

**Очно - заочная школа  
для одаренных детей**

**9-10 класс**

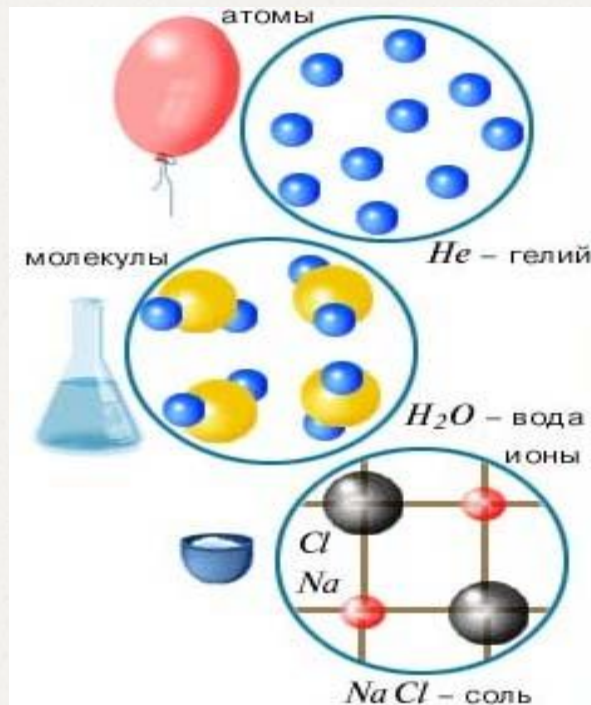
**ФИЗИКА**

**Пужульс Ирина Николаевна,  
учитель физики БОУ г. Омска  
«Лицей № 166», учитель ВКК, Почетный  
работник РФ, заслуженный учитель  
Омской области**

[pv59@rambler.ru](mailto:pv59@rambler.ru)

# Молекулярная физика. Электростатика.

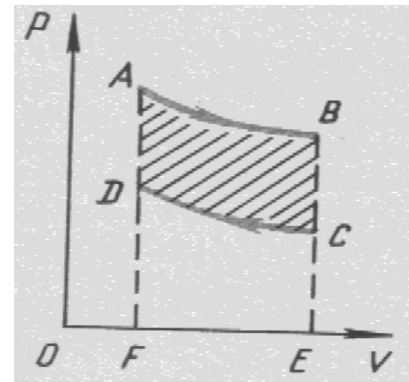
## Занятие 18





# Принцип действия тепловых двигателей

- Тепловой двигатель – устройство преобразующее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.
- Основные части теплового двигателя: нагреватель, рабочее тело и холодильник.
- Чтобы получить полезную работу, необходимо сделать работу сжатия газа меньше работы расширения.
- Для этого нужно, чтобы каждому объёму при сжатии соответствовало меньшее давление, чем при расширении.
- Поэтому газ перед сжатием должен быть охлажден.



Графики процесса расширения и сжатия газа.

**АВ** – расширение газа,  
**СД** – сжатие газа до первоначального объема.

Полезная работа численно равна  $S_{CDAВ}$

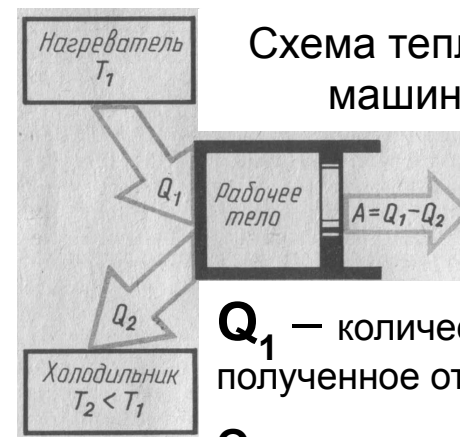
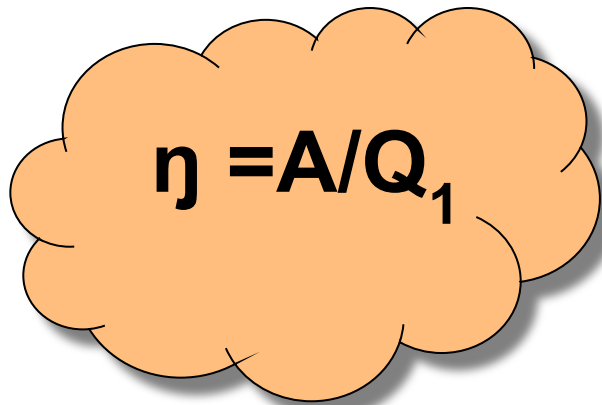


Схема тепловой машины

$Q_1$  – количество теплоты, полученное от нагревателя

$Q_2$  – количество теплоты, отданное холодильнику

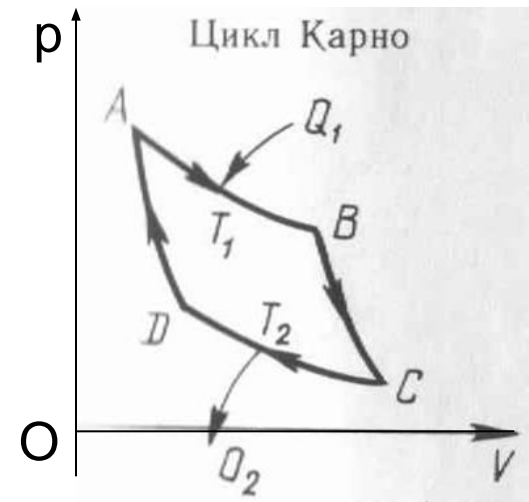
# Коэффициент полезного действия тепловой машины


$$\eta = A/Q_1$$

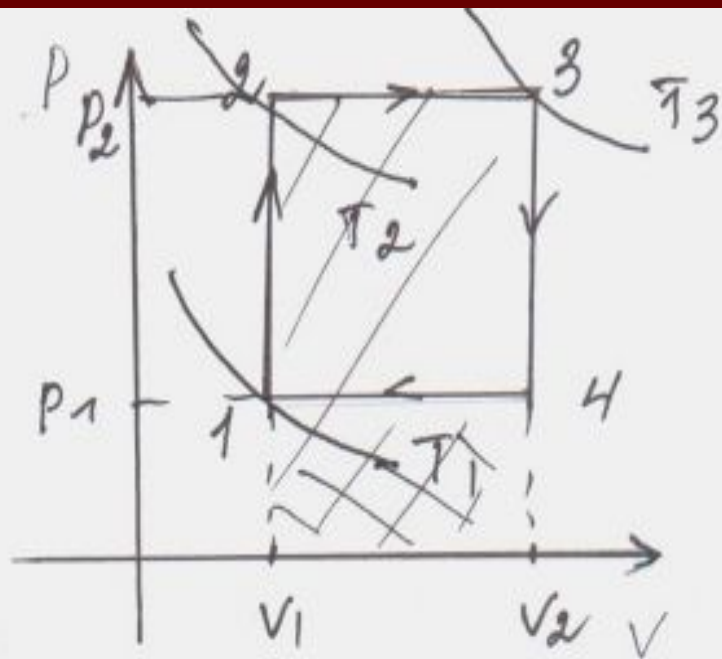
- Замкнутый процесс (цикл) – совокупность термодинамических процессов, в результате которых система возвращается в исходное состояние.
- В циклически действующей тепловой машине совершаемая работа равна:
$$A = |Q_1| - |Q_2|.$$
- КПД тепловой машины – отношение работы, совершаемой двигателем за цикл, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:
$$\eta = A/Q_1.$$
- Коэффициент полезного действия тепловой машины всегда меньше единицы.
- Задача теплоэнергетики состоит в том, чтобы сделать КПД как можно более высоким, т.е. использовать для получения работы как можно большую часть теплоты, заимствованной от

# КПД идеальной тепловой машины

- Впервые наиболее совершенный циклический процесс, состоящий из изотерм и адиабат, был предложен французским физиком и инженером С. Карно в 1824 г.
- Цикл Карно – самый эффективный цикл, имеющий максимальный КПД.
- Для повышения КПД двигателя нужно повышать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника.



$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



$\eta$  цикла - ?

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

$$A' = (p_2 - p_1)(v_2 - v_1)$$

$$A'_{12} = 0$$

$$A'_{23} = p_2 (v_2 - v_1) > 0$$

$$A'_{34} = 0$$

$$A'_{41} = p_1 (v_1 - v_2) < 0$$

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A'_{12} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) + 0$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_3 - T_2) + P_2 (V_2 - V_1)$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_3 - T_1) + P_2 (V_2 - V_1)$$

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \\ P_2 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_3 \end{cases} \quad \text{уп. Менгемелба - Каса - неїроне}$$

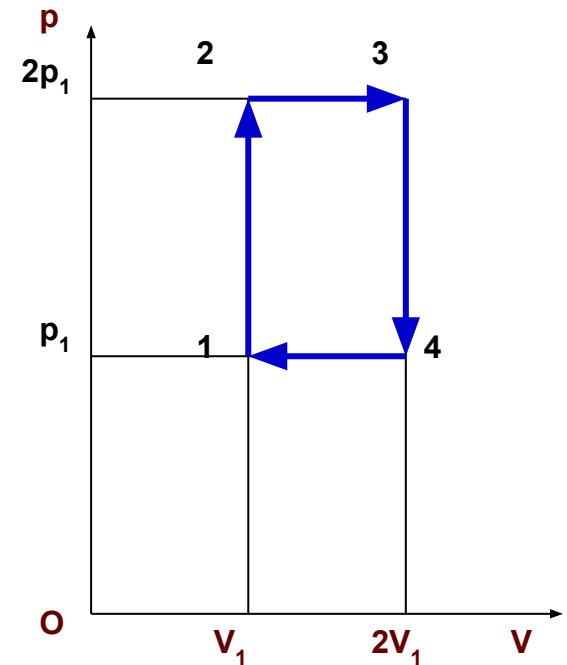
$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R (T_3 - T_1)$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + P_2 (V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{(P_2 - P_1) (V_2 - V_1)}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + P_2 (V_2 - V_1)}$$

## Задача № 6

*Кислород совершает замкнутый цикл, изображённый на диаграмме  $p, V$ . Найдите графически и рассчитайте работу, совершённую газом в каждом изопроцессе и в результате цикла. На каких участках к газу подводится количество теплоты? Чему равно количество теплоты, полученное газом от нагревателя? Определите КПД цикла.*





# Решение к задаче № 6

с 282,  
№1.

A-?

$Q_{12}$ -?

$Q_{23}$ -?

$Q_{34}$ -?

$Q_{41}$ -?

$\eta$ -?

$p_2 = 2p_1$

$V_4 = 2V_1$

$i = 5$

**1-2 изохорный процесс  $A_{12}=0$ ;**

$$Q_{12} > 0; Q_{12} = imR(T_2 - T_1)/2M; Q_{12} = i(p_2 V_1 - p_1 V_1)/2;$$

$$Q_{12} = iV_1(p_2 - p_1)/2 = ip_1 V_1/2;$$

**2-3 изобарный процесс (нагревание)**

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = imR\Delta T_{23}/2M + p_2(V_3 - V_2);$$

$$mR(T_3 - T_2)/M = p_3 V_3 - p_2 V_2;$$

$$Q_{23} = i(p_2 2V_1 - p_2 V_1)/2 + (p_2 2V_1 - p_2 V_1) = ip_2 V_1/2 + p_2 V_1;$$

$$Q_{23} = p_2 V_1(i+2)/2 = p_1 V_1(i+2);$$

**3-4 изохорный процесс (охлаждение)  $A_{34}=0$ ;**

$$Q_{34} = imR(T_4 - T_3)/2M = i(p_1 2V_1 - 2p_1 2V_1)/2 = -ip_1 V_1;$$

**4-1 изобарный процесс (охлаждение)**

$$Q_{41} = imR(T_1 - T_4)/2M = i(p_1 V_1 - p_4 V_4)/2 = i(p_1 V_1 - p_1 2V_1)/2;$$

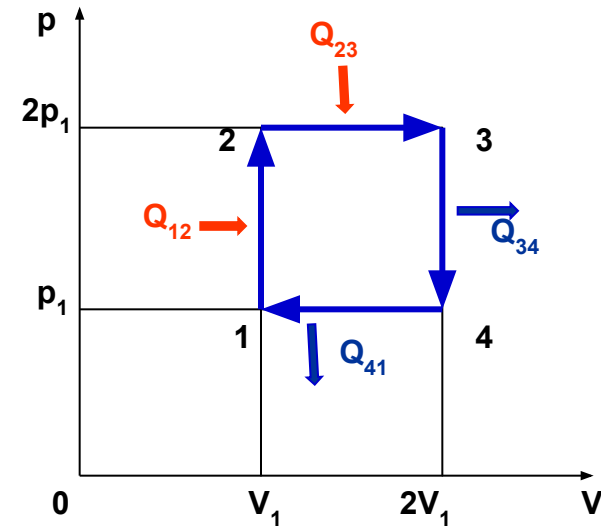
$$Q_{41} = -ip_1 V_1/2; A_{\text{полезная}} = \Delta p \Delta V; A_{\text{полезная}} = p_1 V_1;$$

$$Q_{\text{полученное}} = Q_{12} + Q_{23}; Q_{\text{полученное}} = ip_1 V_1/2 + p_1 V_1(i+2);$$

$$Q_{\text{полученное}} = p_1 V_1(i+2+i/2) = p_1 V_1(3i+4)/2;$$

$$\eta = A_{\text{полезная}}/Q_{\text{полученное}}$$

$$\eta = p_1 V_1 / [p_1 V_1(3i+4)/2] = 2/(3i+4); \eta = 2/(15+4) = 2/19;$$



**Ответ: 2/19.**

## Домашнее задание

---

- №1. Количество теплоты, получаемое двигателем от нагревателя, 100 Дж, а отдаваемое холодильнику 75 Дж. Найдите КПД двигателя и совершаемую работу.
- № 2. Чему равно максимальное теоретическое значение КПД паровой машины, работающей в интервале температур 100-400°С?
- № 3. Паровая машина работает в интервале температур  $t_1=120^\circ\text{C}$ ,  $t_2=320^\circ\text{C}$ , получая от нагревателя количество теплоты  $Q_1=200$  кДж за каждый цикл. Найдите: 1) КПД машины; 2) работу, совершаемую за цикл; 3) количество теплоты, отдаваемое за цикл.
- № 4. Двигатель автомобиля расходует за час работы 5 кг бензина. При этом температура газа в цилиндре двигателя  $T_1=1200\text{K}$ , а отработанного газа  $T_2=370\text{K}$ . Удельная теплота сгорания бензина  $q=46\text{МДж/кг}$ . Определите мощность, развиваемую двигателем.

## Решения (№ 1, 2, 3, 4)

№ 1.

A-?  $\eta$ -?

$$Q_1 = 100 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = 75 \text{ Дж}$$

$$A = Q_1 - Q_2;$$

$$\eta = A/Q_1;$$

$$A = 25 \text{ Дж};$$

$$\eta = 25\%.$$

**Ответ: 25 Дж; 25%.**

№ 2.

$\eta_{\max}$ -?

$$T_2 = 373 \text{ K}$$

$$T_1 = 673 \text{ K}$$

$$\eta_{\max} = 1 - T_2/T_1;$$

$$\eta_{\max} = 1 - 373/673 = 1 - 0,5542 = 0,4458 \approx 0,45; \eta_{\max} = 45\%.$$

**Ответ: 45%.**

№ 3

$\eta$ -? A-?  $Q_2$ -?  
?

$$T_1 = 393 \text{ K}$$

$$T_2 = 593 \text{ K}$$

$$Q_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

$$\eta = 1 - T_2/T_1;$$

$$\eta = A/Q_1; A = \eta Q_1;$$

$$A = Q_1 - Q_2; Q_2 = Q_1 - A;$$

$$\eta = 200/593 = 0,337 = 33,7\%;$$

$$A = 68 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

$$Q_2 = 132 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

**Ответ: 33,7%; 68 кДж; 132 кДж.**

№ 4

N-?

$$t = 3600 \text{ с}$$

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$T_1 = 1200 \text{ K}$$

$$T_2 = 370 \text{ K}$$

$$q = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$Q_1 = qm; \eta = 1 -$$

$$T_2/T_1;$$

$$Q_2 = Q_1(1 - \eta);$$

$$A = Q_1 - Q_2 = \eta Q_1;$$

$$N = A/t; N = \eta Q_1/t;$$

$$Q_1 = 2,3 \cdot 10^8 \text{ Дж};$$

$$\eta = 0,69;$$

$$N = 44 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

**Ответ: 44 кВт.**

**Электрический заряд** – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.

Обозначение -  $q$  или  $Q$

Единица измерения — 1 Кл (**Кулон**) = 1 А·1 с

- Существует два рода электрических зарядов, условно названных **положительными и отрицательными.**
- Одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются.

- Элементарный электрический заряд

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$$

*заряд электрона -e, заряд протона +e*

- Электрический заряд **дискретен**  
(квантован)

где n- целое число.



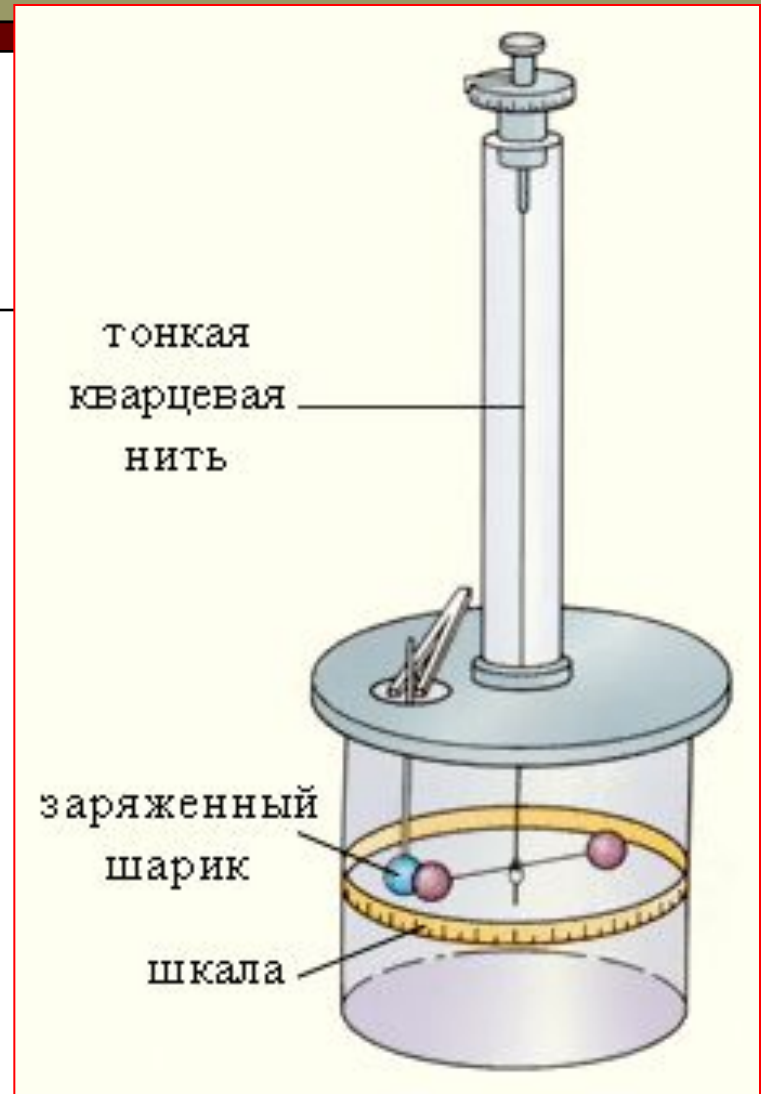
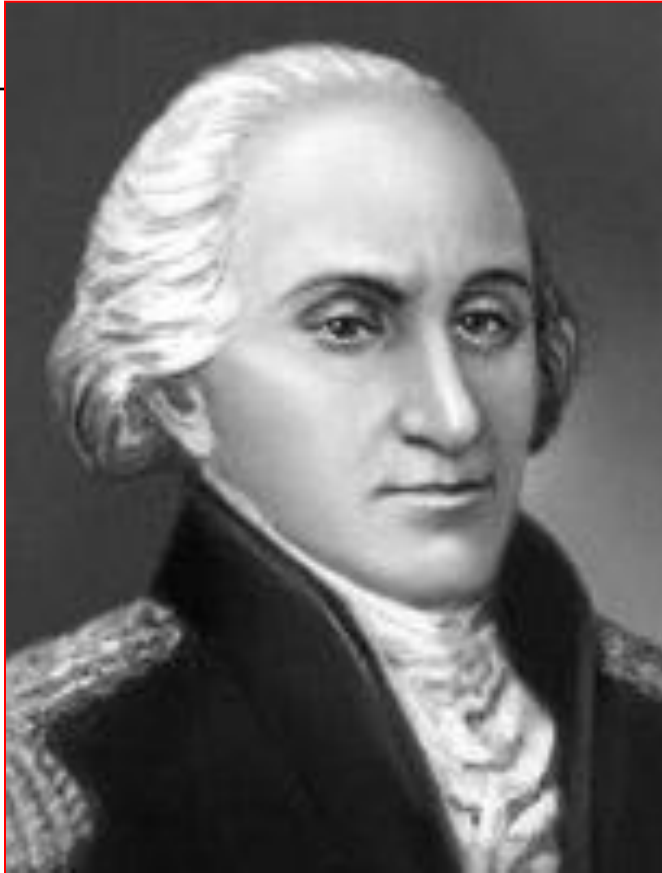
# Закон сохранения заряда

*В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной*

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$$

**Следовательно** - в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы рождения или исчезновения зарядов только одного знака.

# Закон Кулона



$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

# Закон Кулона



$$F_{12} = F_{21} = F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2}$$

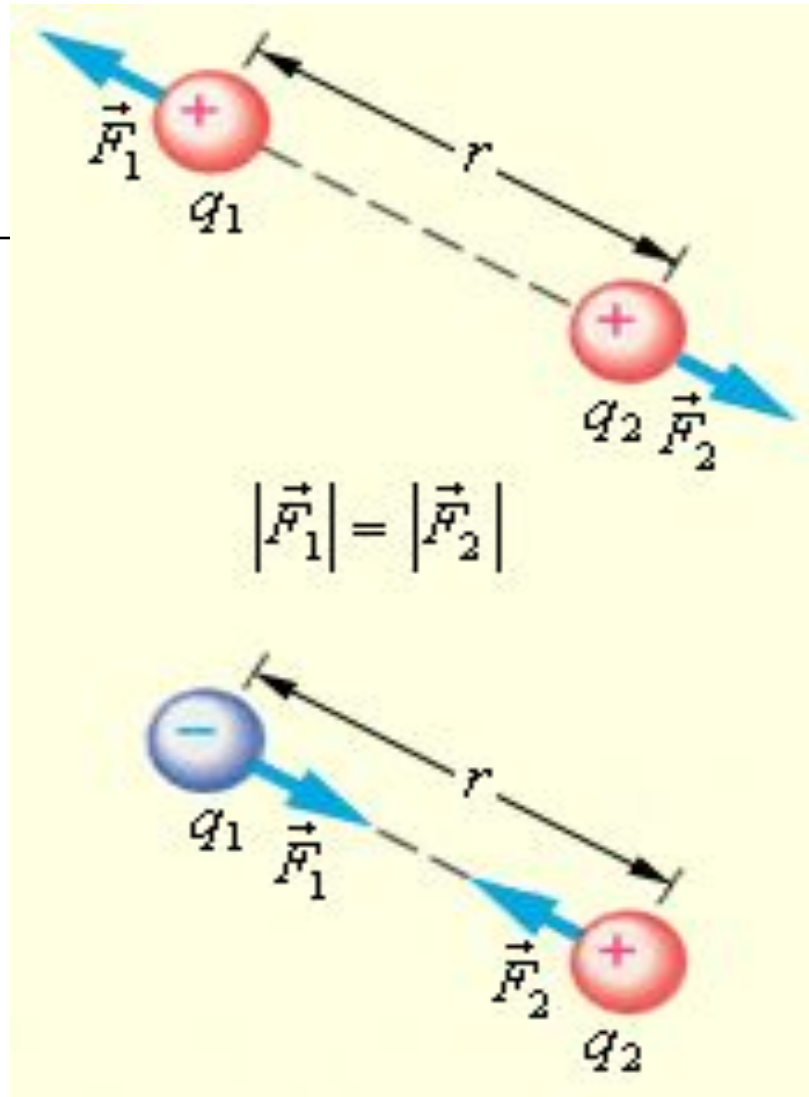
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$r$  – расстояние между зарядами

$|q_1| \cdot |q_2|$  – произведение модулей зарядов

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды (диэлектрика)



$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{H} \cdot \text{m}^2}{\text{Kл}^2}$$

---

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad k = 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot M^2}{K \mu^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{M}$$



Определить расстояние между двумя одинаковыми точечными зарядами по 3 мкКл каждый, находящимися в вакууме, если модуль силы взаимодействия между ними равен 100 мН.

*Дано:*

$$F = 100 \text{ мН}$$

$$q_1 = q_2 = q = 3 \text{ мкКл}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$r = ?$$

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2} = k \frac{q^2}{\varepsilon r^2} = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$\Rightarrow r = q \sqrt{\frac{k}{\varepsilon F}}$$

$$r = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9}{100 \cdot 10^{-3}}} = 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{9 \cdot 10^{10}} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^5 = 0,9 \text{ м}$$

*Ответ:*  $r = 0,9 \text{ м}$

Во сколько раз уменьшится сила кулоновского отталкивания двух маленьких бусинок с равными зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести две трети заряда с первой бусинки на вторую бусинку?

*Дано:*

$$q_1 = q_2 = q$$

$$q'_1 = \frac{1}{3}q$$


$$q'_2 = \frac{5}{3}q$$

$$F_1 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$F_2 = k \frac{q'_1 \cdot q'_2}{r^2} = k \frac{q \cdot 5q}{3 \cdot 3 \cdot r^2} = \frac{5}{9} k \frac{q \cdot q}{r^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = ?$$

*Ответ:*  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{9}{5} = 1,8$



---

Два одинаковых шарика, имеющих заряды  $+15 \cdot 10^{-8}$  Кл и  $-5 \cdot 10^{-8}$  Кл, привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние 10 см.

Определите силу взаимодействия между шариками.

Два одинаковых шарика, имеющих заряды  $+15 \cdot 10^{-8}$  Кл и  $-5 \cdot 10^{-8}$  Кл, привели в соприкосновение, а затем раздвинули на расстояние 10 см. Определите силу взаимодействия между шариками.

Дано:

$$q_1 = +15 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r = 10 \text{ см}$$

$$F = ?$$

По закону сохранения электрического заряда

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = 2q'$$

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$F = k \frac{q' \cdot q'}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 (5 \cdot 10^{-8})^2}{0,01} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

**Ответ:  $F = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$**

На концах отрезка длиной 4 см расположены точечные заряды  $+6$  и  $+3$  мкКл. Найти модуль силы, действующей на заряд  $2$  мкКл, помещенный в середине отрезка.



На концах отрезка длиной 4 см расположены точечные заряды +6 и +3 мкКл. Найти модуль силы, действующей на заряд 2 мкКл, помещенный в середине отрезка.

Дано:

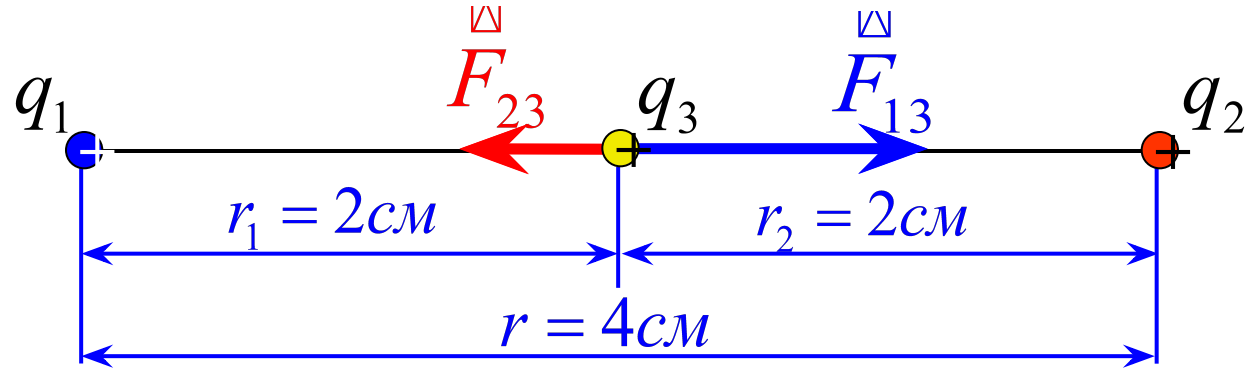
$$r = 4 \text{ см}$$

$$q_1 = 6 \text{ мкКл}$$

$$q_2 = 3 \text{ мкКл}$$

$$q_3 = 2 \text{ мкКл}$$

$$F = ?$$



$$F = F_{13} + F_{23}$$

$$F = F_{13} - F_{23}$$

$$F_{13} = k \frac{q_1 \cdot q_3}{r_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} = 270 \text{ Н}$$

$$F_{23} = \frac{1}{2} F_{13} = 135 \text{ Н}$$

$$F = 270 - 135 = 135 \text{ Н}$$

- **Напряженность** - силовая характеристика электрического поля
- **Напряженность электрического поля** в данной точке численно равна силе, с которой поле действует на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку

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

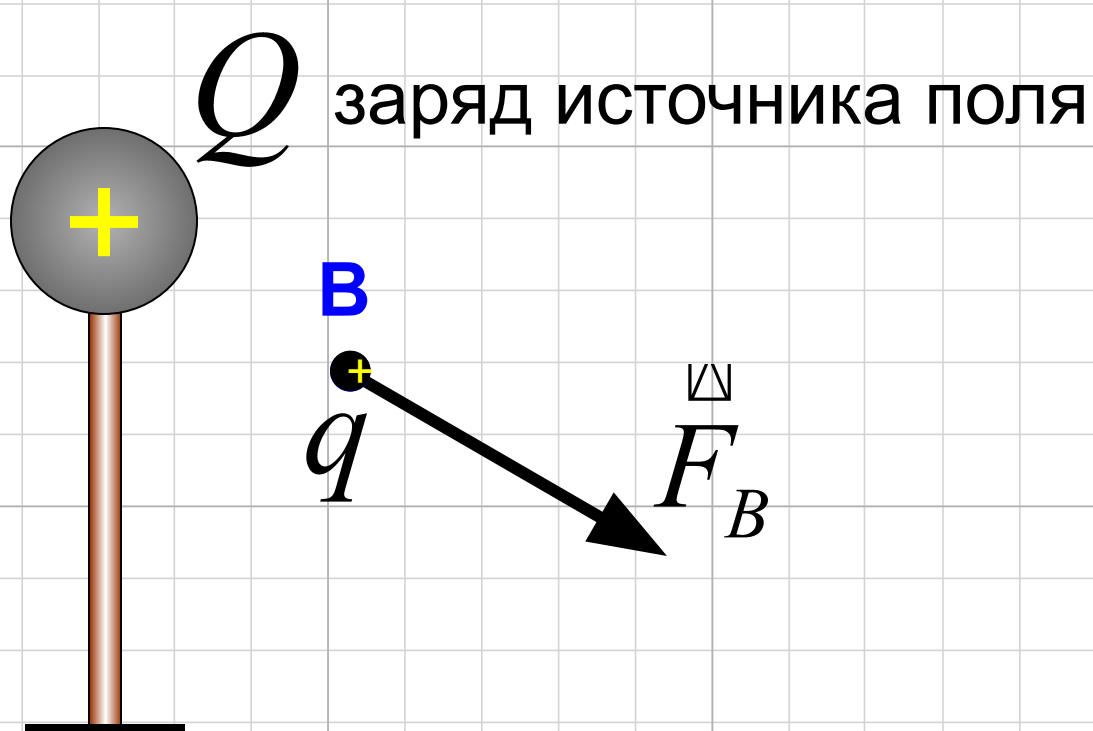
$$\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}; \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

- **Единица измерения:**

- **Напряженность поля точечного заряда:**

$$E = \frac{k \cdot |q|}{r^2}$$

# Напряженность электрического поля



Будем изменять  $q$  в какое либо число раз. Опыт покажет:

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \dots = \frac{F_n}{q_n} = \text{const} = E$$

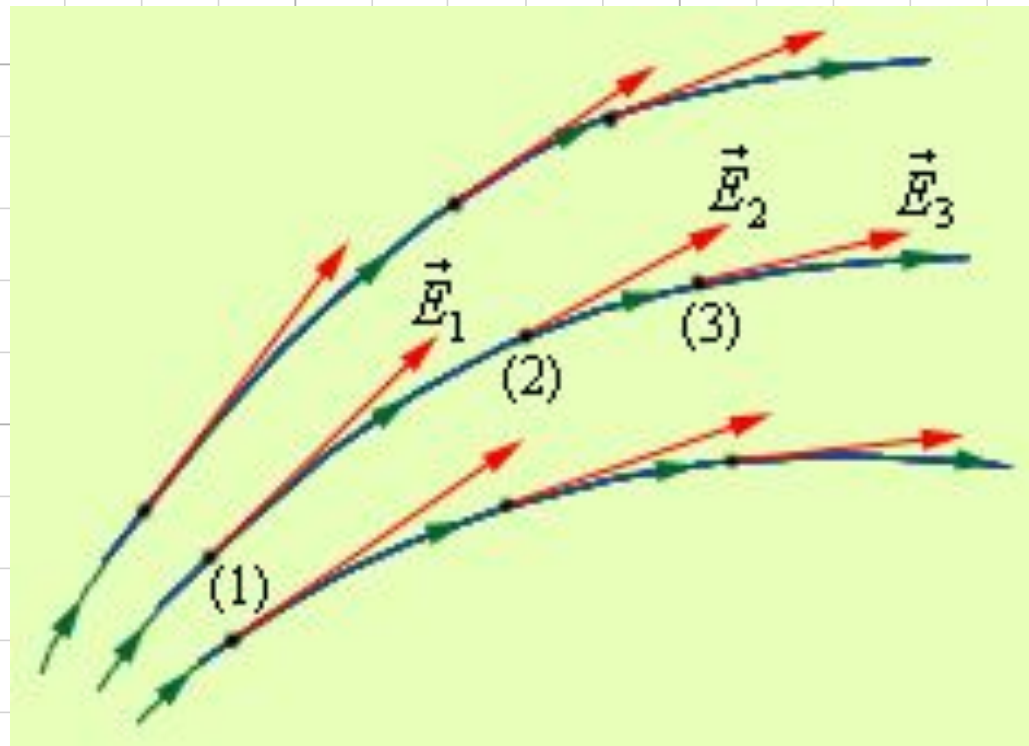
# Напряженность

электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_1}{q}$$

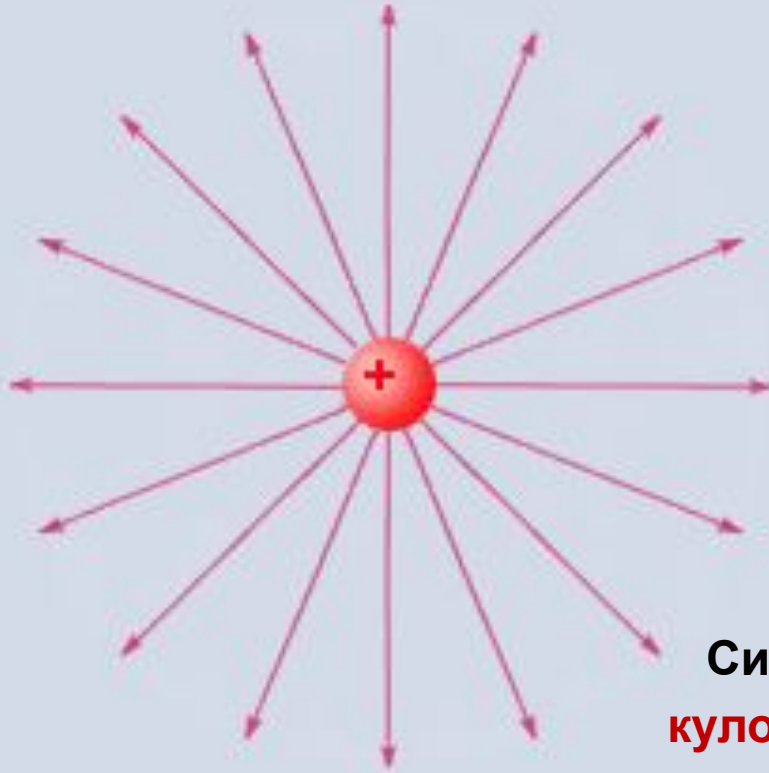
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

- **Напряженность** электрического поля – **векторная** физическая величина.
- **Направление** вектора **совпадает** в каждой точке пространства с **направлением силы**, действующей на **положительный пробный заряд**.



# Силовые линии электрических полей

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

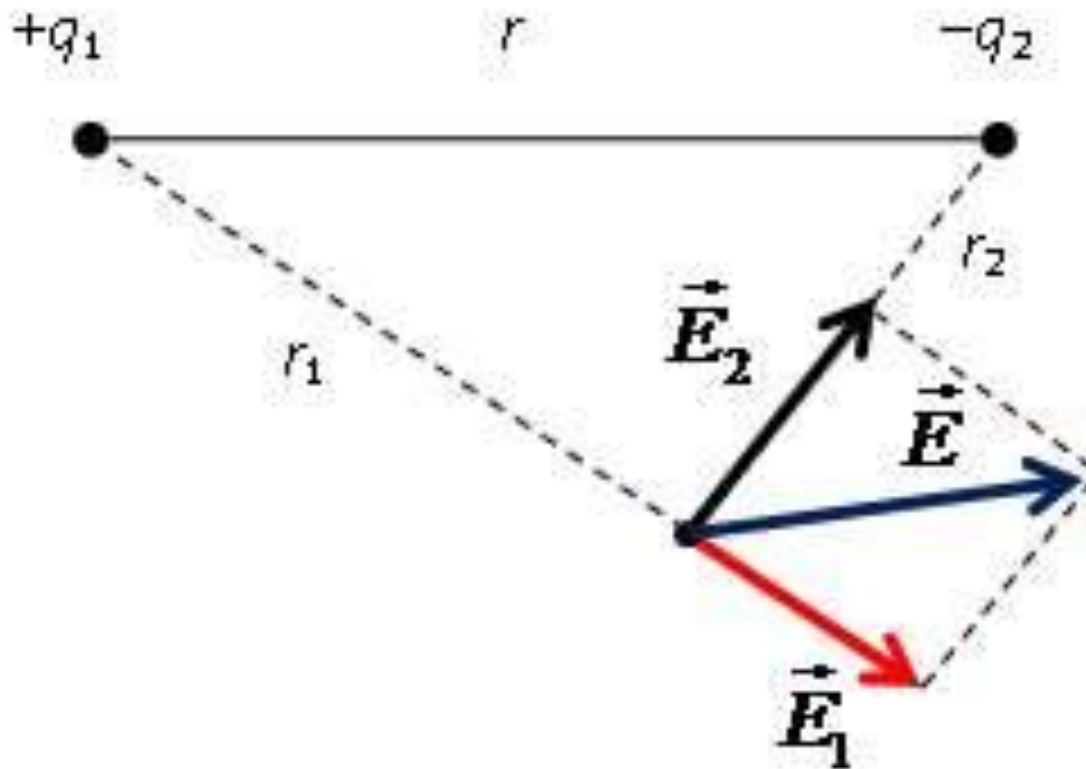


Силовые линии  
кулоновских полей

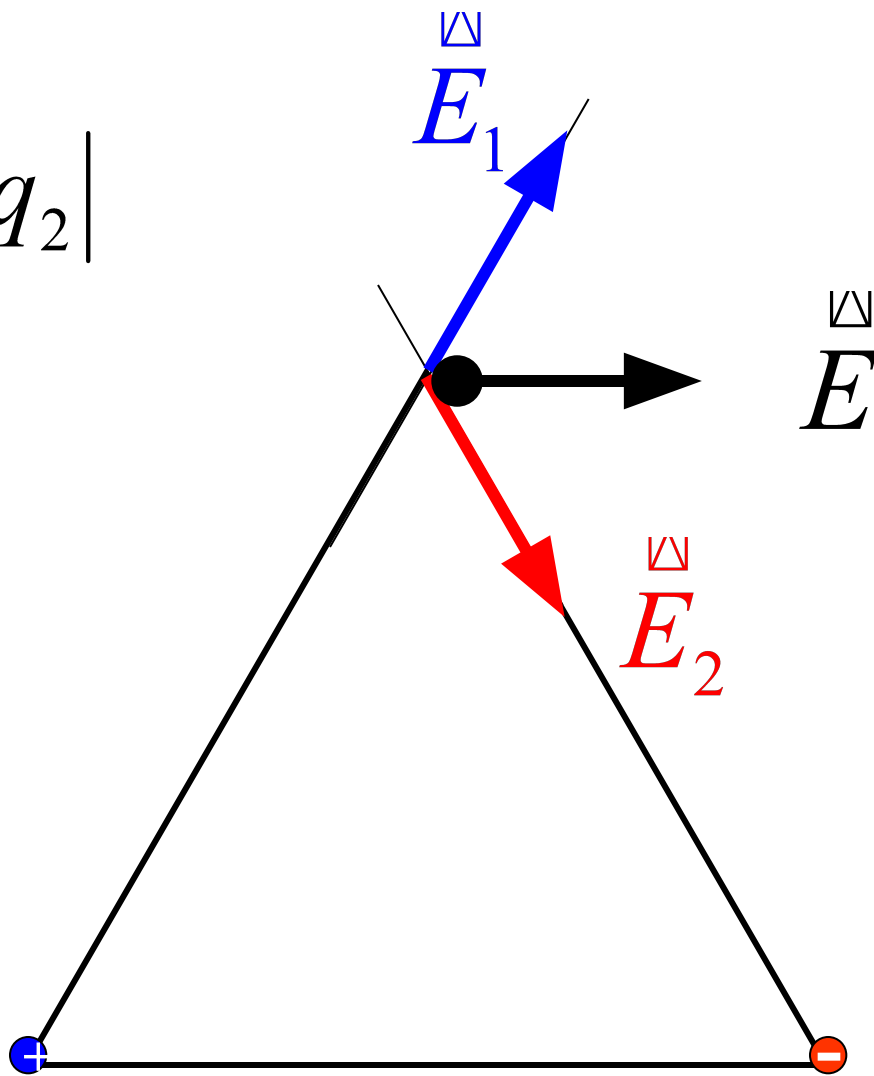




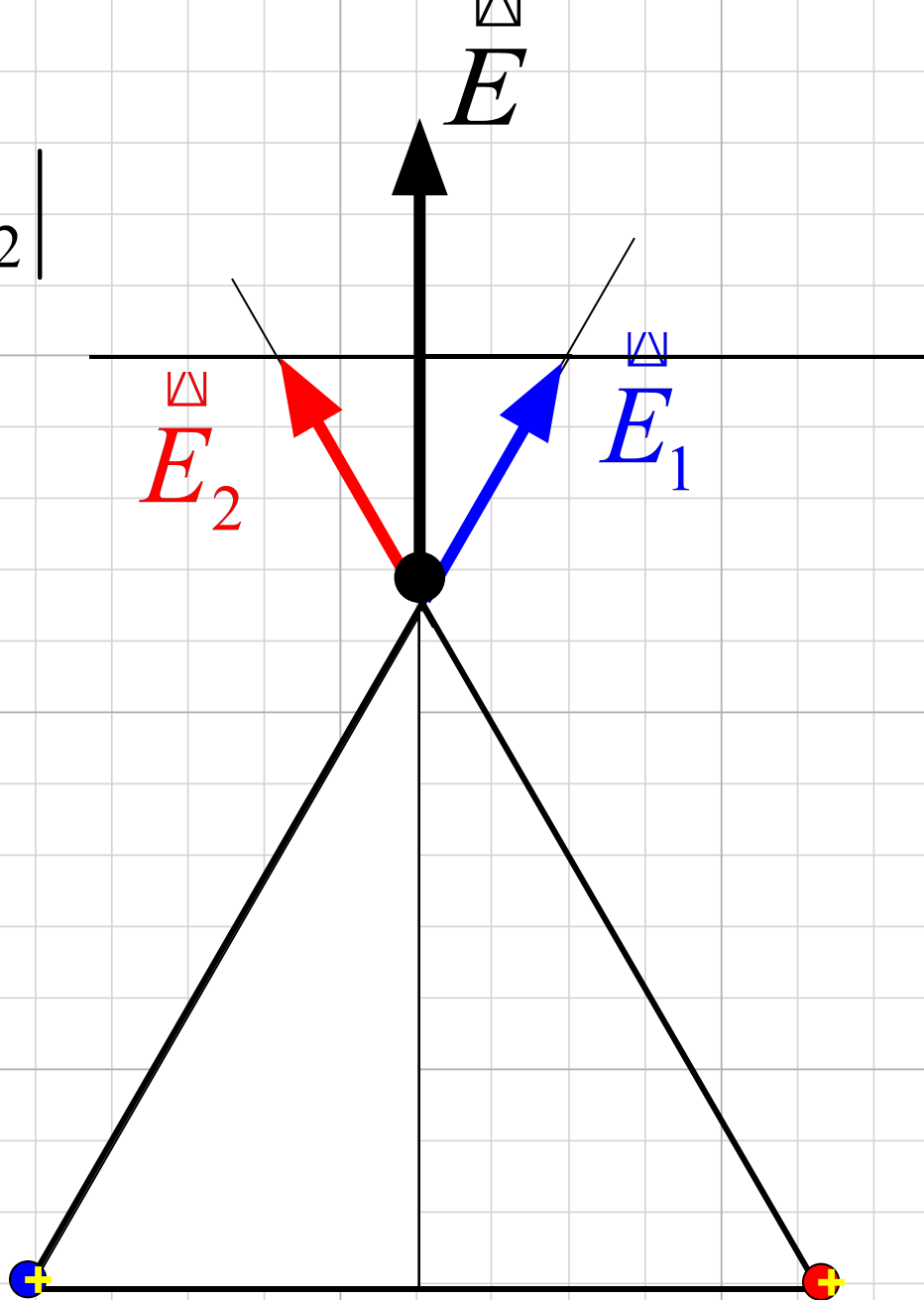
# Принцип суперпозиции



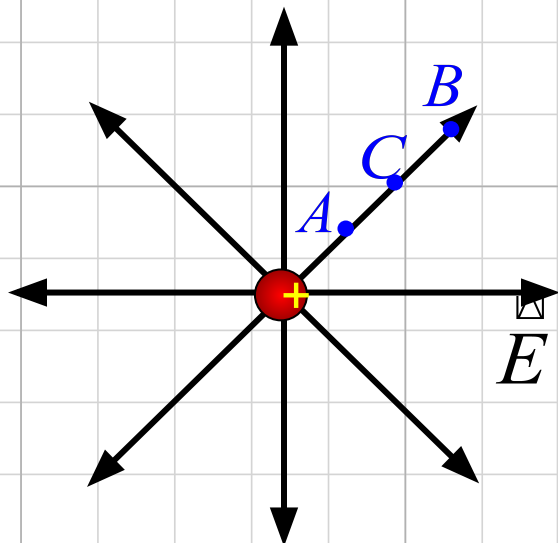
$$|q_1| = |q_2|$$



$$|q_1| = |q_2|$$



В точке А напряженность поля равна  $63 \text{ Н/Кл}$ , а в точке В –  $7 \text{ Н/Кл}$ . Найдите напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В.



В точке А напряженность поля равна 63 Н/Кл, а в точке В – 7 Н/Кл. Найдите напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В.

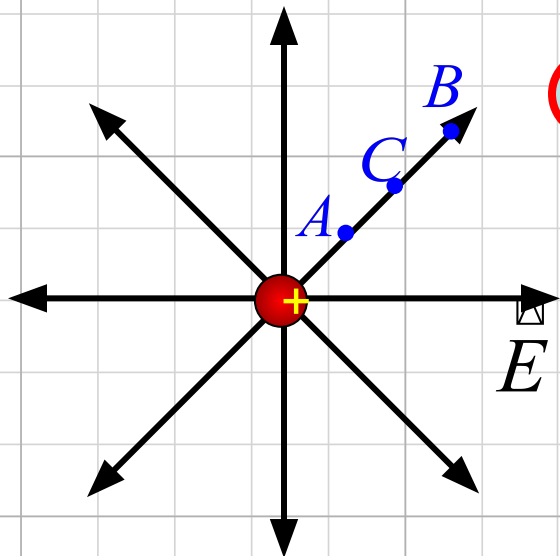
Дано:

$$E_A = 63 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$E_B = 7 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$AC = CB$$

$$E_C = ?$$



1

$$E_A = \frac{kq}{r_A^2} \quad \left[ \begin{array}{l} \frac{E_A}{E_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2} = \frac{63}{7} = 9 \\ \frac{r_B}{r_A} = 3 \Rightarrow r_B = 3r_A \end{array} \right.$$

2

$$r_C = \frac{r_A + r_B}{2} = \frac{r_A + 3r_A}{2} = 2r_A$$

3

$$E_C = \frac{kq}{r_C^2} \quad \left[ \frac{E_C}{E_A} = \frac{r_A^2}{r_C^2} = \frac{1}{4} \right.$$

$$E_A = \frac{kq}{r_A^2}$$

$$E_C = \frac{E_A}{4} = \frac{63}{4} = 15,75 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

# Домашняя работа

1. Во сколько раз электрическое притяжение протона и электрона в атоме водорода больше гравитационного?
2. Два **одинаковых** металлических шарика, заряд одного из которых первоначально равен  $-5$  мкКл, соприкасаются и затем снова разводятся. Заряд одного из шариков после разведения равен  $3$  мкКл. Определить в микрокулонах заряд второго шарика до соприкосновения.