

Работа электрического поля.  
Разность потенциалов  
(напряжение)

# Работа поля при перемещении заряда

На заряд  $q$ , находящийся в электростатическом поле, действует сила

$$\vec{F} = q\vec{E},$$

где  $\vec{E}$  — напряжённость электрического поля в той точке, где находится заряд.

При перемещении заряда эта сила может *совершать работу*, которую часто называют *работой поля*. Она может быть *положительной, отрицательной, а также равной нулю*.

# Работа поля при перемещении заряда

1. На рисунке 53.1 изображены линии напряжённости однородного электростатического поля. Модуль напряжённости поля  $100 \text{ Н/Кл}$ . Точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  расположены в вершинах квадрата со стороной  $10 \text{ см}$ . В этом поле перемещают точечный положительный заряд  $10 \text{ нКл}$ .

Какую работу совершит электрическое поле при перемещении заряда по прямой:

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| а) из $A$ в $B$ ? | б) из $B$ в $C$ ? |
| в) из $C$ в $D$ ? | г) из $D$ в $A$ ? |
| д) из $A$ в $C$ ? | е) из $B$ в $D$ ? |

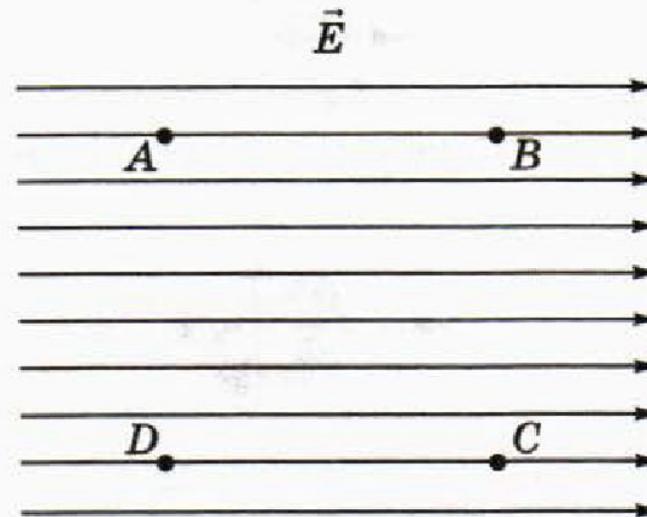
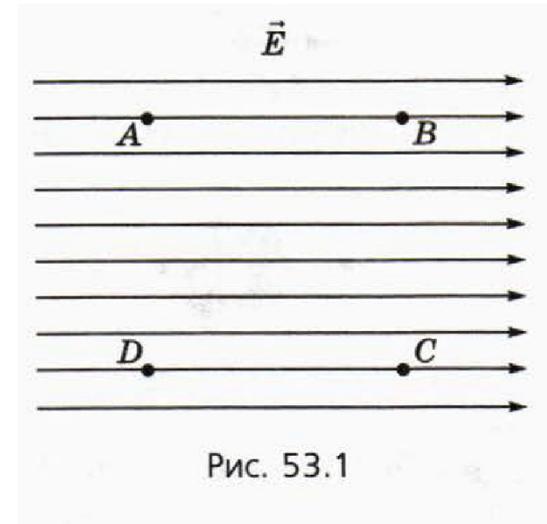


Рис. 53.1

# Работа поля при перемещении заряда



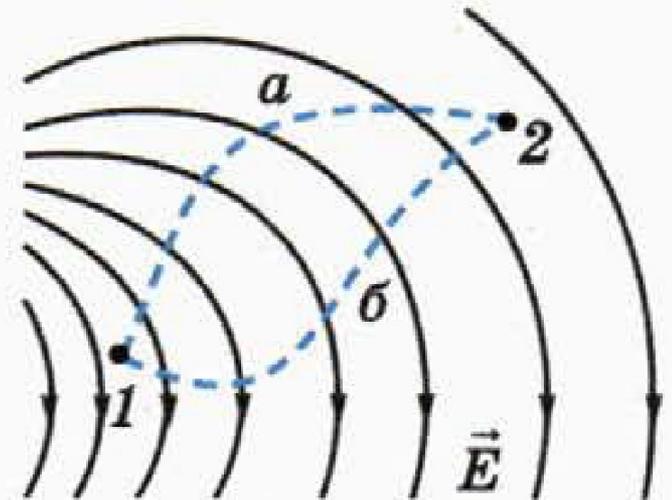
ж) Как изменится работа поля при любом перемещении заряда, если модуль заряда увеличить в 3 раза?

з) Какую работу совершит электрическое поле при перемещении заряда по *замкнутому контуру* вдоль *всех четырёх* сторон квадрата? Имеет ли при этом значение, в какой вершине квадрата заряд находился в начальный момент? Имеет ли значение, в каком направлении перемещался заряд — по часовой стрелке или против?

# Работа поля при перемещении заряда

На примере этого задания вы могли заметить, что *работа электростатического поля при перемещении заряда из одной точки в другую зависит только от положения начальной и конечной точек и не зависит от траектории движения заряда.*

Работа электростатического поля при перемещении заряда по замкнутому контуру равна нулю.



# Разность потенциалов (напряжение)

Вспомним, что работа силы тяготения и силы упругости по перемещению тела также зависит только от начального и конечного положения тела и не зависит от траектории его движения. Это позволило ввести понятие *потенциальной энергии* для системы тел, взаимодействующих посредством сил тяготения и упругости.

Поскольку работа электростатического поля по перемещению заряда тоже зависит только от начального и конечного положения заряда, для заряда в электростатическом поле тоже можно ввести понятие *потенциальной энергии*.

# Разность потенциалов (напряжение)

Обозначим потенциальную энергию заряда  $W_p$ . Как вы уже знаете, изменение потенциальной энергии равно работе, совершаемой телом или системой тел, взятой со знаком минус. Поэтому если заряд переместился из точки  $1$  в точку  $2$ , то

$$W_{p2} - W_{p1} = -A_{12},$$

где  $A_{12}$  — работа, совершённая полем по перемещению заряда из точки  $1$  в точку  $2$ .

Перепишем эту формулу так:

$$W_{p1} - W_{p2} = A_{12}. \quad (1)$$

# Разность потенциалов (напряжение)

Отсюда видно, что при перемещении заряда из точки *1* в точку *2*:

- если поле совершает *положительную* работу, то потенциальная энергия заряда *уменьшается*;
- если поле совершает *отрицательную* работу (например, когда сила направлена противоположно перемещению), то потенциальная энергия заряда *увеличивается*;
- если работа поля *равна нулю* (например, сила перпендикулярна перемещению), то потенциальная энергия заряда *не изменяется*.

# Разность потенциалов (напряжение)

2. На рисунке 53.3 изображены линии напряжённости электростатического поля и отмечено несколько точек. В начальный момент положительный заряд находится в точке А.

При перемещении заряда в какие из отмеченных точек его потенциальная энергия:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) остаётся неизменной?

г) Как изменяется потенциальная энергия *отрицательно*-го заряда при перемещении его из точки А в точку: В; С; D; E; F; G; H; K?

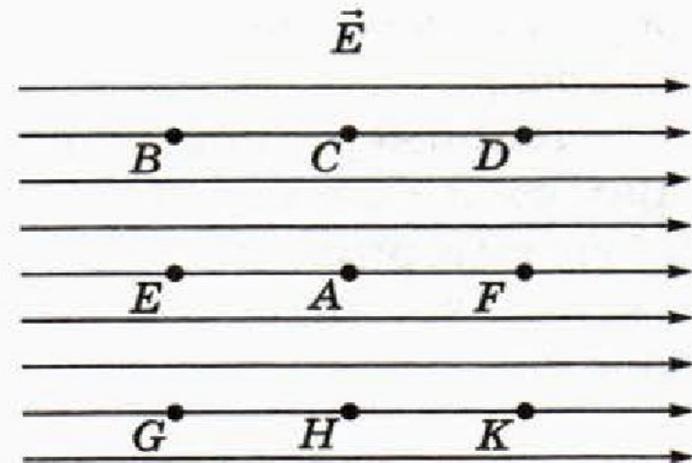


Рис. 53.3

# Разность потенциалов (напряжение)

Работа поля и потенциальная энергия заряда в электростатическом поле *пропорциональны величине заряда* (так как сила, действующая на заряд, пропорциональна величине заряда). Отсюда следует, что *отношение* потенциальной энергии заряда в электростатическом поле к величине заряда не зависит от заряда и поэтому характеризует *само поле*.

Отношение потенциальной энергии заряда в данной точке поля к величине этого заряда называют *потенциалом* электростатического поля  $\varphi$  в этой точке:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \quad (2)$$

# Разность потенциалов (напряжение)

Из формул (1) и (2) следует, что

*разность потенциалов* между точками *1* и *2* равна отношению работы поля  $A_{12}$  по перемещению заряда из точки *1* в точку *2* к величине заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}. \quad (3)$$

Разность потенциалов между точками *1* и *2* численно равна работе электростатического поля по перемещению единичного положительного заряда из точки *1* в точку *2*.

Разность потенциалов называют также *напряжением* и обозначают  $U$ . В дальнейшем мы будем использовать как термин *разность потенциалов*, так и термин *напряжение*.

# Разность потенциалов (напряжение)

**Единица разности потенциалов (напряжения).** Единицей напряжения является *1 вольт* (сокращённо В). Эта единица названа в честь итальянского учёного Алессандро Вольты, который создал первый химический источник постоянного электрического тока.

Если разность потенциалов между двумя точками равна 1 В, то при перемещении положительного заряда в 1 Кл из одной точки в другую электрическое поле совершает работу 1 Дж. Следовательно,

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$$

# Разность потенциалов (напряжение).

## Решение задач

3. Чему равна разность потенциалов между точками 1 и 2, если при перемещении заряда  $10 \text{ нКл}$  из точки 1 в точку 2 электростатическое поле совершило работу  $10^{-6} \text{ Дж}$ ?

4. Отрицательный заряд  $q$  перемещают из точки с более высоким потенциалом в точку с более низким потенциалом.

а) Какую работу совершает при этом поле: положительную или отрицательную?

б) Чему равна работа поля, если  $q = -50 \text{ нКл}$ , потенциал начальной точки равен  $300 \text{ В}$ , а конечной точки — равен  $100 \text{ В}$ ?

# Разность потенциалов (напряжение). Решение задач

5. Слова *напряжение* и *напряжённость* очень похожи. Чтобы осознать различия между физическими величинами, которые обозначаются этими словами, ответьте на следующие вопросы и обоснуйте свои ответы.

а) Какая из этих величин — *векторная*, а какая — *скалярная*?

б) О какой из этих величин можно говорить применительно только к *одной* точке пространства, а о какой — применительно только к *двум* точкам?

в) Какая из этих величин является *силовой* характеристикой электрического поля, а какая — *энергетической*?

6. Вернёмся к заданию 1 (см. рис. 53.1). Чему равна разность потенциалов между точками:

а) *A* и *B*; б) *B* и *C*; в) *C* и *D*; г) *D* и *A*; д) *A* и *C*; е) *B* и *D*?

# Соотношение между напряжением и напряженностью для однородного поля

Пусть положительный заряд  $q$  перемещают в однородном электростатическом поле напряжённостью  $\vec{E}$  в направлении линий напряжённости на расстояние  $d$  (рис. 53.4).

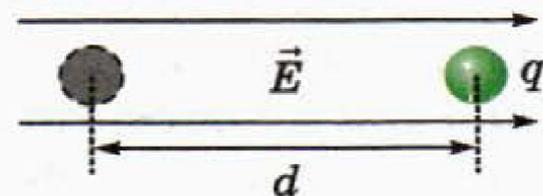


Рис. 53.4

На заряд со стороны поля действует сила  $q\vec{E}$ , направление которой совпадает с направлением перемещения. Поэтому при перемещении на расстояние  $d$  поле совершает работу  $A = qEd$ .

# Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля

Напряжение связано с работой соотношением  $U = \frac{A}{q}$ .

Следовательно,

$$U = Ed. \quad (4)$$

Соотношение между напряжённостью однородного поля и напряжением можно записать также в виде

$$E = \frac{U}{d} \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что единицу напряжённости поля можно определить также как *1 вольт на метр* (сокращённо В/м). 1 В/м — это напряжённость поля, в котором разность потенциалов между точками, расположенными на одной линии напряжённости на расстоянии 1 м друг от друга, равна 1 В.

# Соотношение между напряжением и напряженностью для однородного поля

7. Объясните, почему

$$1 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

8. Вблизи поверхности Земли напряжённость поля, созданного зарядом Земли, составляет 130 В/м.

а) Чему равно напряжение между точкой, находящейся на уровне головы стоящего человека, и точкой, находящейся на уровне его ног? Рост человека примите равным 170 см.

б) Почему это напряжение безопасно для человека?

# Эквипотенциальные

## поверхности

Если работа поля по перемещению заряда из одной точки в другую равна нулю, то равна нулю и разность потенциалов между этими точками. Можно сказать также, что *потенциалы* этих точек *равны*.

9. На рисунках 53.5 и 53.6 изображены линии напряжённости однородного электростатического поля и поля точечного заряда. Объясните, почему потенциалы точек, лежащих на одной и той же пунктирной линии, равны.

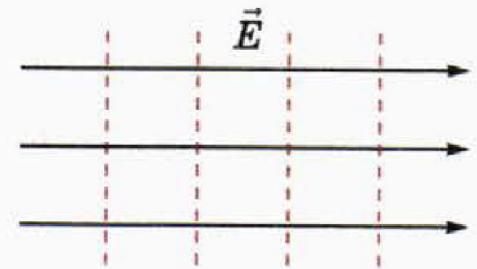


Рис. 53.5

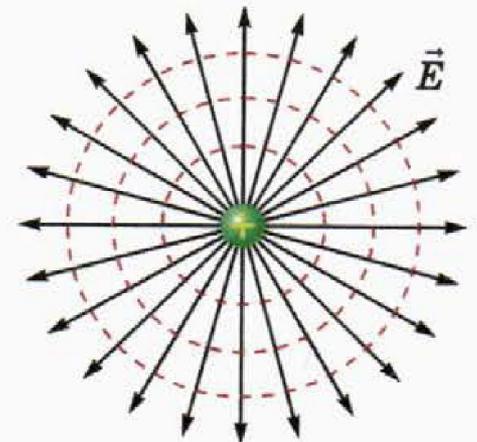


Рис. 53.6

Поверхность, все точки которой имеют равный потенциал, называют *эквипотенциальной*<sup>1</sup> *поверхностью*.

# Энергия заряженного тела в электростатическом поле

Если на тело действуют только потенциальные силы, то согласно закону сохранения энергии *сумма кинетической и потенциальной энергий этого тела остаётся неизменной*. Рассмотрим случай, когда на заряд действует сила со стороны электростатического поля.

**12.** Электрон движется в однородном поле с напряжённостью  $100 \text{ В/м}$ . Как изменились его потенциальная и кинетическая энергия, если он переместился на  $0,5 \text{ м}$ :

- а) в направлении линии напряжённости поля?
- б) противоположно линии напряжённости поля?