**№15**

**Работа в электрическом поле. Потенциальная энергия. Потенциал электрического поля. Потенциал поля точечного заряда. Эквипотенциальные поверхности. Связь напряженности и потенциала.**

**Работа в электрическом поле:** http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/elmag/spravochnik/text/1/clip_image120.gif **Потенциальная энергия** U(\vec r) — [скалярная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) [физическая величина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0), представляющая собой часть полной [механической энергии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) системы, находящейся в[полне](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B5_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) консервативных сил.

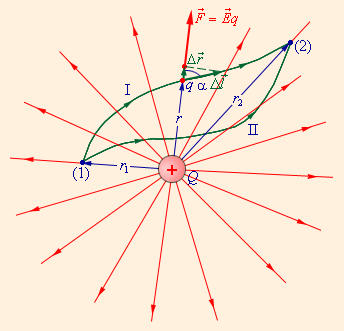
|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | *E*р = *mgh* | |

**Электростатический потенциа́л** — [скалярная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D1%80) [энергетическая](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) характеристика[электростатического поля](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5), характеризующая [потенциальную энергию](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F), которой обладает единичный положительный пробный [заряд](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4), помещённый в данную точку поля http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/elmag/spravochnik/text/1/clip_image114.gif  
Потенциал поля точечного заряда:http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/elmag/spravochnik/text/1/clip_image118.gif  
Эквипотенциальная поверхность — **воображаемая поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал**. http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0.%20%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%A2%D0%BE%D0%BA/03_f/068.gif  
**Связь напряженности и потенциала** : http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0.%20%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%A2%D0%BE%D0%BA/03_f/054.gif

**Работа в электрическом поле.**

Электростатическое поле обладает важным свойством:

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда.

Следствием независимости работы от формы траектории является следующее утверждение:

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю.

На рисунке изображены силовые линии кулоновского поля точечного заряда Q и две различные траектории перемещения пробного заряда q из начальной точки (1) в конечную точку (2). На одной из траекторий выделено малое перемещение ∆. Работа ΔA кулоновских сил на этом перемещении равна:



Таким образом, работа на малом перемещении зависит только от расстояния r между зарядами и его изменения Δr. Если это выражение проинтегрировать на интервале от r = r1 до r = r2, то можно получить:



Полученный результат не зависит от формы траектории. На траекториях I и II, изображенных на рис. 1.4.2, работы кулоновских сил одинаковы. Если на одной из траекторий изменить направление перемещения заряда q на противоположное, то работа изменит знак. Отсюда следует, что на замкнутой траектории работа кулоновских сил равна нулю.

Если электростатическое поле создается совокупностью точечных зарядов  то при перемещении пробного заряда q работа A результирующего поля в соответствии с принципом суперпозиции будет складываться из работ  кулоновских полей точечных зарядов:



Циркуляцией вектора напряженности называется работа, которую совершают электрические силы при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому пути L



Так как работа сил электростатического поля по замкнутому контуру равна нулю (работа сил потенциального поля), следовательно циркуляция напряженности электростатического поля по замкнутому контуру равна нулю.



**Потенциал электрического поля**

Потенциал является энергетической характеристикой поля. Он численно равен работе, которую надо затратить против сил электрического поля при перенесении единичного положительного точечного заряда из бесконечности в данную точку поля. Единица измерения потенциала – вольт.





Когда поле образовано несколькими произвольно расположенными зарядами, потенциал его в данной точке равен алгебраической сумме потенциалов , создаваемых каждым зарядом в отдельности, т.е.



Потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.



Потенциал φ∞ поля точечного заряда Q на расстоянии r от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом:

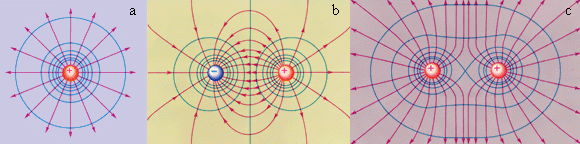


**Эквипотенциальные поверхности**

Поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения, называется **эквипотенциальной поверхностью или поверхностью равного потенциала**.

Силовые линии электростатическое поля всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

Эквипотенциальные поверхности кулоновского поля точечного заряда – концентрические сферы.

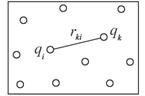


Эквипотенциальные поверхности и силовые линии простых электрических полей: a – точечный заряд; b – электрический диполь; c – два равных положительных заряда.

При перемещении электрических зарядов силы кулоновского взаимодействия совершают определенную работу dА. Работа, совершенная системой, определяется убылью энергии взаимодействия -dW зарядов

dA = -dW

Энергия взаимодействия двух точечных зарядов q1 и q2, находящихся на расстоянии r12, численно равна работе по перемещению заряда q2 в поле неподвижного заряда q1 из точки с потенциалом  в точку с потенциалом 



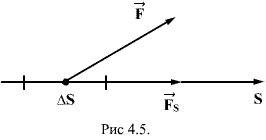


энергия системы n зарядов равна:



Данная формула справедлива лишь в случае, если расстояние между зарядами заметно превосходит размеры самих зарядов.

**Связь напряженности и потенциала.**

Каждой точке потенциального поля соответствует, с одной стороны, некоторое значение вектора силы , действующей на тело, и, с другой стороны, некоторое значение потенциальной энергии . Следовательно, между силой и потенциальной энергией должна существовать определенная связь.

Для установления этой связи вычислим элементарную работу ∆A, совершаемую силами поля при малом перемещении ∆S тела, происходящем вдоль произвольно выбранного направления в пространстве, которое обозначим буквой S. Эта работа равна:



где - проекция силы  на направление .

Поскольку в данном случае работа совершается за счет запаса потенциальной энергии ∆, она равна убыли потенциальной энергии -∆ на отрезке оси ∆S:

∆A = -∆

Из двух последних выражений получаем: 

Откуда: 

Последнее выражение дает среднее значение  на отрезке ∆S. Чтобы получить значение  в точке нужно произвести предельный переход:



Так как  может изменяться не только при перемещении вдоль оси S, но также и при перемещениях вдоль других направлений, предел в этой формуле представляет собой так называемую частную производную от по S:



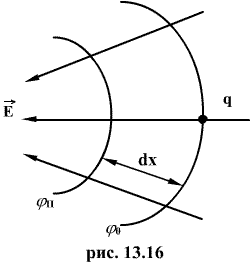
Это соотношение справедливо для любого направления в пространстве, в частности и для направлениq декартовых координатных осей х, у, z:



Эта формула определяет проекции вектора силы на координатные оси. Если известны эти проекции, оказывается определенным и сам вектор силы:



в математике вектор , где а - скалярная функция х, у, z, называется градиентом этого скаляра обозначается символом . Следовательно сила равна градиенту потенциальной энергии, взятого с обратным знаком:



Пусть положительный заряд q перемещается силой электрического поля с эквипотенциальной поверхности, имеющей потенциал , на близко расположенную эквипотенциальную поверхность, имеющую потенциал 

Напряженность поля Е на всем малом пути dx можно считать постоянной. Тогда работа перемещения  С другой стороны  . Из этих уравнений получаем



Знак минус обусловлен тем, что напряженность поля направлена в сторону убывания потенциала, тогда как градиент потенциала направлен в сторону возрастания потенциала