

Практическое занятие 7

Электрическое поле, его характеристики. Поле диполя.

Диполь в однородном и неоднородном
электрическом поле.

Постоянный ток, его характеристики и законы.

Электропроводность металлов, электролитов, газов

Любое протяженное заряженное тело – совокупность
точечных зарядов является источником

электрического поля:



Одна из форм существования
материи

Удобная физическая
модель

Электростатическое поле

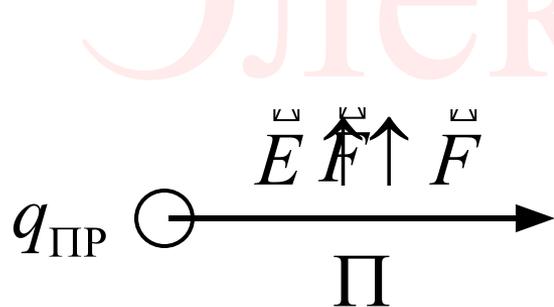
Можно
наблюдать
с помощью
органов чувств

Упрощение
описания
электрических
взаимодействий

«Инструмент исследования» электрического поля – пробный (+) точечный электрический заряд, помещаемый в различные точки пространства (поля)

1. На пробный (+) заряд со стороны поля

действует сила \vec{F} : Напряженность поля в *данной* точке



$$E = \frac{\vec{F}}{q_{\text{ПР}}} = \text{const}$$

2. Пробный (+) заряд в *данной* точке обладает потенциальной энергией Π :

Потенциал поля в *данной* точке (нестрого): $\varphi = \frac{\Pi}{q_{\text{ПР}}} = \text{const}$

Напряженность поля точечного заряда (закон Кулона):

направление вектора напряженности – по направлению силы, действующей на (+) пробный заряд,

помещенный в данную точку поля: $\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{F}_+$

модуль:
$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Принцип суперпозиции (наложения):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{E}_i$$

$$\vec{E} = \int d\vec{E}_i$$

$$[E] = \frac{H}{Kл} = \frac{B}{M}$$

Потенциал данной точки поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Принцип суперпозиции (наложения):

$$\varphi = \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i}$$

$$\varphi = \int d\varphi = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В} \quad (\text{Вольт})$$

Электрическое поле создано двумя точечными зарядами:

$q_1 = 30$ нКл и $q_2 = -50$ нКл. Расстояние d между зарядами равно 5 см. Определить напряженность и потенциал электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 3$ см от первого и на расстоянии $r_2 = 4$ см от второго зарядов.

СИ:

$$q_1 = 30 \cdot 10^{-9}$$

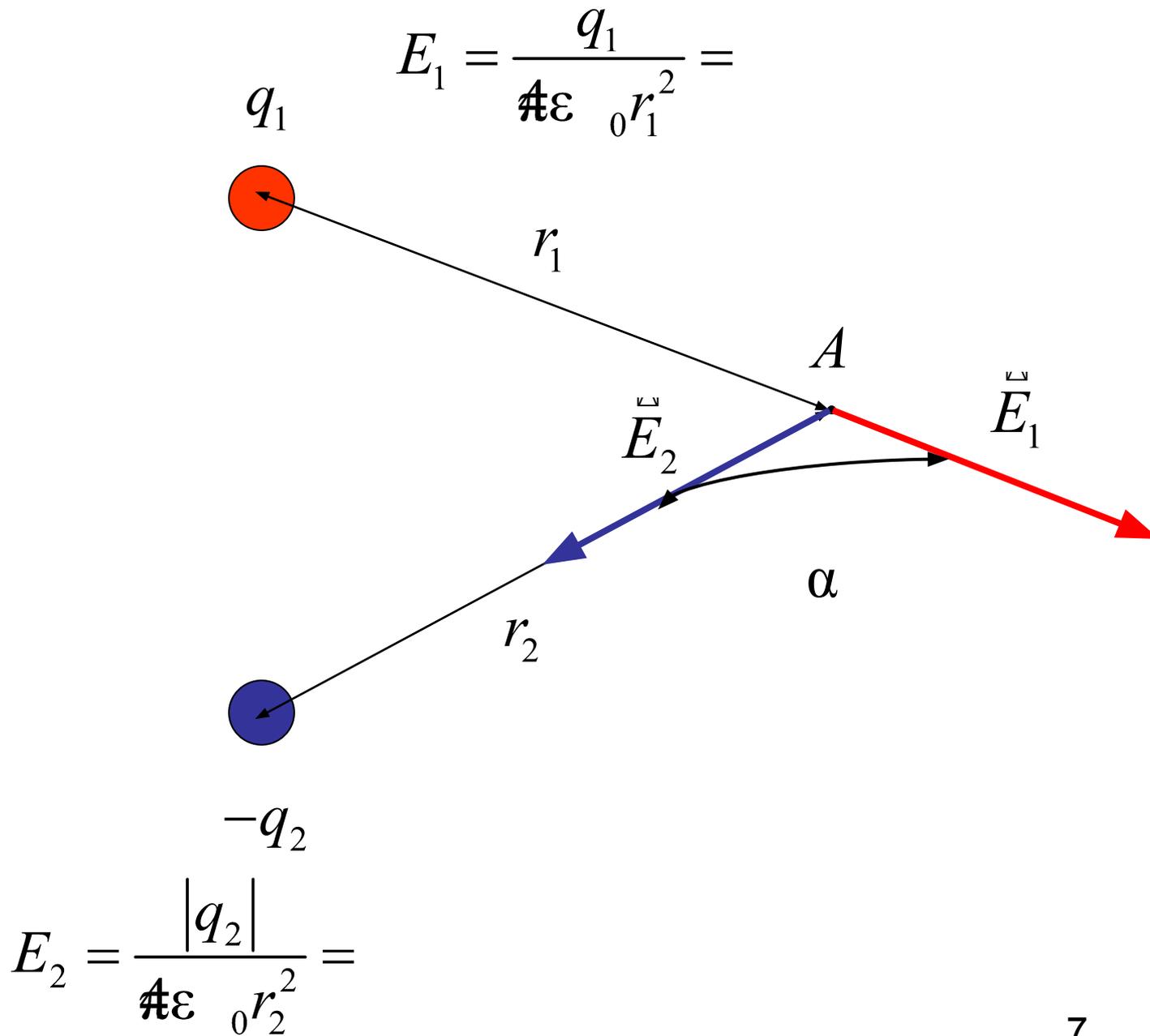
$$q_2 = -50 \cdot 10^{-9}$$

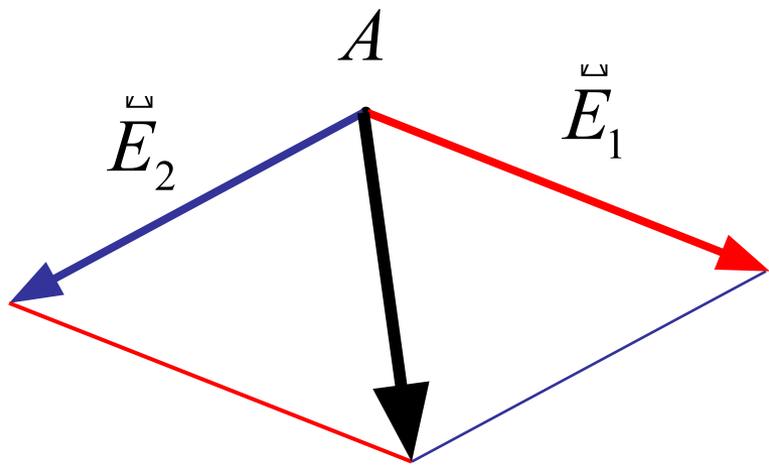
$$d = 5 \cdot 10^{-2}$$

$$r_1 = 3 \cdot 10^{-2}$$

$$r_2 = 4 \cdot 10^{-2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{К}^2 \text{М}^2}{\text{Н}} \left(\frac{\Phi}{\text{м}} \right)$$





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

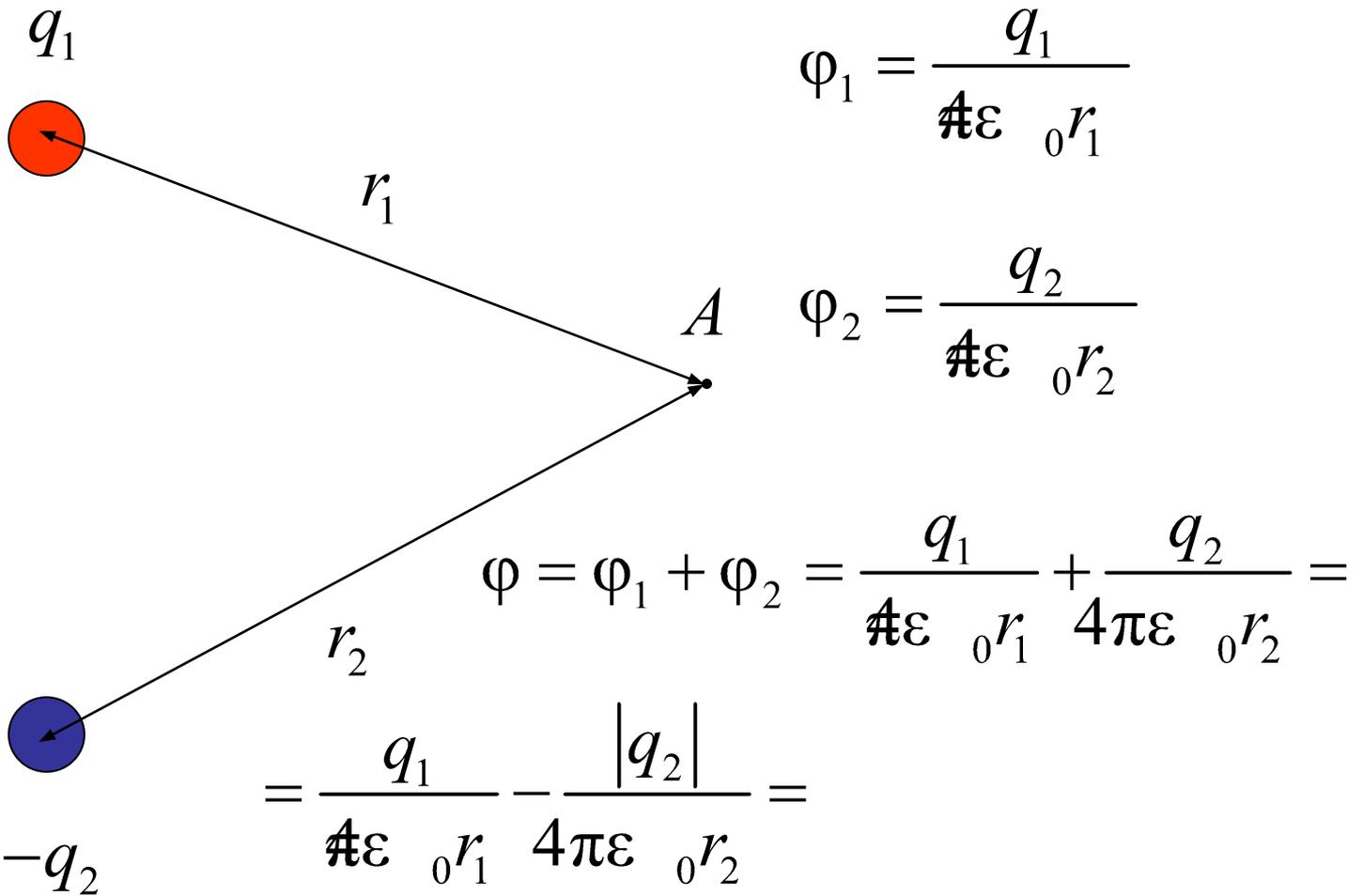
$$E^2 = (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2$$

$$\vec{E} \cdot \vec{E} = \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_1 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 + \vec{E}_2 \cdot \vec{E}_2$$

$$E \cdot E \cdot \cos 0 = E_1 \cdot E_1 \cos 0 + 2E_1 \cdot E_2 \cdot \cos 120^\circ + E_2 \cdot E_2 \cdot \cos 0$$

$$E^2 = E_1^2 + 2E_1 \cdot E_2 \cdot \cos 120^\circ + E_2^2$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + 2E_1 \cdot E_2 \cdot \cos 120^\circ + E_2^2} =$$



№	q_1 , НКЛ	q_2 , НКЛ	l , мм	r_1 , мм	r_2 , мм	ε
1	1,0	-2,4	5,0	4,0	3,0	81
2	2,0	-2,6	10	8,0	6,0	5,0
3	3,0	-2,8	5,0	3,0	4,0	6,0
4	4,0	-3,1	10	6,0	8,0	9,0
5	1,5	-3,3	1	0,6	0,8	10
6	1,8	-3,5	0,5	0,4	0,3	12
7	1,2	-3,7	5,0	3,0	4,0	7,0
8	2,2	-1,0	10	10	10	6,0
9	2,4	-2,0	5,0	5,0	5,0	2,0
10	2,6	-3,0	10	6,0	8,0	3,0
11	2,8	-4,0	0,1	0,1	0,1	4,0
12	3,1	-1,5	0,5	0,5	0,5	5,0
13	3,3	-1,8	10	6,0	8,0	6,0
14	3,5	-1,2	5	3	4	7,0
15	3,7	-2,2	0,1	0,1	0,1	1,3

Оценить электрический заряд Земли (он отрицателен), если напряженность электрического поля у поверхности Земли $E = 130 \text{ В/м}$. Радиус Земли 6400 км .

Возможно ли путем измерения напряженности (потенциала) электрического поля в различных точках пространства определить распределение электрического заряда, создающего поле, в пространстве?

СИ:

$$R = 6400 \cdot 10^3$$

$$E = \frac{|q|}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

$$|q| = E 4\pi \epsilon_0 R^2 =$$

Электрон перемещается между точками с разностью потенциалов 1В. Найти работу сил поля и приращение кинетической энергии электрона.

СИ:

$$K_{\#} = 1,6 \cdot 10^{-19} \quad ;$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \\ (\varphi_1 - \varphi_2) = 1B$$

Электростатические силы –

консервативные:

$$A_e = \Pi_1 - \Pi_2 \\ A_e = |e|\varphi_1 - |e|\varphi_2 = |e|(\varphi_1 - \varphi_2) =$$

Закон сохранения энергии для системы, в которой действуют только консервативные силы:

$$K_1 + \Pi_1 = K_2 + \Pi_2$$

$$\Delta K = K_2 - K_1 = \Pi_1 - \Pi_2 =$$

Какая ускоряющая разность потенциалов U требуется для того, чтобы сообщить скорость $v_2 = 30 \text{ Мм/с}$ первоначально покоящемуся электрону?

СИ:

$$K \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \quad ;$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$$

$$v_2 = 30 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$\Delta K = K_2 - K_1 = \Pi_1 - \Pi_2$$

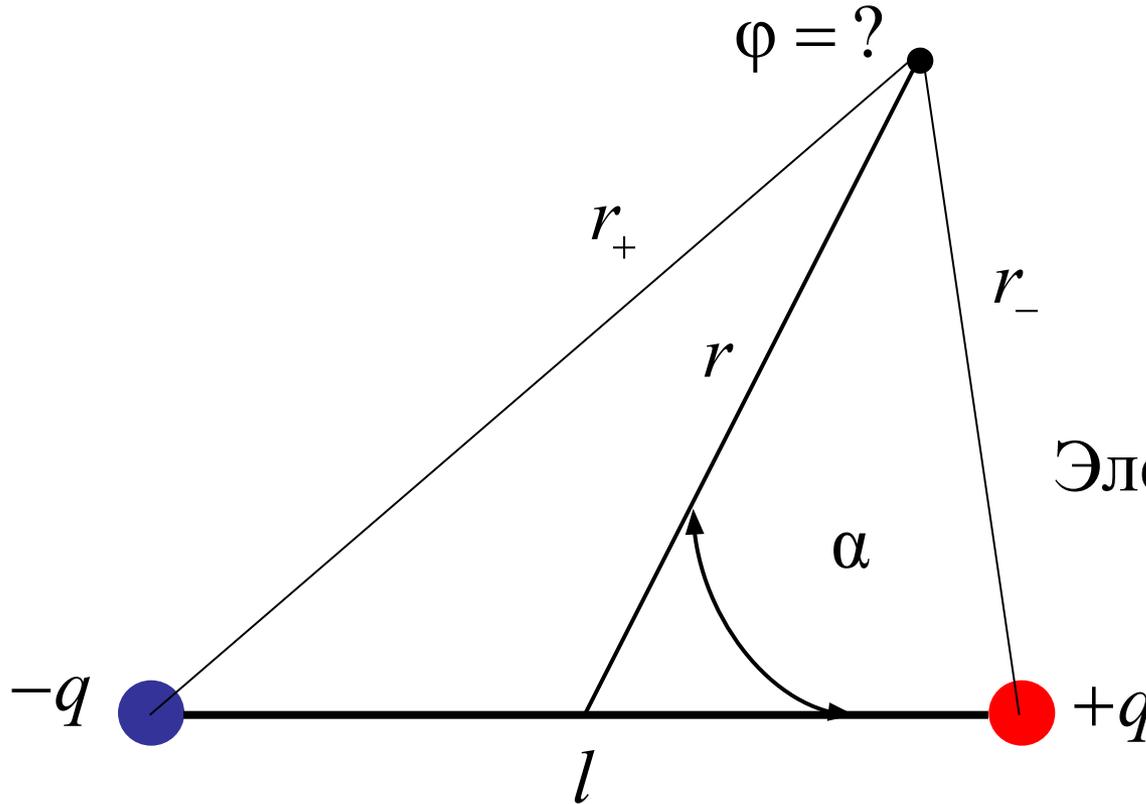
$$\Delta K = \frac{m_e v_2^2}{2} - \frac{m_e v_1^2}{2} = |e|\varphi_1 - |e|\varphi_2$$

$$\frac{m_e v_2^2}{2} = |e|(\varphi_1 - \varphi_2) = |e|U$$

$$\frac{m_e v_2^2}{2|e|} = U =$$

Активные свойства диполя, как источника поля:

Потенциал поля диполя: $\varphi = \varphi_+ + \varphi_- = \frac{q_+}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_+} + \frac{q_-}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_-}$



$$\varphi = \frac{p_e}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \cos \alpha$$

Электрический диполь – единая система, моделирующая электрические свойства многих биологических объектов.

Определить потенциал φ поля, создаваемого диполем с электрическим моментом $p=4$ пКл·м на расстоянии $r = 10$ см от центра диполя, в направлении, составляющем угол $\alpha = 60^\circ$ с вектором электрического момента.

СИ:

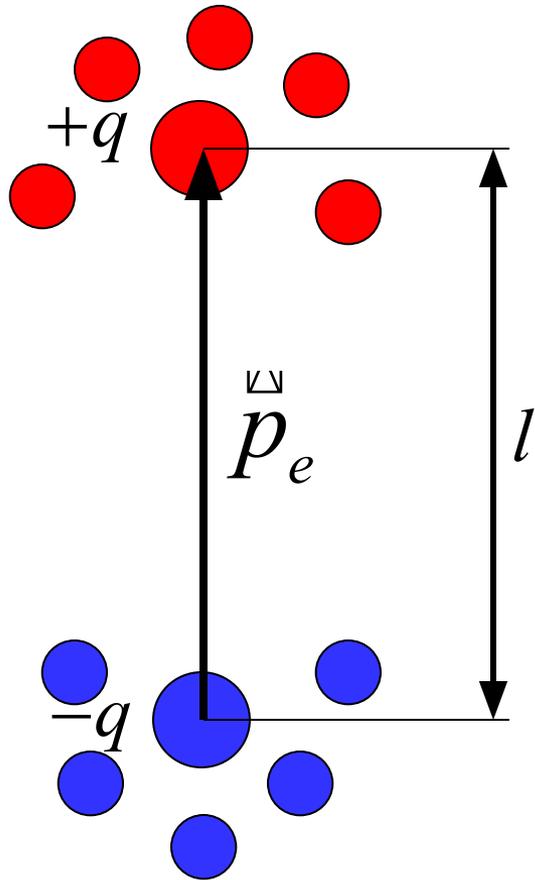
$$p_{e=4} \cdot 10^{-12} \text{ Кл}\cdot\text{м}$$

$$r = 0,10 \text{ м}$$

$$\varphi = \frac{p_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \alpha =$$

Суммарный заряд тела = 0

Мгновенное распределение (+) и (-) зарядов в теле
(следствие процесса жизнедеятельности):



$$\varphi = \sum_{i=1}^{i=\infty} \frac{q_i}{\epsilon \epsilon_0 r_i} \rightarrow \varphi = \sum_{i=1}^{i=2} \frac{q_i}{\epsilon \epsilon_0 r_i}$$

Полученная простая система из
*двух равных по модулю,
противоположных по знаку зарядов –
электрический диполь.*

Электрический момент диполя:

$$|\vec{p}_e| = |q|l$$

Точечные электрические заряды располагаются вдоль оси OX . Значения зарядов и их координаты:

$$\begin{aligned}q_1 &= 0,10 \text{ мКл}, q_2 = 0,20 \text{ мКл}, q_3 = 0,30 \text{ мКл}, \\q_4 &= -0,05 \text{ мКл}, q_5 = -0,20 \text{ мКл}, q_6 = -0,35 \text{ мКл}; \\x_1 &= 10 \text{ мм}, x_2 = 20 \text{ мм}, x_3 = 30 \text{ мм}, x_4 = 0 \text{ мм}, \\x_5 &= -10 \text{ мм}, x_6 = -50 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Оценить значение дипольного момента данного распределения зарядов.

Может ли данная система моделироваться электрическим диполем?

$$\sum_1^6 q_i = 0$$

$$|\vec{p}_e| = |q|l \quad |q| =$$

Координата $X_{(+)}$ эквивалентного (+) заряда:

$$X_{(+)} = \frac{\sum_1^n q_{i(+)} \cdot x_{i(+)}}{\sum_1^n q_{i(+)}} =$$

Координата $X_{(-)}$ эквивалентного (-) заряда:

$$X_{(-)} = \frac{\sum_1^n |q_{i(-)}| \cdot x_{i(-)}}{\sum_1^n |q_{i(-)}|} =$$

Длина плеча диполя:

$$l = |X_{(+)} - X_{(-)}| =$$

$$|\overset{\vee}{p}_e| = |q|l =$$

Двойной фосфолипидный слой уподобляет биологическую мембрану конденсатору. Вещество мембраны представляет собой диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ .

Разность потенциалов между поверхностями мембраны равна U при толщине мембраны d . Оценить емкость участка мембраны площадью S и напряженность электрического поля в ней.

$$C = \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

№ варианта	ε	$S, \text{мм}^2$	$U, \text{В}$	$d, \text{мм}$
1	3,9	1,8	0,16	11
2	4,0	1,7	0,17	12
3	4,1	1,9	0,18	13
4	4,2	1,8	0,19	9,0
5	4,3	1,9	0,20	8,0
6	4,4	2,1	0,21	10
7	3,7	2,0	0,22	11
8	3,6	1,9	0,23	12
9	3,5	1,8	0,24	13
11	3,8	2,2	0,15	10
12	3,9	1,8	0,16	11
13	4,0	1,7	0,17	12
14	4,1	1,9	0,18	13
15	4,2	1,8	0,19	9,0

Средняя мощность разряда электрического сома $P = 8$ Вт при напряжении $U = 360$ В. Время разряда $t = 0,13$ мс.

Определить емкость органов сома.

СИ:

$$t = 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Энергия электрического поля, аккумулированная сомом:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

Мощность, выделяемая при разряде:

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow W =$$

$$C =$$

Оценить, какое количество одновалентных ионов должно перейти из цитоплазмы в межклеточную жидкость для создания потенциала покоя $\varphi_M \approx -120$ мВ?

Принять площадь поверхности клетки $S = 10^{-9}$ м²;

удельную емкость мембраны (на единицу площади) $C_{уд} = 10^{-2}$ Ф/м².

СИ:

Заряд мембранного конденсатора:

$$\Delta\varphi = 0,120 \text{ В}$$

$$q = CU = C\Delta\varphi = C_{уд} S \Delta\varphi$$

Количество одновалентных ионов:

$$N = \frac{q}{|e|} =$$