряда, то величина $\varphi_a=\dfrac{\varPi_a}{q_0}$ – постоянная для данной точки поля заряда q и называется потенциалом поля в данной точке.

Из принципа суперпозиции следует, что потенциал поля, образованного любой системой зарядов в данной точке — отношение потенциальной энергии пробного заряда q_0, помещенного в данную точку этого поля, к величине этого заряда.

Электрическое поле характеризуется двумя постоянными для данной точки величинами: векторной, силовой характеристикой – *напряженностью* $\vec{E}$ и скалярной, энергетической – *потенциалом* φ.
Величина потенциала так же, как и величина потенциальной энергии, определяется в зависимости от выбора точки, потенциал которой условно принимается за ноль, то есть, точки отсчета потенциала.
Так для поля точечного заряд q удобно считать потенциал равным нулю в точке, бесконечно удаленной от заряда – источника поля.

Тогда потенциал поля в точке **a** равен $\varphi_a = k\frac{q}{r_a}$, если потенциал поля в точке **b**, бесконечно удаленной от заряда q, принять равным нулю.
<u>В соответствии с принципом суперпозиции потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов</u> $q_1 \dots q_n$ <u>равен сумме потенциалов, создаваемых в данной точке поля каждым из этих зарядов в отдельности.</u>

$$\varphi_a = \sum_{i=1}^{n} k\frac{q_i}{r_{a_i}}$$

Потенциальная энергия пробного заряда q_0 в точке **a** равна $П_a = q\varphi_a$, а в точке **b** $П_b = q\varphi_b$.
Тогда работа электрического поля при перемещении в нем заряда q_0 из точки **a** в точку **b** равна $A_{a\to b} = q_0(\varphi_a - \varphi_b)$.
Разность потенциалов - скалярная физическая величина $(\varphi_a - \varphi_b)$, равная отношению работы, совершенной электрическим полем при перемещении пробного заряда из точки **a** в точку **b**, к величине этого заряда.

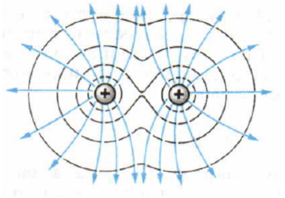
$$(\varphi_a - \varphi_b) = \frac{A_{a\to b}}{q_0}$$

За единицу измерения разности потенциалов (а следовательно, и потенциала) принимается 1 вольт. $1\,В = 1\frac{Дж}{Кл}$.

Название единице потенциала было дано в честь итальянского физика Алессандро Вольта, создателя первого источника тока – гальванического элемента – «вольтова столба».
Разность потенциалов между двумя точками электрического поля, существующего в проводнике с током, называют так же напряжением, обозначают буквой U и измеряют в вольтах

Эквипотенциальные поверхности

Эквипотенциальная поверхность — поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения.
Между любыми двумя точками на такой поверхности разность потенциалов равна нулю, а, следовательно, работа поля при любом перемещении заряда равна нулю. Это значит, что вектор силы в любой точке перемещения заряда по поверхности перпендикулярен вектору перемещения. Поэтому линии напряженности перпендикулярны эквипотенциальной поверхности.
Пример: сферы с точечным зарядом в центре.



На рисунке изображены эквипотенциальные поверхности поля двух одноименных точечных зарядов.