

XX Летняя Физическая Школа. 10 класс.

Занятия по разбору задач из теории.

Заряды. Закон Кулона.

1	Как, имея электрический заряд, получить заряд другого знака?
2	Когда А подносят к В, они отталкиваются. Когда В подносят к С, они тоже отталкиваются. Какие из следующих утверждений верны? (а) А и С заряжены одноимённо; (б) А и С заряжены разноимённо; (в) все три объекта заряжены одноимённо; (г) один из объектов не заряжен; (д) не хватает информации.
3	Когда А подносят к В, они притягиваются. Когда В подносят к С, они отталкиваются. Какие из следующих утверждений верны? (а) А и С заряжены одноимённо; (б) А и С заряжены разноимённо; (в) все три объекта заряжены одноимённо; (г) один из объектов не заряжен; (д) не хватает информации.
4	Электрический диполь состоит из двух зарядов q и $-q$, находящихся на расстоянии $2a$ друг от друга. Найдите электрическое поле диполя на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему заряды. Как ведёт себя поле, если точка наблюдения находится очень далеко от диполя?
5	Тонкое кольцо радиуса R заряжено зарядом $Q > 0$. Найдите электрическое поле на оси, проходящей через центр кольца и перпендикулярной к его плоскости. Каким будет поле вдалеке от кольца? Каким будет поле в центре кольца?

6

В условиях предыдущей задачи: в центре кольца поместили небольшой заряд $q < 0$. Затем его немного отклонили вдоль оси на расстояние $x \ll R$. Что будет происходить с зарядом?

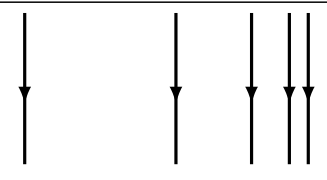
Указание. Напомним, что уравнение движения для грузика на пружинке выглядит так: $ma + kx = 0$. При этом грузик на пружинке совершает колебания с периодом $T = 2\pi\sqrt{m/k}$.

Силовые линии. Теорема Гаусса.

1	Допустим, что электрический поток через некоторую замкнутую поверхность равен нулю. Какие из следующих утверждений верны? (а) внутри поверхности нет зарядов; (б) суммарный заряд внутри поверхности равен 0; (в) электрическое поле везде на поверхности равно 0; (г) количество силовых линий, входящих в поверхность, равно количеству силовых линий, покидающих её.
2	Представьте сферическую поверхность, окружающую заряд Q . Что произойдёт с потоком через неё, если (а) заряд утроить; (б) объём сферы удвоить; (в) поменять сферу на куб; (г) переместить заряд в другое место внутри сферы.
3	Заряд $Q > 0$ находится в пустом пространстве. Его окружают незаряженной проводящей сферой так, что заряд оказывается в центре сферы. Как будут устроены силовые линии, выходящие из заряда?
4	Имеется равномерно заряженная тонкая бесконечная палочка с линейной плотностью заряда λ (это означает, что любой кусочек палочки длины l имеет заряд $q = \lambda l$). Найдите электрическое поле в точке на расстоянии r от палочки.
5	Имеется равномерно заряженная тонкая бесконечная плоскость с поверхностной плотностью заряда σ (это означает, что любой кусочек плоскости площадью S имеет заряд $q = \sigma S$). Найдите электрическое поле в точке на расстоянии x от плоскости.

6	<p>Непроводящая сплошная сфера радиуса R заряжена равномерно с плотностью ρ (любой кусочек сферы объёмом V имеет заряд $q = \rho V$). С помощью закона Гаусса посчитайте электрическое поле:</p> <ul style="list-style-type: none"> • в точке P снаружи сферы; • в точке P внутри сферы.
7	<p>(теорема Ирншоу) Говорят, что система находится в устойчивом равновесии, если при попытке вывести её из равновесия на систему начинает действовать возвращающая сила. Докажите, что заряд во внешнем электрическом поле не может находиться в устойчивом равновесии (при условии отсутствия сил другой природы — например, гравитационных). <i>Указание:</i> попробуйте сместить заряд из положения равновесия и посмотреть, что получится.</p>

Потенциал.

1	<p>1. Нарисуйте эквипотенциальные поверхности для поля точечного заряда.</p> <p>2. Докажите, что эквипотенциальные поверхности любой системы зарядов всегда перпендикулярны силовым линиям.</p> <p>3. Докажите, что работа по перемещению пробного заряда q в поле заряда Q не зависит от пути перемещения. А если зарядов Q будет много (Q_1, Q_2, \dots, Q_N)?</p>	
2	Докажите, что во всех точках на поверхности проводника потенциал одинаков.	
3	Докажите, что внутри полого проводника поле равно нулю независимо от формы проводника и полости (это явление называется <i>экранированием</i>).	
4	Могут ли силовые линии электростатического поля быть замкнутыми?	
5	Возможно ли существование электростатического поля с силовыми линиями как на рисунке?	
6	Имеется проводящая заряженная зарядом Q сфера радиуса R . Найдите потенциал в любой точке пространства.	
7	Палочка длины L равномерно заряжена зарядом Q . Посчитайте электрическое поле в точке, которая находится на оси палочки на расстоянии a от её конца. Что будет, если точка находится далеко от палочки?	

8	<p>Две проводящие сферы радиусами r_1 и r_2 находятся на значительном расстоянии друг от друга. Их соединяют длинным проводом. Сферы равномерно заряжены. Найдите отношение электрических полей на поверхностях сфер. Что будет с полем на сфере радиуса r_2, если $r_2 \rightarrow 0$?</p>
9	<p>Докажите, что энергия взаимодействия системы N неподвижных зарядов q_1, \dots, q_N выражается формулой</p> $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i,$ <p>где φ_i — потенциал поля, создаваемый всеми зарядами, кроме i-го, в той точке где находится i-й заряд:</p> $\varphi_i = k \sum_{j=1}^{N-1} \frac{q_j}{r_i - r_j}.$ <p><i>Указание.</i> Это можно сделать по индукции.</p>

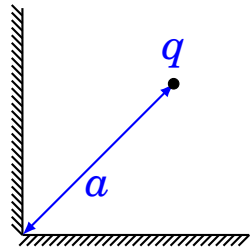
Конденсаторы.

1	Конденсатор заряжен до заряда Q при разности потенциалов на пластинах U . Что произойдёт, если разность потенциалов удвоят? (а) ёмкость уменьшится в два раза, заряд останется тем же; (б) ёмкость и заряд уменьшатся в два раза; (г) ёмкость и заряд увеличатся в два раза; (д) ёмкость останется той же, заряд увеличится в два раза.
2	Зарядим конденсатор с помощью батарейки и затем отсоединим его от неё. Конденсатор представляет собой большие параллельные плоские пластины с воздухом между ними. Растащим их на небольшое расстояние. Что произойдёт с зарядом на них? С потенциалом? С энергией, запасённой в конденсаторе? С ёмкостью? С электрическим полем между пластинами? Совершается ли работа при таком перемещении пластин? <i>В Бобруйск ездил?</i>
3	Найдите силу взаимодействия между пластинами площадью S в плоском конденсаторе. Поддерживается напряжение U , расстояние между пластинами d .
4	Два конденсатора с ёмкостями C_1 и C_2 соединили последовательно. Можно ли их заменить одним конденсатором? Если да, то какая у него должна быть ёмкость?
5	<i>(объединение двух предыдущих задач)</i> Между пластинами плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием между ними d поддерживается постоянная разность потенциалов U . Как изменится сила взаимодействия между пластинами, если в конденсатор вставить параллельно обкладкам проводящую незаряженную пластину толщиной h ($h < d$), размеры проводящей пластины равны размерам пластин конденсатора.

6

Во сколько раз изменится ёмкость плоского конденсатора, если поместить его в плоскую металлическую коробку? Расстояние от обкладок до стенок коробки равно расстоянию между обкладками.

Метод изображений.

1	Заряд q поднесли на расстояние a к бесконечной проводящей плоскости. Найдите плотность поверхностных зарядов σ на плоскости.	
2	(«Заряд наказан!») Найдите силу, действующую на точечный заряд q , помещённый на биссектрису прямого двугранного угла между двумя проводящими плоскостями. Расстояние между зарядом q и вершиной двугранного угла равно a .	
3	Найдите силу взаимодействия заряда q и изолированной проводящей незаряженной сферы радиуса R . Заряд находится на расстоянии L от центра сферы.	
4	То же, что в предыдущей задаче, но сфера заряжена зарядом Q . При каком Q сила взаимодействия обратится в ноль?	