Трепещу, низко кланяюсь и прошу слова. Трепещу, ибо на вас не угодишь, кланяюсь, ибо получил хорошее воспитание, прошу слова, ибо должен что-то сказать.

Шекспир.

Разум, однажды расширивший свои границы, никогда не вернётся в прошлые.

А. Эйнштейн

ЭЛКТРОДИНАМИКА (ЭЛЕКТРОСТАТИКА)

Введение

Одна из основных компонент личности, имеющей достаточно высокий уровень общеобразовательной подготовки – ее творческий потенциал. Он включает в себя способность искать и находить решение поставленных задач, принимать те или иные решения в зависимости от полученного ответа и конкретных условий, приобретать и преобразовывать информацию, выдавать ее в доступной для восприятия форме, умение переучиваться. В связи с этим возникает потребность в разработке возможных путей формирования у учеников базовой и развивающейся картины мира, содержащей образы основных его объектов и явлений, методов их изучения и исследования, способов унификации полученного знания, его творческого применения «сейчас» и в профессиональной деятельности. Эта «минимальная физика» (библиотека эрудита-исследователя) должна стать основой Государственного стандарта образования для основной и профильной школы, который принят в целом, но еще далек от совершенства. Сам по себе стандарт очерчивает лишь некие границы, определяя структурные единицы знания и методы, которые должен знать и уметь применять ученик после окончания школы. Далее, очевидно, предполагается, что, освоив данную систему знаний и умений, ученик автоматически приобретёт, остальные необходимые качества и будет востребован на рынке труда и в ВУЗе. Так не бывает! Каждому ученику еще нужен учитель, который будет вместе с ним подниматься по «лестнице познания» и радоваться его успехам, сформирует у него потребность делать это самостоятельно каждый день. Заказ на этих объектов и субъектов педагогической деятельности со стороны общества уже начинает появляться, однако модели их расплывчаты и пока не востребованы школой. На местах еще сохранились талантливые учителя, которые тянутся ко всему эффективному и передовому. Хорошо бы обеспечить встречу этих учителей с новыми идеями и методиками, с новым оборудованием, с учителями, которые могут учить! Это так очевидно и естественно, когда старшее, умудренное опытом поколение, передает свои знания и свой опыт молодым, ставит перед ними задачи и просит

найти их решение. Благодаря таким людям ни на минуту в стране не прерывалась связь времен и поколений! Пока этого не происходит, хотя координаты инновационных школ и лучших учителей известны.

Все эти проблемы существовали всегда, обострились в последнее время и требуют эволюционного пути их решения. Их нет в том учебном кабинете и в той школе, где есть учитель-преподаватель и они в избытке там, где «правят бал» проповедники науки или просто равнодушные к проблемам образования люди. Поэтому подготовка учителя, отвечающего самым современным требованиям – главная задача реформы школы! Поскольку учитель остается учителем, пока сам учится, ему необходимо поставить такие цели, которые бы способствовали росту его профессионального мастерства, развивали его способности, переводили его в более высокое качественное состояние, вырабатывали у него уважение к своему собственному труду, учили «преподавать интересно». Актуальность этих целей и задач становится особенно очевидной в связи с переходом большей части образовательных учреждений к профильному обучению.

Интересно, что в понятие «профильное обучение» учителя вкладывают разное содержание. Одни считают его простым углублением, другие дополняют свой курс профессиональными знаниями, третьи уверены, что нужно сохранить базовую часть курса, переосмыслив его так, чтобы он давал фундаментальную картину мира, развивал ее в процессе обучения, способствовал применению и решению возникающих научно-технических задач. Мне как учителю физики, наиболее предпочтительно последнее определение профильного обучения и в этом направлении мною кое-что сделано. Созданы дидактические комплексы по всем фундаментальным теориям школьного курса, включающие в себя обобщающие таблицы, примерные планы уроков, контрольные и зачетные материалы, систему творческих задач и даже систему мотивов к обучению. Все эти мотивы оказывают в той или иной мере влияние на познавательный интерес, однако главным из них для ученика, выросшего в условиях рыночной экономики, является приобретение знания, как интеллектуального капитала, который можно накапливать, продавать или покупать. Такой ученик всегда находится в устойчивом состоянии гордости и превосходства, потому что в любой момент может сказать: «Я знаю и я могу!». С этих позиций особую цену приобретает такое знание, которое можно оперативно применить для решения конкретных научно-технических задач, в управлении производственным или технологическим процессом, в быту, в процессе дискуссии или простого общения. Природа жестко дисквалифицирует всех, кто плохо решает! Ясно, что для решения многих из обозначенных задач необходимо знание физики –

основы техники, ее теорий, законов, объектов, явлений. Научить ученика применять полученное знание в процессе своей жизнедеятельности – важнейшая задача учителя физики профильного класса. Следует добавить, что в новых условиях уже совершенно недостаточно учить решать задачи «как все и как всегда», а необходимо поставить ученика в такие условия, чтобы в каждой задаче, в любой жизненной ситуации, он искал оригинальное, красивое и отличное от других решение, раскрывал и развивал свой творческий потенциал. С этих позиции физика, как наука о наиболее общих законах природы, занимает лидирующие позиции среди всех естественно – математических наук, однако в процессе преподавания необходимо "подправить" содержание изучаемого учебного материала так, чтобы оно давало картину мира, а система творческих и научно-исследовательских задач в свою очередь развивала ученика и формировала творческую личность. Все эти задачи и мои решения этих задач представлены в книге «Электростатика в школе», которую я предлагаю Вашему вниманию.

Учитель физики НБМОУ "Гимназия № 44" А. Найдин

Оглавление

1. Введение 2-4

2. Закон Кулона……5-13

3. Электрическое поле……14-21

4. Проводники в электростатическом поле……..22-28

5. Диэлектрики в электростатическом поле…….29-35

6. Работа электростатического поля…… …36-44

7. Конденсатор…….45-62

8. Электрические приборы……..63-66

9. Литература.. ..... …66

Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.
Анатолий Найдин

г. Новокузнецк
2014 г

Гений есть терпение мысли, сосредоточенной в известном направлении.
И. Ньютон

О теле электрическом я пою.
Уолт Уитмен.

...Из этих двух законов следуют все предсказания электростатики. Но одно дело высказать эти вещи математически, и совсем другое - применять их с легкостью и с нужной долей остроумия.
Ричард Фейнман

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Здоровый социальный организм щедро расходует ресурсы на образование, информационное обеспечение, научно-исследовательскую работу.

Жалеешь, что пошел по этой дороге, но еще больше жалеешь, если по ней не пошел.
Р. Роллан

Электрические тела – те, которые притягивают таким же образом, как янтарь.

В. Гильберт

Урок 1.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Как проволочная изгородь может зарядиться, если ее обдувает ветер со снегом?

Цель урока: Познакомить учащихся со структурой электродинамики. Ввести понятие "электрический заряд".

Тип урока: лекция.

Оборудование: электрометр, палочки из стекла и эбонита, пластина из плексигласа, модели протонов и электронов на магнитной доске, кулонометр. Сферический кондуктор на подставке, полоски полиэтилена, хлорвиниловой трубки, резины, ножницы. Напильник, сыпучие тела, капельница.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом

II. Электродинамика – теория электромагнитного поля, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами.

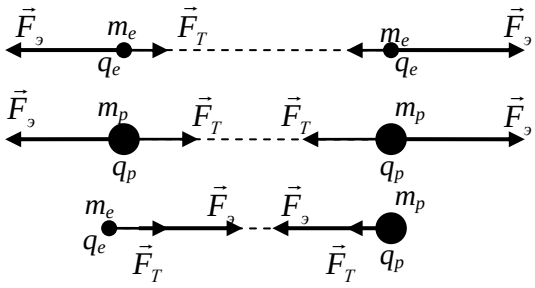
План изучения электродинамики: На основе экспериментов введем основные понятия и пользуясь моделью поля, получим законы электродинамики (качественная формулировка четыре уравнения Максвелла) → из них получим следствия, справедливость которых подтвердим экспериментально. Электродинамика имеет огромное значение в технике и лежит в основе: радиотехники, электротехники, различных отраслей связи и радио.

Однако законы электродинамики сложны, и мы их сформулируем только качественно. По этой причине школьная электродинамика разбивается на три раздела:

1. **Электростатика – раздел электродинамики, посвященный изучению покоящихся электрических зарядов.**
2. **Постоянный электрический ток – раздел электродинамики, посвященный изучению движущихся с постоянной скоростью электрических зарядов.**
3. **Электромагнитные колебания и волны – раздел электродинамики, посвященный изучению движущихся с переменной скоростью (колеблющихся) электрических зарядов.**

После изучения электродинамики мы должны уметь рассчитывать электромагнитные поля (в простых случаях), если заданы создающие их заряды и токи. Строение вещества: электроны, протоны, нейтроны. Масса электрона: $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг. Взаимодействие двух электронов. Закон всемирного тяготения. Электроны обладают массой и поэтому участвуют в электромагнитном взаимодействии Если же мы проведем эксперимент, то обнаружим, что кроме свойства притягиваться (участвовать в гравитационном взаимодействии), электроны обладают свойством отталкиваться с гораздо большими силами

(способны к электромагнитным взаимодействиям) $F_э = 4{,}2 \cdot 10^{42}\ F_т$. **Электроны обладают массой и поэтому участвуют в гравитационном взаимодействии, но они обладают электрическим зарядом и поэтому участвуют в электромагнитном взаимодействии.**



Электрический заряд всех электронов (открыт Томсоном 29 апреля 1897 года) одинаков (электроны тождественны друг другу) и равен: q_e = 1 эл. заряд = e = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Единица электрического заряда в СИ: **1 Кулон (Кл) – электрический заряд, который проходит через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в нем 1 А** (лампочка на 220 Вт в сети 220 В). Заряд электрона гораздо меньше, приблизительно $6 \cdot 10^{18}$ электронов переносят заряд 1 Кл.

Воображаемое взаимодействие двух протонов. Отношение масс протона и электрона является одной из фундаментальных мировых констант и известно с большой точностью: 1836,152672. Измерение радиуса заряда протона составило примерно 0,831 фемтометра.

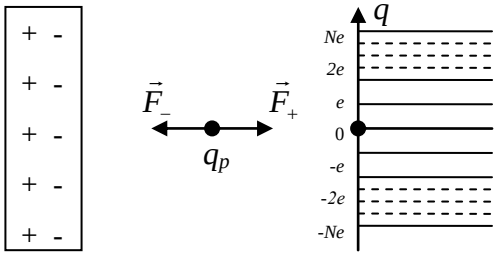
$$\mathbf{q_p = 1\ эл.\ заряд = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ Кл}$$

Воображаемое взаимодействие электрона с протоном. Электромагнитное взаимодействие может носить и характер притяжения. Два вида электрических зарядов: $q_e = -1$ элементарный заряд = - e = $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **Одноименно заряженные частицы отталкиваются, а разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу.**

Воображаемое взаимодействие двух нейтронов. **Нейтроны не обладают электрическим зарядом.** *Вопрос:* Частица может быть без заряда, а заряд без частицы...? Чеширский кот из книги: «Алиса в стране чудес».

Электрический заряд (q) - свойство частицы, определяющее ее способность к электромагнитным взаимодействиям, измеряемое в единицах элементарного заряда или в кулонах.

Заряд тел. Избыток или недостаток электронов в куске вещества. Если тело имеет избыток электронов, то оно заряжено отрицательно, а если недостаток, то положительно: (q = Ne), где N – целое число.



Совокупность значений, которые может принимать величина, называют ее спектром. Непрерывный и дискретный спектр. Дискретность электрического заряда.

Электрический заряд (q) - свойство тела, определяющее его способность к электромагнитным взаимодействиям, измеряемое при постоянном электрическом токе произведением силы тока на время его протекания.

$$q = I \cdot t$$

Электризация – переход электронов от одного тела к другому при их

контакте (демонстрация). Взаимодействие наэлектризованных палочек (демонстрация). Почему при трении разнородные тела электризуются, а однородные нет? Как происходит электризация тел?

Электроотрицательность - способность атомов притягивать к себе электроны других атомов Электронно-ионная "шуба". Почти любое вещество, которое скользит или переносится мимо других объектов, захватывает или теряет электроны (демонстрация электризации жидкостей и газов). Равенство зарядов тел при электризации. Нейтральность - это удел не только Швейцарии и атомов, но и вещества (Вселенной)!!!

Части предмета, подвергаемого трению, притягивают в момент трения электрический огонь и, следовательно, отнимают его от трущегося предмета; те же части склонны отдать полученный ими огонь любому телу, у которого его меньше.

Б. Франклин

Могу предложить вам такую модель этого явления. Если положить кусок сухого мела на мокрую губку, то мел намокнет (демонстрация). Если положить сухую губку на мокрый мел, то губка останется сухой (демонстрация). Почему? Почему вода переходит из губки на мел при их контакте, а с мела на губку не переходит? Подумайте над этим вопросом дома.

Дополнительный материал (электризация в природе и в технике): Одна из опасностей при транспортировке зерна в элеватор связана с тем, что в результате разделения зарядов в атмосфере, заполненной горючей пылью, может проскочить молния. При бурении скважин неожиданно вырывается мощный фонтан нефти, который часто воспламеняется. Заправка цистерн авиабензином. Столкновение крупных и мелких частичек льда в туче, их электризация. При пыльных бурях частицы поменьше заряжаются отрицательно, большие – положительно. Источником энергии на Марсе являются электрические поля, создающиеся на планете под воздействием трущейся о ее поверхность пыли, поднимающейся и окутывающей весь Марс в особо сильные бури. Разряжаясь, эти поля создают свечения, которые можно наблюдать. Почему зарядка пылевых частиц в протопланетных дисках способствовала росту планет? Крылышки пчелы в полете при трении о воздух электризуются. Детонация зерновой пыли стала причиной взрыва на элеваторе в турецком порту 07.08.2023.

Закон сохранения электрического заряда: Алгебраическая сумма электрических зарядов любой замкнутой системы остается неизменной, какие бы процессы не происходили в ней (электрический заряд не создается и не уничтожается!). $q_1 + q_2 + ... + q_N = q_1' + q_2' + ... + q_N'$

Если я хочу в каком-либо теле увеличить количество электрической материи, я должен неизбежно взять ее вне него и, следовательно, уменьшить ее в каком-либо другом теле.

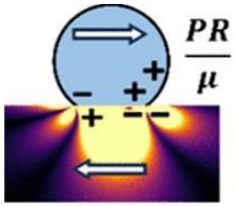
Эпинус

Например, при химических реакциях, отрицательно заряженные валентные электроны могут каким угодно образом перераспределяться между внешними оболочками образующих химические связи атомов различных веществ - ни совокупный отрицательный заряд электронов, ни совокупный положительный заряд протонов в ядре в замкнутой химической системе не изменится.

III. *Вопросы:*

1. Почему зимой электризация тел значительнее, чем летом?
2. Может ли отношение зарядов двух тел быть в точности равным: $\frac{q_1}{q_2} = -\sqrt{3}$?
3. Когда удается найти конец ленты (скотча) и отрезать кусок, то свободный конец ленты снова приклеивается к катушке. Почему?

4. Почему кошка зимой не любит, чтобы ее гладили?



Когда материалы с наноразмерными деформациями трутся друг о друга, они создают разность потенциалов статического заряда между передней и задней кромкой объектов. Это приводит к возникновению тока на поверхностях и к накоплению заряда, что в конечном итоге к разряду.

5. Почему при переливании бензина из одной цистерны в другую он может воспламениться, если не принять специальных мер предосторожности?

Какими способами можно предотвратить возгорание горючего при его переливании из одной емкости в другую емкость? Повышение электропроводности бензина, фильтры из разных материалов, металлизация шланга, повышение влажности воздуха, заземление.

6. Что произойдет, если натереть воздушный шарик о собственную футболку, а потом попробовать прислонить его к волосам или стене? Почему шарик не падает?
7. Как пчела распознает, что нектар с цветка уже собран другой пчелой?

Задачи:

1. Эбонитовая палочка получила заряд $-1{,}6\cdot 10^{-6}$ Кл. Определите число избыточных электронов на ней.
2. В результате трения с поверхности стеклянной палочки было удалено $6{,}4\cdot 10^{12}$ электронов. Определить электрический заряд на палочке. На сколько килограмм уменьшилась масса палочки?

Дополнительная информация: Эффект электризации наблюдается у водопадов, в пещерах и на берегу моря. Вблизи водопадов в воздухе отношение концентрации отрицательных ионов к концентрации положительных достигает 6, у берега моря 1/2. Почему?

IV. § 31-34. Упр. 7, № 1.

1. Изготовить набор по электризации.
2. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Б.Франклина.
3. Если некоторый объем води замораживать с одной стороны, то на границе "лед - вода" возникает напряжение. Измерьте его и объясните явление.
4. Составить обобщающую таблицу "Электризация тел", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

Отталкивательное, так же как и притягательное действие двух наэлектризованных шаров, а, следовательно, и двух электрических молекул, прямо пропорционально плотности электрического флюида обеих электрических молекул и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

Ш. Кулон

Урок 2.

ЗАКОН КУЛОНА

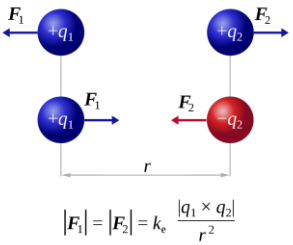
Закон Кулона не объявишь вне закона!

Цель урока: Выяснить характер зависимости кулоновской силы от величины зарядов и расстояния между ними.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: модель "крутильные весы", весы чувствительные с принадлежностями, выпрямитель высоковольтный.

План урока:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Электрический заряд. 2. Электризация тел. 3. Закон сохранения электрического заряда.

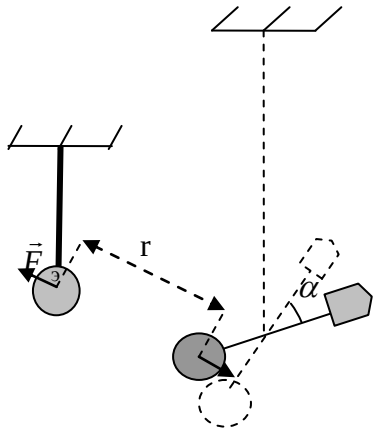
Задачи:

1. Два металлических шарика с одноименными, но разными по величине зарядами привели в соприкосновение. При этом заряд одного из них увеличился на 60%, а заряд другого уменьшился на 40%. Найти отношение начальных зарядов шаров.
2. Какой электрический заряд приобрел бы железный шарик радиуса 1 см, если у каждого атома железа удалить по одному электрону?

Вопросы:

1. Можно ли на концах стеклянной палочки получить два одновременно существующих разноименных заряда?
2. Если резиновой трубкой (шлангом) ударить по столу, то она электризуется. Почему?
3. Предложите как можно больше способов, позволяющих очистить одежду от пыли.
4. Зачем бензовозам нужна толстая цепь, которая соединяет их корпус с землей?
5. Есть несколько одинаковых металлических шарика, один из которых имеет заряд 16 нКл. Как получить шарик с зарядом 5 нКл?
6. Почему электризуются капли воды при её дроблении (водопады, душ)?
7. Если бы электрон был нестабильной частицей, то сохранялся бы электрический заряд или нет?
8. Почему пыль на Луне часто "прилипать" к обшивке космических кораблей и к скафандрам космонавтов?

III. Основной закон электростатики – закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел в вакууме.

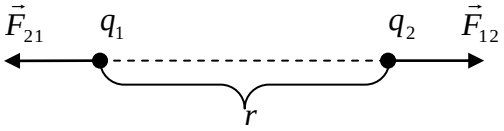


Понятие точечного заряда. Устройство крутильных весов (демонстрация модели). Опыты Кулона. **Закон Кулона** (1785 г).

Сегодня я предъявляю Академии электрические весы. Они измеряют с наивысшей точностью электрическое состояние и электрическую силу тела, как бы мала не была степень его электризации.

Шарль Кулон

$$\left|\vec{F}_{12}\right| = \left|\vec{F}_{21}\right| = F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}$$

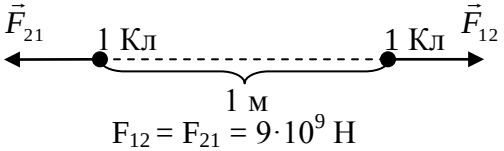


Красота уравнений важнее их соответствия эксперименту, потому что расхождения могут быть вызваны второстепенными причинами, которые прояснятся по мере развития теории.

Поль Дирак

Дополнительная информация: Момент М упругих сил, возникающих при закручивании нити, прямо пропорционален углу закручивания нити φ, и связаны эти величины формулой: $M = C\frac{d^4}{\ell}\varphi$, где ℓ - длина нити, d - ее диаметр, С – коэффициент, зависящий от свойств нити. Почему точность «крутильных весов» имеет предел?

Два неподвижных точечных заряда взаимодействуют друг с другом в вакууме с силой F, величина которой пропорциональна произведению зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r^2.



Экспериментальная проверка закона Кулона. **Центральный характер кулоновских сил**. Единица электрического заряда в СИ (повторение).

Если бы нам удалось два точечных заряда по 1 Кл поместить на расстояние 1 м друг от друга, то электрическая сила оказалась бы равной $9\cdot10^9$ Н. Этот факт, несмотря на огромную величину силы, дает нам возможность определить коэффициент пропорциональности в формуле закона Кулона: $k = 9\cdot10^9$ Н·м^2/Кл^2.

Формула закона Кулона в СИ: $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}$. $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Кл^2/(Н·м^2)

Экспериментальная проверка формулы закона Кулона: измерение кулонометром электрического заряда шариков и выяснение зависимости кулоновской силы от величины заряда шариков и расстояния между ними.

Обобщающее повторение по таблице «Закон Кулона».

IV. *Задачи:*

1. С какой силой взаимодействуют два заряда по 10 нКл, находящиеся на расстоянии 3 см друг от друга?
2. На каком расстоянии друг от друга электрические заряды 1 мкКл и 10 нКл взаимодействуют с силой 9 мН?
3. Какую массу должен был бы иметь протон для того, чтобы сила электростатического отталкивания двух протонов уравновешивалась силой их гравитационного притяжения?
4. Два точечных заряда находятся на расстоянии ℓ друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается на 0,5 м, то сила взаимодействия увеличивается вдвое. Найти расстояние ℓ.

V. § 35-36. Упр. 7, № 2, 3.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Ш. Кулона.

Среди всех людей науки, принесших славу Франции, трудно было бы указать одного человека, кто с точки зрения развития земной физики мог бы хоть как-то сравниться с Кулоном.

Т. Юнг

Исследовательская работа: Зная расстояние между центрами соседних ионов в кристалле поваренной соли, вычислите силу, необходимую для разрыва всех связей в сечении образца площадью 1 м^2 (теоретический предел прочности). Почему же экспериментальное значение предела прочности в 1000 раз меньше теоретического? $\sigma_{экс} = 4{,}5 \cdot 10^6$ Па. $\sigma_{теор} = 10^9$ Па.

Мы должны знать - мы будем знать.

Гильберт

Урок 3.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Что больше: кулоновская сила притяжения электрона к протону в атоме водорода или сила притяжения двух космонавтов, обменивающихся рукопожатием в космосе?

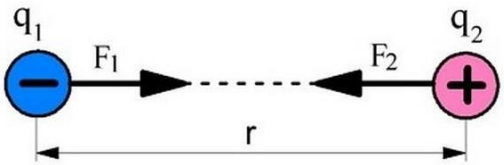
Цель урока: Научить учащихся применять закон Кулона при решении конкретных физических задач.

Тип урока: решение задач.

Оборудование: микрокалькулятор, обобщающая таблица "Закон Кулона".

План урока:

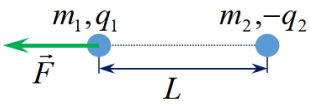
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом



II. *Опрос фундаментальный:* Закон Кулона.

Задачи:

1. Заряды 10 и 16 нКл расположены на расстоянии 7 мм друг от друга. Какая сила будет действовать на заряд 2 нКл, помещенный в точку, удаленную на 3 мм от меньшего заряда и 4 мм от большего?
2. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в 5 раз больше заряда другого. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась по модулю кулоновская сила, если шарики были заряжены одноименно, разноименно?
3. На нить одели три бусинки и замкнули ее в петлю. Одна бусинка имеет заряд q, а остальные $3q$. Бусинки могут скользить по нити без трения. В состоянии равновесия нить образует треугольник. Найти угол при основании треугольника.
4. С какой силой F необходимо двигать маленький шарик массой m_1 с зарядом q_1 в направлении от другого маленького шарика массой m_2 и разноименным зарядом $-q_2$, чтобы расстояние между ними оставалось постоянным и равным L? Слой тяжести пренебречь.



Вопросы:

1. Чтобы выполнялся закон Кулона, необходимо три условия. Какие?
2. Как изменится сила электростатического взаимодействия между двумя точечными зарядами, если расстояние между ними уменьшить в 3 раза и

один из зарядов увеличить в 3 раза?

3. С какой силой действуют два одноименных и равных заряда на третий заряд, помещенный посредине между ними?
4. Почему в окружающем нас мире объекты, как правило, нейтральны?
5. Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с некоторой силой. Как изменится сила взаимодействия, если один из зарядов увеличить на 50%, а другой на 50% уменьшить?
6. Три точечных заряда q, -q и –q расположены вдоль одной прямой на одинаковом расстоянии друг от друга. На какой из зарядов действует большая сила?
7. Какие опыты свидетельствуют о том, что существует два вида электрических зарядов?
8. Что общего между гравитационным и электростатическим взаимодействием? Каковы основные различия?
9. Можно ли крутильные весы Кулона считать колебательной системой?
10. Положительно заряженную частицу подносят близко к одноименно заряженному закрепленному точечному заряду. Как зависит ускорение частицы от расстояния между зарядами?
11. Как изменится период колебаний математического маятника, если в точку подвеса и на груз поместить одноименные заряды?

III. *Задачи:*

1. Шарик массой m с зарядом q, подвешенный на нити длиной ℓ, движется по окружности в горизонтальной плоскости. В центре окружности находится неподвижный точечный заряд, равный заряду шарика. Найдите угловую скорость шарика и натяжение нити, если нить образует угол α с вертикалью.
2. На нити подвешен шарик массой 10 г, имеющий заряд 1 мкКл. Когда к нему поднесли снизу такой же заряженный шарик, то сила натяжения нити уменьшилась в четыре раза. Определите расстояние между шариками.
3. Два точечных заряда находятся на фиксированном расстоянии друг от друга, а их суммарный заряд равен *q*. Чему должен быть равен каждый заряд, чтобы действующая между ними сила была максимальна?
   (Задачу решить самому двумя способами: определение вершины параболы, обращение в нуль производной от функции в точке экстремума).
4. Три одинаковых заряженных шарика массами m и зарядом q связаны в треугольник нитями длиной L и лежат на гладком столе. Одну из нитей пережигают. Рассчитайте ускорение шариков в начальный момент.
5. С какой силой взаимодействовали бы две одинаковые капли воды на расстоянии 1 км, если бы удалось передать одной из капель 1% всех электронов, содержащихся в другой капле массой 0,3 г?
6. По тонкому кольцу радиуса *R* равномерно распределен малый заряд *Q*. Кольцо расположено горизонтально в вакууме, а в его центр помещен одноименный точечный заряд *q*. Найдите силу натяжения, возникающую в кольце.

IV. Упр. 7, № 4-6.

1. Электрон в атоме водорода может находиться на круговых орбитах радиусами $0{,}54\cdot10^{-8}$ м и $24\cdot10^{-8}$ м. Во сколько различаются угловые скорости электрона на этих орбитах?

Поэтому должна быть нечувствительная материя вне электризованного тела, которая и производит эти действия…

М.В. Ломоносов

Урок 4.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.

Вот представляете, касторка и манная крупа. А внутри – физика!

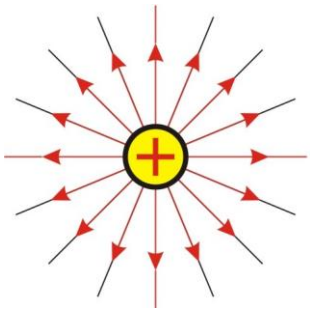
Цель урока: Ввести понятие "поле". Дать общее представление об одной из форм существования материи - электрическом поле. Ввести основную характеристику электрического поля - напряженность электрического поля и научить учащихся измерять ее.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: высоковольтный выпрямитель, электростатические маятники, разборный конденсатор, два легких проводящих шарика на нитях, газоразрядная трубка.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

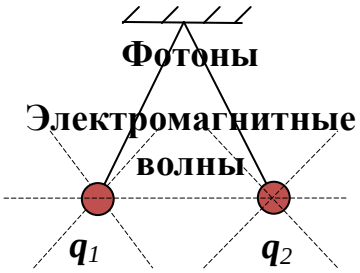


II. *Опрос фундаментальный:* Закон Кулона.

Задачи:

1. 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?
2. Два маленьких шарика одинаковой массы, которым сообщили одинаковые заряды $9\cdot10^{-7}$ Кл, подвешены в воздухе на нитях длиной 1 м. Нити разошлись на угол 60°. Определить массы шариков.
3. Одинаковые металлические шарики, заряженные одноименными зарядами q и 4q, находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. Во сколько раз нужно изменить расстояние между ними, чтобы сила их взаимодействия осталась прежней?
4. Предположим, что в атоме водорода электрон с зарядом $-e$ движется по круговой орбите вокруг протона с зарядом $+e$. Радиус орбиты $0{,}53\cdot10^{-10}$ м. Сколько оборотов в секунду совершает электрон?
5. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют отрицательный одинаковый заряд и взаимодействуют с силой 0,23 мН. Найти число "избыточных" электронов на каждом шарике.

III. Демонстрация взаимодействия двух одноименно заряженных легких шариков. Почему шарики отталкиваются друг от друга? Как могли бы отталкиваться в аналогичном опыте два ученика? **Два способа передачи действия на расстояние:**



- **Посредством переноса вещества** (ученики могли бы обмениваться тяжелым предметом - гирей).
- **Посредством изменения состояния промежуточной среды** (ученики могли бы передавать друг другу энергию и импульс, возбуждая волны на соединяющих их веревках).

Введением понятий различных «полей» и порождаемых ими «виртуальных частиц» мы уходим от раздражающей ещё Ньютона «концепции дальнодействия» и приходим к некоей «концепции близкодействия». Что отличает концепцию близкодействия от шаманства?

Дополнительная информация: У силы есть ее материальный переносчик, способный существовать и в отрыве от реального источника силы. Очевидно, что вокруг каждого электрически заряженного тела существует радиально расходящийся поток частиц или волн, которые переносят энергию и импульс, а, следовательно, материальны. Заряженное тело окружено облаком виртуальных фотонов, которые образуют его электрическое поле! Чем дальше от заряда, тем меньше энергия и импульс этих фотонов, поэтому электрическое поле убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Фотон с очень низкой энергией может существовать годы и пролететь несколько световых лет. Зона действия электрической силы безгранична! Если изменить положение одного из шариков, то другой "почувствует" это через некоторое время, поскольку скорость любых материальных объектов конечна. Демонстрация передачи действия на модели (обод с резинками). Скорость распространения электромагнитных взаимодействий $c = 3 \cdot 10^8$ *м/с*. *Примеры:* Время распространения до Москвы 1/100 с, до Луны - 1,3 с, до Солнца - 8 мин, до ближайшей звезды - 4 года.

Не вдаваясь сейчас в структуру электрического поля, его можно определить как **физический объект, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрически заряженными телами.**

Идеи Фарадея: **Каждый заряд создает вокруг себя электрическое поле, которое действует на другие заряды, помещенные в него, с некоторой силой и таким образом осуществляется взаимодействие.**

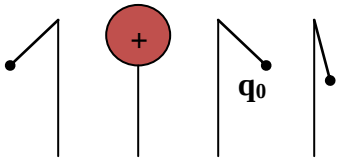
Фарадей был глубоко убежден в аксиоме или, если хотите, в догме, что материя не может действовать там, где ее нет.
Дж. Дж. Томсон

Основные свойства электрического поля:

- **Создается электрическими зарядами.**
- **Действует на электрические заряды, помещенные в него, с некоторой силой (демонстрация). Электрическая сила ($\vec{F}_э$) – сила, с которой электрическое поле действует на помещенный в это поле заряд.**
- **Поле неограниченно в пространстве, но убывает с расстоянием.**
- **Поле взаимно проницаемо (в одной и той же области пространства может находиться несколько полей).**
- **Электрическое поле материально.**

Характеристики поля - **напряженность и потенциал** (как у ученика - масса и рост).

Напряженность электрического поля ввести после проблемного эксперимента с точечными индикаторами электростатического поля (демонстрация). Почему электростатические маятники отклоняются на разные углы?



Измерение напряженности электрического поля:

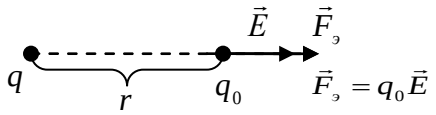
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \ [\mathbf{E}] = \left[\frac{H}{Кл}\right].$$

Электрическое поле - не вещество! В этом коренное различие между эфиром и полем!

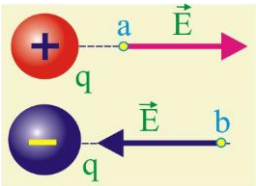
Заряд q, которым "пробуют" поле (пробный) должен быть малым, чтобы не вызвать изменения поля. Напряженность поля от величины пробного заряда не зависит, как не зависит температура воды в озере от вида термометра, которым ее измеряют.

Напряженность электрического поля ($\vec{E}$) – свойство поля в данной точке действовать на электрический заряд с некоторой силой, измеряемое отношением этой силы к величине заряда.

Поле задано, если известна напряженность в каждой его точке. Температурное поле в вашей квартире. Направление вектора напряженности электрического поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд. **Формула напряженности поля точечного заряда:**



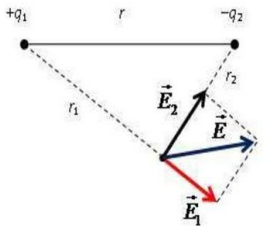
$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$



Модель поля точечного заряда (Максвелл): Вода вытекает из отверстия в плоской горизонтальной поверхности равномерно и растекается по ней. Если внести в струю " положительный пробный заряд" - шарик на ниточке, то на него будет действовать сила.

Определение напряженности поля, создаваемого в данной точке двумя точечными зарядами (примеры на рисунках). **Принцип суперпозиции:**

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



Электростатическое взаимодействие между двумя частицами не изменяется при внесении третьей частицы, также взаимодействующей с первыми двумя!

Здесь есть определенное преимущество. Если есть много зарядов, то можно начать с вычисления результирующей напряженности (складывая векторы) и рассчитать новое поле.

Зная напряженность поля, можно измерить силу: $\vec{F}_э = q\vec{E}$ (силовое поле).

IV. *Задачи:*

1. Поле образовано точечным электрическим зарядом 16 нКл. Определить напряженность в точке, удаленной от заряда на 6 см. С какой силой будет действовать в этой точке поле на пробный заряд 1,8 нКл?

2. Результирующая напряженность поля двух точечных зарядов $6{,}25\cdot10^{-8}$ и -10^{-8} Кл в точке, находящейся на продолжении прямой, соединяющей заряды, на расстоянии 2 см за вторым из них, равна нулю. Найти расстояние между зарядами. Есть ли еще точка, в которой $\vec{E}=0$?
3. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной 30 см находятся заряды 0,2 мкКл каждый. Найдите напряженность поля в двух других вершинах квадрата.
4. Вследствие стекания заряда с маленького шарика напряженность электрического поля на расстоянии 30 см от него уменьшилась на 200 В/м. На сколько изменился заряд шарика?
5. В точке А напряженность поля точечного заряда равна 36 В/м, а в точке В — 9 В/м. Определить напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В.

V. § 37-39.

1. Действует ли электрический заряд на электрическое поле?
2. Как зависит напряженность гравитационного поля Земли от расстояния до ее центра?

Этими новыми понятиями были те силовые линии, расходящиеся во все стороны от наэлектризованных тел и намагниченных тел, которые Фарадей видел своим умственным оком так же ясно, как и те материальные тела, из которых они исходят.

Максвелл

Урок 5.

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Связь: явление → образ → понятие → формула.

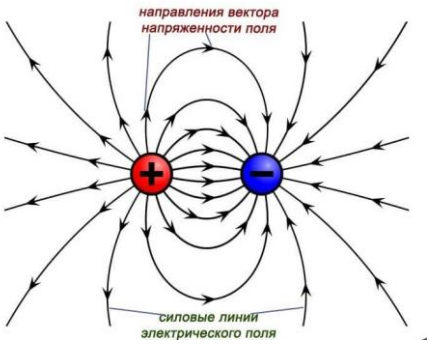
Цель урока: Познакомить учащихся с наглядным методом изображения электрических полей. Сформулировать качественно первый закон электродинамики.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: электрометр и принадлежности к нему, высоковольтный выпрямитель, проекционный аппарат ФОС-67, прибор для наблюдения спектров электрических полей, диафильм "Статическое электричество".

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



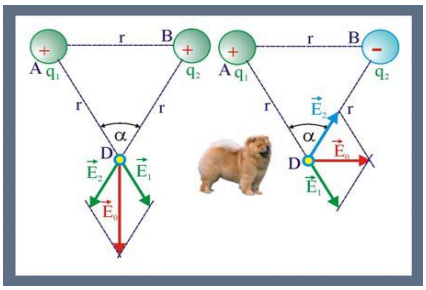
II. *Опрос фундаментальный:* 1. Электрическое поле. 2. Напряженность электрического поля.

Задачи:

1. Два точечных заряда 1 мкКл и –1 мкКл находятся на расстоянии 0,2 м друг от друга. Найти модуль и направление напряженности поля в точке, находящейся на середине прямой, соединяющей заряды (электрический диполь).

2. Заряды по 0,1 мкКл расположены на расстоянии 6 см друг от друга. Найти напряженность электростатического поля в точке, удаленной на 5 см от каждого из зарядов. Решить задачу для случаев: а) оба заряда положительные; б) один заряд положительный, а другой отрицательный.

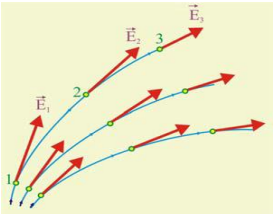
Напряженность поля на перпендикуляре к оси диполя: $E = \dfrac{k \cdot q \cdot \ell}{r^3}$.



3. Два заряда, один из которых по модулю в 4 раза больше другого, расположены на расстоянии 6 см друг от друга. В какой точке поля напряженность равна нулю, если заряды одноименные; разноименные?

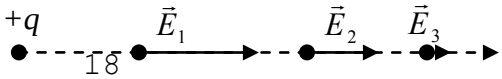
Вопросы:

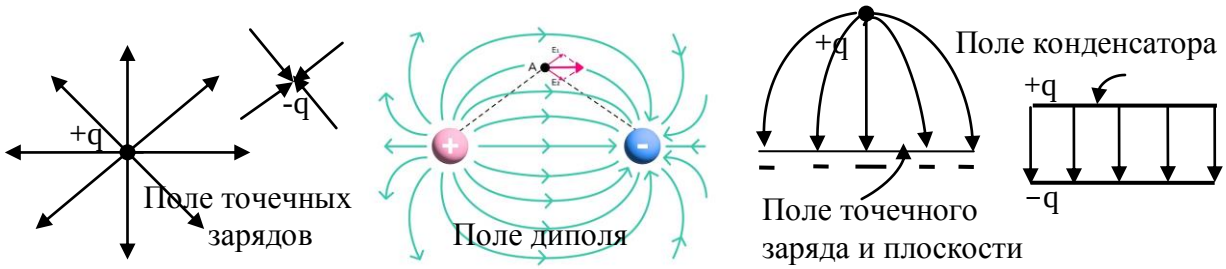
1. Как можно обнаружить электрическое поле?
2. Напряженность электрического поля точечного заряда на расстоянии r от него 400 В/м. Определите напряженность поля на расстоянии в два раза большем от заряда.
3. В каком случае напряженность электрического поля в какой-либо точке и сила, действующая на точечный заряд в той же точке, будут направлены в противоположные стороны?
4. Два одинаковых по величине точечных заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряженность электрического поля в точке, лежащей посредине между ними, больше: если эти заряды разноименные или одноименные?
5. В чем заключается различие между полем и веществом?
6. Как изменится напряженность электрического поля в данной точке, если увеличить пробный заряд в двое?
7. Объясните, почему диполь втягивается в область, где напряженность электрического поля больше.
8. Что первично: электрическое поле или напряженность электрического поля?
9. Что общего и в чем различие между гравитационным взаимодействием и электростатическим?
10. Как зависит движение тела под действием электрической силы от массы тела? Почему движение тела под действием силы тяжести не зависит от массы тела?



III. Поле точечного заряда. **Силовая линия** – наглядный способ изображения электрических полей.

Силовой линией (линией напряженности) электрического поля называется непрерывная линия, касательная, в каждой точке которой совпадает с направлением вектора напряженности в этой точке.



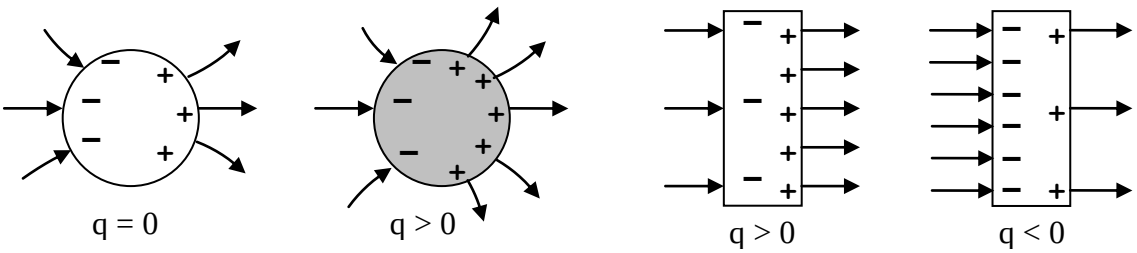


Линии напряженности вокруг точечных зарядов, вокруг двух разноименных зарядов. Последняя конфигурация называется диполем. Если величину каждого точечного заряда увеличить вдвое, то линии нужно проводить в два раза гуще.

Демонстрация спектров электрических полей: поле точечного заряда, поле двух точечных разноименных зарядов (поле диполя), поле плоскости, поле точечного заряда и плоскости, поле двух разноименно заряженных плоскостей (конденсатор). **Однородным называют такое электрическое поле, в каждой точке которого вектор напряженности одинаков по величине и направлению. Конденсатор** предназначен для получения однородного электрического поля.

Выводы:

- **Источниками линий напряженности электрического поля являются электрические заряды.**
- **Линии напряженности указывают направление силы, действующей на положительный пробный заряд в данной точке.**
- **Густота линий вблизи некоторой точки позволяет судить о модуле напряженности электрического поля вблизи данной точки (густота (напряженность) = N/S).**
- **Линии электростатического поля могут начинаться только на положительных зарядах и оканчиваться только на отрицательных или уходить на бесконечность.**
- **Линии напряженности нигде не пересекаются, в противном случае напряженность поля в данной точке была бы бесконечно большой. Через данную точку**



пространства может проходить только одна силовая линия, так как напряжённость электрического поля в этой точке задаётся однозначно.

Поэтому, если внутри некоторого объема нет электрических зарядов, то полное число линий поля выходящих из объема, должно быть равно полному числу линий входящих в объем. Как заряжены тела на рисунке?

Источниками электрического поля являются электрические заряды!

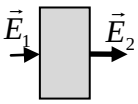
Физика по своей сути является интуитивной и конкретной наукой.
Альберт Эйнштейн.

IV. *Задачи:*

1. В однородном электрическом поле в вакууме находится пылинка массой $40 \cdot 10^{-11}$ кг, обладающая зарядом $-1{,}6 \cdot 10^{-11}$ Кл. Какой должна быть по модулю и направлению напряженность поля, чтобы пылинка оставалась в покое?
2. Шарик массой 10 г имеет заряд 5 мкКл. С каким ускорением он движется под действием однородного электрического поля с напряженностью 30 кН/Кл, направленного вертикально вниз?
3. Электрон движется в направлении однородного электрического поля с напряженностью 120 Н/Кл. Какое расстояние пролетит электрон до полной потери скорости, если его начальная скорость 1000 км/с? За какое время будет пройдено это расстояние? Поместите электрон в электрическое поле — и сможете ускорять или замедлять его движение.
4. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити и помещен в однородное электрическое поле напряженностью 10^6 Н/Кл, направленное горизонтально. На какой угол отклонится нить от вертикали, если заряд шарика 10^{-8} Кл? Как измерить электрическую силу?
5. В однородном электрическом поле с напряженностью 1 кВ/м, направленной под углом 30^0 к вертикали, висит на нити шарик массой 2 г, имеющий заряд 10 мкКл. Определите силу натяжения нити.

Вопросы:

1. Если на рисунке заряд пластинки q, напряженность электрического поля слева от пластинки E_1, справа E_2, то какая сила действует на пластинку?



V. § 40. Упр. 8, № 1.

1. Как расположить три одинаковых заряда, чтобы в некоторой точке напряженность электрического поля была равна нулю?
2. Нарисовать картину линий поля между двумя точечными зарядами $2q$ и $-q$.

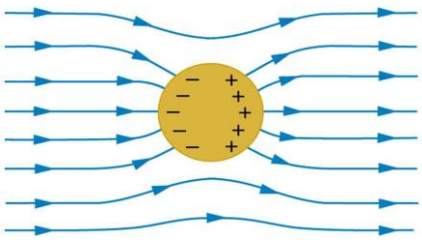
Учение о природе будет содержать науку в собственном смысле лишь в той мере, в какой может быть применена в ней математика.

И. Кант

Урок

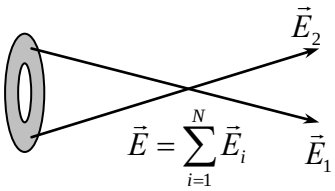
ТЕОРЕМА ГАУССА

Вчера я позвонил знакомому математику и спросил, как доказать теорему Гаусса, но, честно говоря, я его не понял...



У теоремы Гаусса есть два доказательства. Одно для чайников, другое для студентов!

Как определить **напряженность** электрического поля, создаваемого произвольным распределением заряда? Вычислить эту сумму сложно, за исключением самых простых случаев. В ряде случаев напряженность электрического поля, создаваемого данным распределением зарядов, можно рассчитать, пользуясь **теоремой Гаусса.**



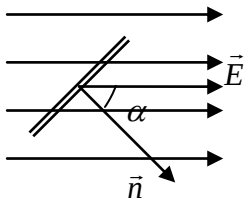
Поток напряженности электрического поля (Φ_E) - свойство электрического поля пронизывать тела, измеряемое скалярным

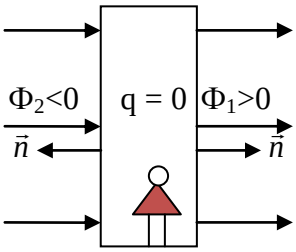
произведением напряженности электрического поля и площади контура, ограничивающего тело.

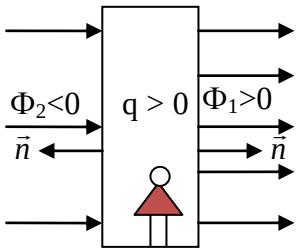
Как говорят американцы, нужно знать, что такое скалярное произведение, иначе будет очень плохо.

Цитаты преподавателей МФТИ

$$\Phi = E\,S\cos\alpha$$



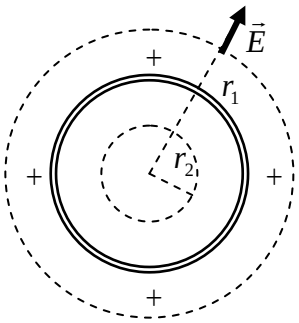




$$\Phi_1 - \Phi_2 = \Phi = 0 \qquad\qquad \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi > 0$$

Закон Гаусса: Полный поток, проходящий через поверхность, пропорционален электрическому заряду, находящемуся внутри поверхности (на примере точечного заряда):

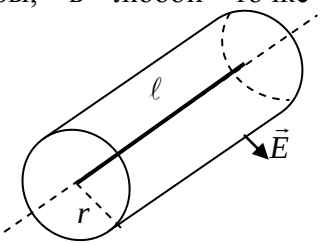
$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$



Примеры: 1. **Сферическая оболочка** (три измерения).

$$E \cdot 4\,\pi r_1^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \quad \rightarrow E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}; \quad E \cdot 4 \cdot \pi r_2^2 = 0 \rightarrow E = 0$$

Сфера ведет себя так, как будто весь ее заряд сосредоточен в центре (при r ≥ R). Электрическое поле, порождаемое сферически-симметричным распределением заряда сферы, в любой точке пространства направлено вдоль луча от центра сферы и в равноудаленных точках имеет одинаковую напряженность.



2. Длинный равномерно заряженный проводник. λ – линейная плотность заряда (двухмерное пространство).

$E \cdot 2 \cdot \pi r\ell = \dfrac{\lambda l}{\varepsilon_0} \rightarrow E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$. Используя теорему Гаусса, получите формулу для напряженности электрического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости и поля равномерно заряженного бесконечного цилиндра.

Задачи:

1. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая труба радиусом 2 см равномерно заряжена с поверхностной плотностью 1 нКл/м^2 . Определить напряженность поля в точках, отстоящих от оси трубы на расстояниях 1 см и 3 см. $E_1 = 0$, $E_2 = 151$ В/м.
2. Заряд q равномерно распределен по объему шара радиуса R из непроводящего материала. Найти напряженность поля на расстоянии r от центра; построить график зависимости E от r.

Вопрос: Внутри полого металлического шара находится заряд Q_1. Будет ли действовать электрическая сила на точечный заряд Q_2, находящийся вне шара?

Знает каждый на Земле,
Сила поля – q на E!

Явление индукции обладает наибольшей общностью в электрическом действии. Оно образует заряд во всех обычных, а вероятно и во всех вообще случаях; оно, по-видимому, является причиной каждого возбуждения и предшествует каждому току.

М. Фарадей

Урок 6. ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ.

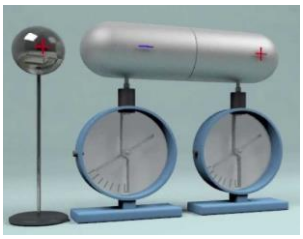
Возможно ли с помощью заряженного тела, не меняя его заряда, зарядить другое тело?

Цель урока: Ввести понятие "проводник". Дать представление об электростатической индукции и применениях этого явления.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: электрометр, высоковольтный выпрямитель, проекционный аппарат ФОС-67, прибор для наблюдения спектров электрических полей, кондуктор конусообразный, штативы изолирующие, диафильм "Статическое электричество", кулонометр, кондукторы на изолирующих подставках.

План урока:

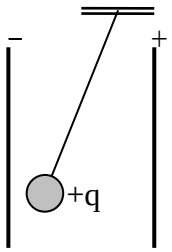


1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

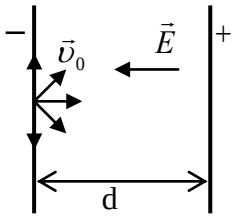
II. *Опрос фундаментальный:* Линии напряженности электрического поля.

Задачи:

1. Маленький шарик с зарядом q и массой m, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом жесткости k, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Какова напряженность поля между обкладками конденсатора, если удлинение нити Δl?



2. На невесомом стержне длиной ℓ висит маленький шарик массой m с зарядом q. На короткое время t включается постоянное однородное горизонтальное электрическое поле с напряженностью E. Найти максимальный угол отклонения стержня от вертикали.
3. Из точки одной пластины вылетают во всех направлениях электроны с одинаковыми по величине начальными скоростями υ_0. Они разгоняются электрическим полем E в зазоре ширины d до второй пластины. Найдите на ней радиус круга R, в который попадают электроны. Заряд электрона - e, его масса m.



4. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно плоскости пластин со скоростью $3\cdot10^6$ м/с. Найдите напряженность поля в конденсаторе, если

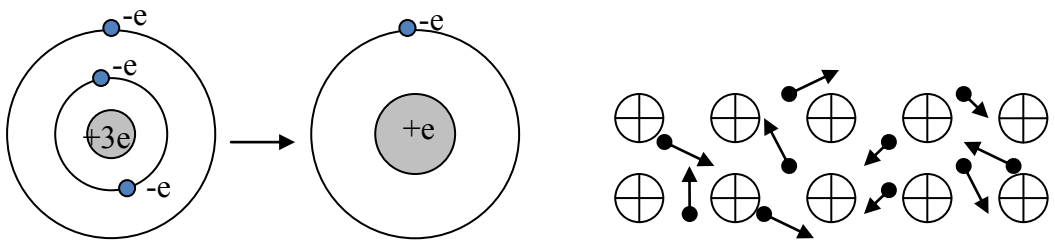
электрон вылетает под углом 30^0 к пластинам. Длина пластин 20 см.

5. По тонкому кольцу радиуса R равномерно распределен заряд q. Определите напряженность электрического поля в точке на оси кольца на расстоянии α от его центра. Задачу решить самому.
6. Два точечных положительных заряда $q_1 = q_2 = q$ находятся в воздухе на расстоянии 5 см друг от друга. Найти на оси симметрии этих зарядов точку, в которой напряженность электрического поля максимальна (производная).

Вопросы:

1. Чему равна напряженность поля в центре равномерно заряженного проволочного кольца, имеющего форму окружности?
2. Будет ля устойчивым равновесие точечного заряда, находящегося посредине между двумя одинаковыми точечными зарядами?
3. Электрическое поле – ветер, электрон – парусная лодка. В чем недостаток такой аналогии?
4. Каков характер движения заряженной пылинки в поле точечного заряда при условии отсутствия трения? Весом пылинки пренебречь.
5. Объясните, почему силовые линии электрического поля не пересекаются?
6. Правильно ли утверждение, что силовая линия электрического поля – это траектория движения положительного заряда в этом поле? Нет, не верно.
7. Изобразите на рисунке картину электрического поля плоского заряженного конденсатора, у которого обкладки не параллельны друг другу.

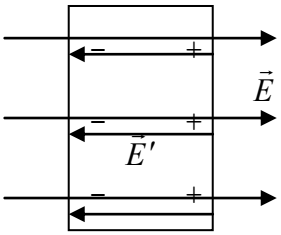
III. Почему на заряженный шарик, окруженный металлической сеткой, не действует электрическое поле? Почему внутри проводника нет электростатического поля? Проводники электрического тока: металла, электролиты. Внутреннее строение металла (литий). Нейтральность атома. Атомы лития теперь широко используется для лечения депрессии!



Металлический пар не проводит электрический ток! Объединение нейтральных атомов металла в кусок. Дополнительное взаимодействие атомов металла в конденсированном состоянии и образование свободных электронов. **Электронный газ:** $\overline{\upsilon}_{кв} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_e}}$.

Свободные электроны движутся хаотически по всему металлу. Почему электронный газ не вылетает из металла наружу? Металл электрически нейтрален, поэтому в среднем, в окрестности каждого иона находится один электрон. Электрон в твердом теле находится ближе к ядру, чем в изолированном атоме, поэтому его энергия меньше. Чтобы удалить электрон из твердого тела, нужно затратить энергию, равную разности между энергией электрона в твердом теле и энергией электрона в изолированном атоме.

Почему внешнее электростатическое поле не проникает внутрь проводника (объяснение по рисунку на доске)?



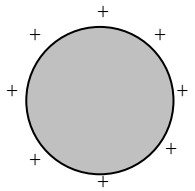
$$\vec{E} + \vec{E}' = 0$$

Электростатическое поле внутри уединенного проводника равно нулю!

С какой целью клетка Фарадея используется в магнитно-резонансном томографе? А почему внутри проводника с током электрическое поле не равно нулю?

Электростатическая индукция – наведение электрических зарядов в проводнике, помещенном в электростатическое поле.

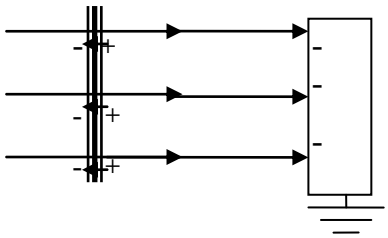
Дополнительный материал. Сравнив размеры и массу электрона с его электрическим зарядом, мы видим, что в ничтожном объеме (если он есть) «сконцентрирована» малая масса и сравнительно большой электрический заряд. Благодаря этому электрон исключительно «маневрен» - он может двигаться с огромной скоростью и совершать миллиарды колебаний в секунду. Демонстрация с двумя кондукторами, соединенными проводником. Можно ли сообщить заряд электрометру, не прикасаясь к нему наэлектризованной палочкой? Демонстрация. Почему электростатическое поле внутри проводника равно нулю? Где это явление используется на практике? *Примеры:* "клетка Фарадея" (демонстрация), микрофонный провод в металлической оплетке, алюминиевые колпачки на электронных лампах, окружение пороховых складов со всех сторон металлической сеткой. Во время урагана с молниями безопасно находиться внутри автомобиля не потому, что резиновые покрышки изолируют вас от земли, а еще и потому, что если молния ударит в машину, то заряды не смогут попасть внутрь.



Если проводнику сообщен электрический заряд, то где он сосредоточен? Почему электрический заряд внутри проводника должен быть равен нулю?

На стержни одинаковых электрометров наденем полые сферические конденсаторы. Заряженным металлическим шариком прикоснемся к поверхности одной из сфер, потом к другой. Весь ли электрический заряд передал шарик первой сфере? Чтобы шарик полностью передал свой заряд электрометру, прикоснемся к стенке сферы изнутри (демонстрация).

Дополнительный материал. Экранирование поля точечного заряда заземленной металлической плоскостью (демонстрация). Продемонстрировать, что изолированный металлический лист не экранирует внешнее электрическое поле, а заземленный - экранирует. Почему? **Передача электрического заряда** от проводника к проводнику (рисунок). Демонстрация деления электрического заряда на две части и на две равные части.



IV. *Задачи:*

1. Какой угол α с вертикалью составит нить, на которой подвешен шарик массой 25 мг, имеющий заряд 0,7 мкКл, если его поместить в горизонтальное однородное электрическое поле с напряженностью 35 Н/Кл?
2. В однородном электрическом поле в вакууме находится пылинка массой $4 \cdot 10^{-7}$ г, обладающая отрицательным зарядом -0,016 нКл. Какой должна быть по модулю и направлению напряженность электрического поля, чтобы пылинка оставалась в покое?

3. Стальной шарик радиуса R = 1 см находится в воздухе над стальной плитой на высоте h = 10 см. Заряд шарика q = +1 нКл. Какова сила взаимодействия шарика с плоскостью, если она не заряжена?

Вопросы:

1. Для того чтобы зерна бездымного пороха не "прилипали" при контакте к предметам, их поверхность покрывают графитом. Почему?
2. Почему проводники для опытов по электростатике делают полыми?
3. Почему легкая незаряженная металлическая гильза всегда притягивается к телу, заряженному любим по знаку зарядом?
4. Заряжается ли антенна, когда над ней проходит грозовая туча?
5. Зарядится ли нейтральный проводник при внесении его во внешнее электрическое поле?
6. Как будет двигаться заряженная частица, если её поместить внутрь «клетки» Фарадея?
7. Два одноименно заряженных металлических шара одинакового размера приводят в соприкосновение. Один из них полый. Как распределятся заряды на обоих шарах?
8. Возможно ли с помощью заряженного тела, не меняя его заряда, зарядить два других тела?

V. § 41.

1. Поле нельзя потрогать, понюхать или стукнуть, потому что оно не переносит вещество, а переносит только действие. Так ли это?
2. Перечислите и опишите действия (используемые материалы и методику), при которых маленький металлический шар зарядится положительно без прикосновения к заряженному телу.
3. Предложите способ измерения напряженности электрического поля Земли.

...электрический флюид распространяется во всех телах в соответствии с их формой.

Шарль Кулон

Урок 7. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРОВОДЯЩЕГО ШАРА И БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛОСКОСТИ

Цель урока: Применить теорему Гаусса для определения напряженности поля равномерно заряженной сферы (проводящего шара) и бесконечной плоскости.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: электрометр и принадлежности к нему, электростатический маятник, высоковольтный выпрямитель.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* Проводники в электростатическом поле.

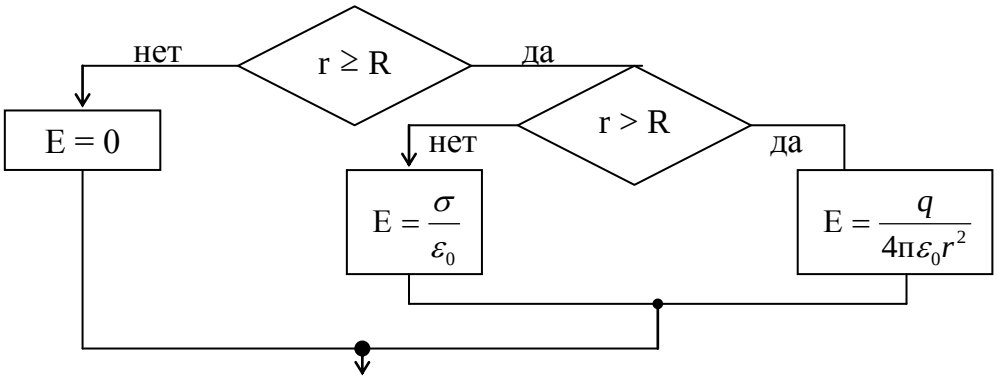
Задачи:

1. Капля воды радиусом 0,02 мм неподвижно взвешена в воздухе. Если напряженность электрического поля у поверхности Земли равна 100 Н/Кл, то, сколько избыточных электронов на этой капле?
2. Точечный положительный заряд величиной 2 мкКл помещён между двумя протяжёнными пластинами, равномерно заряженными разноимёнными зарядами. Модуль напряжённости электрического поля, создаваемого положительно заряженной пластиной, равен 10^3 кВ/м, а поля, создаваемого отрицательно заряженной пластиной, в 2 раза больше. Определите модуль электрической силы, которая будет действовать на указанный точечный заряд.
3. Тонкий стержень равномерно заряжен зарядом 0,33 нКл и согнут в виде окружности радиусом 0,5 м так, что между концами остался воздушный зазор 0,02 м. Определите напряженность электрического поля в центре окружности.
4. На расстоянии h от заземленной проводящей бесконечной плоскости находится точечный заряд $+q$. Определить напряженность поля в точке A, отстоящей от плоскости и от заряда на расстоянии h.

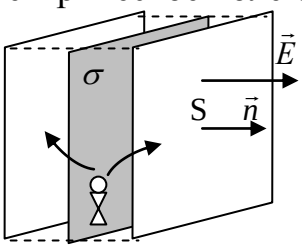
Вопросы:

1. Электроскоп, стоящий вблизи действующей электрофорной машины, заряжается. Почему? Как устранить действие машины на электроскоп?
2. Два заряженных металлических шара одинакового диаметра приводят в соприкосновение. Один из шаров полый. Поровну ли распределятся заряды на шарах?
3. Как объяснить, почему заряды каждого знака, индуцированные на нейтральном проводнике поднесенным к нему зарядом +q, всегда меньше q?
4. Каким способом заряженный проводник может отдать весь свой заряд другому изолированному проводнику?
5. В каком случае заряженная частица в электрическом поле движется вдоль силовой линии?
6. Почему вектор напряженности электрического поля вблизи поверхности проводника перпендикулярен его поверхности?
7. Что произойдет, если заряженную непроводящую сферу близко поднести к незаряженной проводящей сфере того же радиуса?
8. К металлическому шарику, установленному на электроскопе, одновременно прикасаются наэлектризованной эбонитовой палочкой и рукой. Затем отнимают сначала руку, а потом палочку. Какой знак заряда получит электроскоп?
9. Как будет действовать наэлектризованная палочка на магнитную стрелку?

III. Электрическое поле внутри заряженного проводящего шара, на некотором

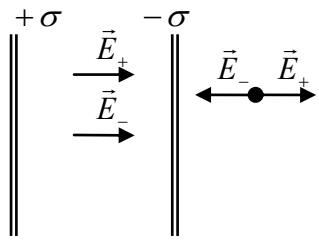


расстоянии от его поверхности, на поверхности шара (демонстрация спектров). Алгоритм определения напряженности поля шара (равномерно заряженной сферы). Частный случай для $r = R$. Поверхностная плотность заряда (по аналогии с поверхностной плотностью песка) и определение заряда равномерно заряженной сферы: $q = \sigma \cdot S$. Формула для определения напряженности поля на поверхности заряженного проводящего шара: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$. Электрическое поле на поверхности и внутри тонкой **проводящей пластины**. Однородное электрическое поле бесконечной **равномерно заряженной плоскости**.



$$2 \cdot ES = \frac{q}{\varepsilon_0} \rightarrow \quad E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}.$$

Поле двух плоскостей с равной поверхностной плотностью заряда, но с зарядами противоположного знака. Как направлено поле? Чему равна напряженность поля между пластинами и за пределами пластин? В опыте показать, что равномерно заряженная плоскость создает электрическое поле по обе стороны от нее, а две параллельно установленные плоскости, несущие равные заряды противоположных знаков, создают электрическое поле в пространстве между ними: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$. Мы научились рассчитывать напряженность поля в простых случаях.



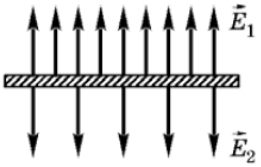
Как быть, если заряд распределен в пространстве произвольно?

IV. *Задачи:*

1. К гладкой бесконечной плоскости, расположенной вертикально в поле тяжести Земли и имеющей поверхностную плотность заряда σ прикреплен на нити одноименно заряженный шарик массы m и зарядом q. Найти силу натяжения нити и угол ее отклонения от вертикали.
2. Электрический заряд Земли 570 кКл. Какова напряженность поля на ее поверхности?

   Что будет, если Земля полностью разрядится?
   — Мы все умрем.
   — Да мы и так все умрем...

3. Какой заряд должна была бы иметь Земля, чтобы ковер-самолет с зарядом 1 Кл и массой 1 т парил над нею? Радиус Земли 6400 км.
4. Две бесконечные параллельные плоскости несут равномерно распределенные по ним электрические заряды с поверхностной плотностью $\sigma = 0{,}4\cdot10^{-7}$ Кл/м^2 и $\sigma = -\,0{,}4\cdot10^{-7}$ Кл/м^2. Определить напряженность поля между пластинами и вне пластин, а также электрическое давление на каждую плоскость.
5. Заряд равномерно заряженной металлической пластины q = 10^{-7} Кл. Пластина находится в однородном электрическом поле, которое перпендикулярно пластине. Результирующая напряженность поля над пластиной $5\cdot10^5$ В/м, под пластиной $2\cdot10^5$ В/м. Определите массу пластины, если она неподвижна в электрическом поле и поле силы тяжести. 3,5 г



Вопросы:

1. Всегда ли поверхностная плотность заряда у поверхности проводящего шара во всех точках одинакова?
2. Почему сближаются листочки заряженного электроскопа, если к его шарику поднести руку?
3. На расстоянии d от большой проводящей плоскости находится точечный заряд q. С какой силой на него действует пластина?
4. Заряженный проводник, взятый в виде листа, свернули в цилиндр. Изменилась ли напряженность электрического поля у поверхности проводника?
5. Как известно, заряженный шарик притягивает бумажку. Как изменится сила притяжения, если окружить металлической сферой заряженный шарик; бумажку?
6. В полость проводящего шара помещен точечный заряд q. Изобразите силовые линии поля в полости и вне шара. Чему равна напряженность поля в полости; в веществе шара; на поверхности шара?
7. Как распределяется электрический заряд в проводящем шаре с полостью?
8. На столе, на изоляторе, стоит заряженный электрометр. Чтобы разрядить прибор, ученик коснулся рукой его шарика и увидел, что стрелка отклонилась на больший угол, вместо того, чтобы приблизиться к стрежню. Объясните явление.
9. Известно, что внесение незаряженного проводника в электростатическое поле, искажает его. Объясните явление.
10. Как изменится напряженность электростатического поля внутри заряженного проводника, если его поместить во внешнее электростатическое поле?
11. Изменится ли сила, действующая на заряды, если между ними поместить

незаряженный металлический шарик? Рассмотреть разные случаи: заряды одноименные или разноименные, положение шарика.

12. Электрический диполь помещен возле проводящей пластины. В каком направлении он будет двигаться? Весом диполя пренебречь.
13. Напряженность электрического поля у поверхности Земли около 100 Н/Кл. Какому суммарному заряду планеты это соответствует?

V. § 42.

1. Составить обобщающую таблицу "Напряженность электрического поля", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Прав ли Джероламо Кардано, который утверждал: «Янтарь не притягивает к себе соломинку, когда что-либо их разделяет, притяжение железа к магниту не испытывает аналогичных помех»?
3. Почему человек не чувствует электрического поля Земли?
4. Если выступающий из заряженного корпуса электрометра конец стрежня накрыть металлическим стаканом с изолирующей ручкой, поставив его на корпус прибора, стрелка электрометра опадет. Почему?
5. Над ровными участками поверхности Земли имеется электрическое поле с напряженностью 100 В/м. Оцените заряд вашего тела, если вы лежите на пляже?
6. Известно, что вблизи поверхности Земли существует электростатического поле напряженностью порядка 100 Н/Кл. Предложите эксперименты для измерения этого поля.
7. Поставьте электрометр на изолятор и зарядите его. Затем сообщите того же знака заряд корпусу электрометра, пока стрелка не придет в нулевое положение. Что произойдет, если коснуться рукой стержня электрометра? Почему? А если затем коснуться корпуса электрометра? Можно ли таким образом полностью разрядить электрометр?
8. Нарисовать картину силовых линий поля между двумя точечными зарядами $+2q$ и $-q$.

В диэлектрике, находящемся под действием электродвижущей силы, мы можем представлять, что электричество в каждой молекуле так смещено, что одна сторона молекулы делается положительно наэлектризованной, а другая – отрицательно.

Максвелл

Урок 8. ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Почему мокрая бумага рвется легче, чем сухая.

Цель урока: Познакомить учащихся с двумя видами диэлектриков, некоторыми из их свойств и дать представление об их поведении во внешнем электростатическом поле.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: электрометр, высоковольтный выпрямитель, диэлектрическая пластина. Диафильм "Статическое электричество".

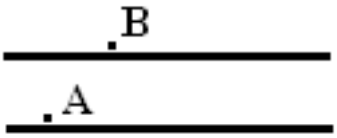
План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Напряженность электростатического поля заряженного проводящего шара. 2. Напряженность электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости.

Задачи:

1. Точечный заряд $q = 3\cdot10^{-8}$ Кл находится на расстоянии a = 3 см от металлической стенки, отведенной к земле. Найти поверхностную плотность индуцированного заряда на стенке: а) в точке ближайшей к заряду; б) в точке, находящейся на расстоянии r = 5 см от заряда. $\sigma_1 = -5{,}3\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; $\sigma_2 = -1{,}1\cdot10^{-6}$ Кл/м^2
2. Оцените среднюю плотность электрических зарядов в земной атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля на поверхности Земли равна 100 В/м, а на высоте 1,5 км – 25 В/м. $\rho = -4{,}4\ 10^{-13}$ Кл/м^3
3. Равномерно заряженные пластины находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Найти плотность заряда на каждой пластине, зная, что E_A = 3000 В/м и E_B = 1000 В/м. Точки А и В лежат вблизи пластин. $\sigma_1 = 3{,}6\ 10^{-8}$ Кл/м^2; $\sigma_2 = -1{,}8\ 10^{-8}$ Кл/м^2



4. Какая доля электронов должна уйти из приповерхностного слоя меди толщиной $5\cdot10^{-10}$ м, чтобы экранировать перпендикулярное поверхности внешнее электрическое поле напряженностью $3\cdot10^{6}$ Н/Кл?

Вопросы:

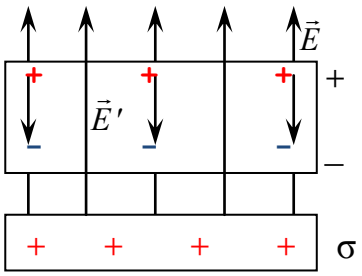
1. На электроскопе имеется небольшой электрический заряд. Если к шарику электроскопа приближать сильно наэлектризованную палочку, несущую большой отрицательный заряд, то листочки будут сначала опадать, а потом опять расходится. Как это можно объяснить?
2. Два одинаково заряженных проводящих шара помещены на некотором расстоянии друг от друга. С одинаковой ли силой они взаимодействуют, если их заряды одноименные, или если их заряды разноименные?
3. Внутри металлической незаряженной сферы находится точечный заряд q, смещенный от центра сферы. Как будет выглядеть картина силовых линий электрического поля внутри и вне сферы?
4. Человек, стоя на изолирующей подставке, прикасается к заряженному изолированному проводнику. Полностью ли разрядится при этом проводник?
5. Почему стрелка электрометра отклоняется, если его корпусу сообщить электрический заряд? Будет ли отклоняться стрелка, если стержень электрометра не будет заземлен? Если на стержень электрометра надеть полый металлический шар?
6. Одной из характеристик писчей бумаги является ее плотность σ, для

измерения которой используют внесистемную единицу г/м^2. Какое давление оказывает на стол лист бумаги плотностью σ?

7. Могут ли два одноименно заряженных тела притягиваться друг к другу?
8. Как защитить работников лаборатории, в которой экспериментируют с большими электростатическими зарядами, от действия электрического поля этих зарядов?
9. Можно ли с помощью одного заряженного тела зарядить другое тело так, чтобы его заряд был больше заряда первого тела?

III. Диэлектрики – вещества, плохо проводящие электрический ток.

Примеры диэлектриков*:* дистиллированная вода, инертные газы, слюда, парафин, бумага.



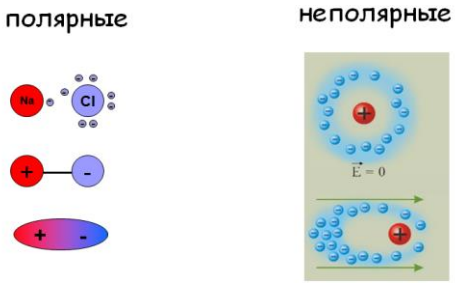
Познакомимся с некоторыми из электрических свойств диэлектриков. Опыты с электрометром (ослабление внешнего поля диэлектриком). Объяснение по рисунку:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0};\ E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0};\ E_Д = E - E'. \quad \vec{E}_Д = \frac{\vec{E}}{\varepsilon}$$

Электростатическое поле внутри диэлектрика (термин введен Фарадеем для обозначения веществ, в которые проникает электрическое поле).

Диэлектрическая проницаемость среды (реакция на электрическое поле).

Примеры: ε_{H_2O}= 81, $\varepsilon_{кер}$ = 2.



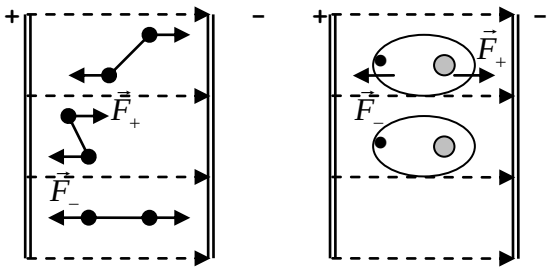
Частичная поляризация диэлектрика. Можно ли, как и в опыте с проводниками, "снять" электрический заряд с поверхности диэлектрика, прикоснувшись к нему рукой? Можно ли зарядить эбонитовую палочку, прикоснувшись ею к борну высоковольтного выпрямителя?

Неполярные диэлектрики. Внутреннее строение диэлектрика на примере газообразного водорода. Центры распределения положительного и отрицательного заряда в атоме водорода совпадают.

Полярные диэлектрики. Молекула воды (электрический диполь).

Она состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода и напоминает голову Микки Мауса: крупный атом кислорода - голова, а более мелкие атомы водорода сверху - уши. Атом кислорода заряжается положительно, а водород положительно. В мире атомов тот, у кого меньше протонов, всегда слабее. Вода – растворитель! **Дипольный момент: *p = qℓ*.**

Дополнительная информация. Молекула со значительным разделением зарядов становится очень «контактной»: если две такие молекулы окажутся рядом, сила электростатического притяжения обязательно их соединит. Поэтому молекулы воды чрезвычайно «липучи». Одна молекула присоединяется к другой и т. д., образуя бесконечную сеть сильных взаимных



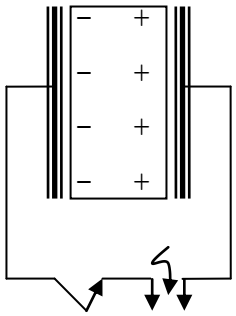
связей. Подобно магниту, молекула воды «приклеивается» к микроскопическим частицам грязи и убирает их. Вот почему вода является таким отличным чистящим средством! Почему разогреваются продукты в микроволновке?

Диэлектрики во внешнем электростатическом поле (демонстрация модели электрического диполя). Силы, действующие на диполь в однородном электрическом поле. **Момент сил:** $M = qE\ell\sin\alpha$. **Поляризация диэлектриков.** Поляризацией диэлектрика называется процесс ориентации диполей или появления под воздействием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей. Различают три вида поляризации:

- **Электронная** – поляризация неполярных молекул диэлектрика;
- **Ориентационная (дипольная)** - поляризация диэлектрика с полярными молекулами, заключающаяся в ориентации дипольных молекул по полю;
- **Ионная** – поляризация ионных диэлектриков, приводящая к деформации кристаллической решетки и образованию диполей.

Полной ориентации диполей препятствует тепловое движение молекул диэлектрика. Чем больше напряженность внешнего поля, тем сильнее поворот диполей (поляризация), поэтому диэлектрическая проницаемость вещества остается неизменной. При низких температурах она должна возрастать?! Но возрастает и вязкость диэлектрика!

Дополнительный материал: В 1880 г. Пьер и его брат Поль Жак показали, что при сжатии некоторые кристаллы производят электричество. Это явление называется теперь пьезоэлектрическим эффектом. В их опытах использовались кристаллы турмалина, кварца и топаза. Когда часть диэлектрика получает избыточный заряд, он остается в том же месте, а не распределяется по всему объекту. В 1881 г. братья Кюри нашли обратный эффект: в электрическом поле некоторые кристаллы деформировались. И хотя деформация была мала, это явление нашло позже применение в пьезоизлучателях и детекторах звука, а также для фокусировки оптических компонентов. Пьезоэлектрическая печатная головка в принтере. **Пьезоэлектрический эффект** - поляризация диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). **Обратный пьезоэлектрический эффект** - возникновение механических деформаций под действием электрического поля. **Электреты** (титанит кальция, тонкие полимерные пленки лавсана, фторопласта, поликарбоната) - аналог магнита. Сегнетоэлектрики. Почему электреты из сегнетоэлектрика обладают малым временем жизни? Как получают электреты? Электретный материал помещают между электродами, нагревают, выдерживают под напряжением 10 – 20 кВ, не снимая напряжения, охлаждают, потом снимают напряжение и извлекают электрет. Обоснуйте данную технологию получения электрета. Предложите другие способы получения электретов. Микрофон на электретах (закороченный электрет), газовая «щелкающая» зажигалка и прибор, вызывающий электрошок.



Пробой диэлектрика (вещество и пробивная напряженность поля): воздух ($3\cdot10^6$ Н/Кл), трансформаторное масло ($18\cdot10^6$ Н/Кл), парафин ($30\cdot10^6$ Н/Кл), слюда ($200\cdot10^6$ Н/Кл). Демонстрация электрического пробоя воздуха и оргстекла. Тепловой пробой (разогрев диэлектрика). У какого из материалов наилучшие изолирующие свойства?

IV. *Задачи:*

1. Какого размера должна быть проводящая сфера, чтобы удержать в воздушной среде заряд 1 Кл?
2. Стеклянная пластинка расположена перпендикулярно однородному электрическому полю напряженностью 10^4 Н/Кл. Найти напряженность поля

в пластинке, а также плотность связанных зарядов, возникающих на поверхностях пластинки.

3. Металлический шар диаметром 4 см погружен в парафин. Поверхностная плотность заряда на шаре $0{,}8 \cdot 10^{-5}$ Кл/м^2. Какова напряженность поля в парафине на расстоянии 20 см от поверхности шара?
4. Определить диэлектрическую проницаемость трансформаторного масла, если два одинаковых электрических заряда в вакууме взаимодействуют на расстоянии 0,2 м с той же силой, что и в масле на расстоянии 0,14 м.

Вопросы:

1. Почему крупицы манки (диэлектрические стрелки) ориентируются вдоль силовых линий электрического поля?
2. Какой должна быть структура молекулы двуокиси углерода, если известно, что она является неполярной?
3. Чем объяснить, что легкий бузиновый шарик, вначале приставший к наэлектризованной палочке, затем отталкивается от нее?
4. Наэлектризованный металлический шарик опустили на дно сухой стеклянной пробирки и поднесли ее к электроскопу. Разойдутся ли листочки электроскопа?
5. В результате пробоя твердого диэлектрика он оказывается непригодным к дальнейшему применению, а жидкие и газообразные диэлектрики могут подвергаться многократному испытанию на прочность. Почему?
6. Можно ли с помощью электризации через влияние получить два куска диэлектрика, наэлектризованных разноименно, если диэлектрик разрезать пополам?
7. Как ведет себя электрический диполь в неоднородном электрическом поле или почему заряженное тело притягивает мелкие кусочки бумаги?
8. Как изменится сила, действующая на разноименные заряды, если между ними поместить незаряженный 1) проводящий шар; 2) шар из диэлектрика?
9. Чем объяснить удаление пыли из воздуха с помощью постоянного электрического поля?
10. Когда обкладки плоского конденсатора не параллельны друг другу, то диэлектрик между ними будет перемещаться, если конденсатор зарядить? В какую сторону?
11. Как зависит диэлектрическая проницаемость газа от его давления?
12. Как именно происходит разделение электрических зарядов в грозовой туче?

V. § 43,44. Упр. 8, № 2, 5.

1. Составить обобщающую таблицу "Диэлектрик", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Одним из основных недостатков люстры Чижевского заключается в собирании большого количества пыли (копоти) на потолке и стенах вблизи люстры. Почему это происходит?

3. Объясните принцип работы электретного устройства для измерения вибраций, числа оборотов, датчика давления, генератора переменного тока. Предложите конструкцию прибора на электретах, с помощью которого можно управлять электронным пучком, измерять влажность воздуха, измерять электрический заряд.
4. За это турмалин называют «электрическим минералом»? Необычность его строения — в подвижности решетки. Если кристалл турмалина механически сдавить, ионы внутри него сместятся и на концах кристалла появятся электрические заряды. Если же кристалл растянуть -заряды поменяются местами. По количественным лабораторным исследованиям с турмалином известно, что при изменении его температуры всего на 1°С, в кристалле образуется электрическое поле напряженностью около 400 В/см. Так что для домашнего опыта подойдет как небольшой камень, так и небольшой скачок в температуре. Очень интересно.
5. Осуществите с помощью электрофорной машины (высоковольтного генератора) электрический пробой диэлектрика (стопки бумаги) и исследуете с помощью микроскопа (лупы) края полученных отверстий в средней части стопки. Какие выводы о токе в диэлектриках вы можете сделать?
6. Если воду в сосуде заземлить, то в вертикальном внешнем электрическом поле (например, электрическом поле Земли) капли, падающие (распыляемые) из него, будут нести электрический заряд (генератор заряженных капель). Докажите это и предложите проекты технического использования генератора заряженных капель (устройство Томсона).

...Согласно этому представлению электрический заряд обусловлен избытком частиц одного определенного знака, электрический ток обусловлен потоком этих частиц, а в весомых изоляторах имеет место "диэлектрическое смещение", если содержащиеся в них наэлектризованные частицы оказываются удаленными от своих положений равновесия.

Г. Лоренц

Урок 9.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Почему при чистке одежды щеткой к ней прилипают ворсинки и пыль?

Цель урока: Продолжить формирование умений решать задачи с использованием представлений об электрическом поле.

Тип урока: решение задач.

Оборудование: микрокалькулятор.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Диэлектрики в электростатическом поле. 2. Электреты и их применения. Как рассчитать напряженность поля?

Задачи:

1. Положительно заряженный шарик массой 0,18 г и плотностью вещества 2100 кг/м^3 находится в равновесии в жидком диэлектрике плотностью 900 кг/м^3. В диэлектрике создано однородное электрическое поле, напряженность которого равна по модулю 45 кН/Кл и направлена вертикально вверх. Найти заряд шарика.

2. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же?
3. Заряженный шарик погрузили в керосин. На каком расстоянии от шарика напряженность поля будет такая же, как была до погружения в керосин на расстоянии 30 см?
4. Определить радиус равномерно заряженного по объёму диэлектрического шара ($\varepsilon = 2$), если на расстояниях 2,5 см и 10 см от центра шара напряжённости электрического поля одинаковы.

III. *Задачи:*

1. Алюминиевый шарик массой $m = 5{,}4$ г и плотностью $\rho = 2{,}7$ г/см^3, несущий заряд $q = 0{,}1$ мкКл помещён в стеклянный сосуд с керосином, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 2$ и плотностью $\rho = 800$ кг/м^3. Определить значение внешнего вертикального электрического поля, при котором шарик будет оставаться в покое.

Вопросы:

1. Чем объясняется уменьшение напряженности электрического поля в диэлектрике (проводнике)?
2. Почему заряженное тело притягивает мелкие кусочки бумаги?
3. Отчего заканчиваются неудачей попытки "отвести" в землю заряд диэлектрика?
4. Положительный и отрицательный точечные заряды притягиваются друг к другу с силой F. Уменьшится ли эта сила, если поместить между зарядами стеклянный шар?
5. Будет ли электрон взаимодействовать с нейтральным атомом?
6. Почему электроны в изоляторах не могут легко перемещаться?
7. На что расходует энергию движущаяся в диэлектрической среде заряженная частица (аналогия с шариком, который катится по резиновой пленке)?
8. Почему при поляризации диэлектрик нагревается?

V. Повторить § 41-47.

1. Одинаково ли сильно притягиваются к наэлектризованной палочке бумажки на стекле и на металлической пластине?
2. Металлический заряженный шар окружен толстым сферическим слоем диэлектрика. Изобразите картину силовых линий внутри и вне диэлектрика. Почему электрическое поле изменяется на границе диэлектрика.
3. Когда хотят развинтить ржавый винт или болт, то его смачивают керосином. Зачем?
4. Сбор зарядов, переносимых молнией, происходит за тысячные доли секунды с миллиардов мелких, хорошо изолированных друг от друга частиц, расположенных в объёме нескольких км^3. Как это происходит?
5. Поляризация молекул, обеспечивающая вязкость воды, настолько велика, что вода тает и кипит при температурах на десятки и сотни градусов выше, чем другие химические

вещества с молекулами аналогичной величины и сложности. Так ли это?

6. Какова энергия диполя в однородном электрическом поле, если в положении равновесия она равна нулю?
7. По бесконечной пластинке из диэлектрика толщиной d равномерно распределен электрический заряд с объемной плотностью ρ. Определите напряженность электрического поля на расстоянии x от центра пластины. Диэлектрическая проницаемость ε.

В этом случае наш принцип требует, чтобы количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода…

Г. Гельмгольц

Урок 10. РАБОТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Какую энергию передает электрическое поле свободным зарядам в среде?

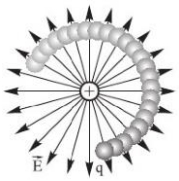
Цель урока: Познакомить учеников с одним из способов вычисления работы электростатического поля по перемещению заряда. Основываясь на аналогии с гравитационным полем, показать, что работа в потенциальных полях может быть определена по изменению потенциальной энергии тела.

Тип урока: урок – лекция.

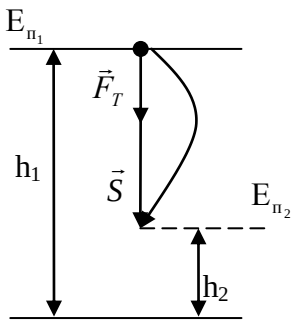
Оборудование: набор конденсаторов, высоковольтный выпрямитель, раздвижной конденсатор, изолирующие штативы, электростатический маятник.

План урока:

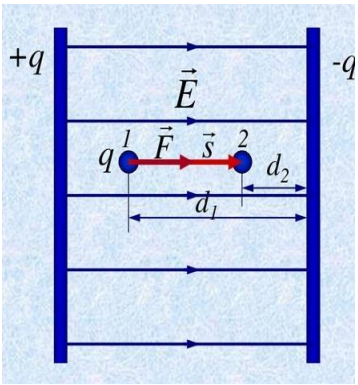
1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом



II. Понятие потенциального поля на примере гравитационного поля.



$A' = mg\ (h_1 - h_2)$ – работа поля не зависит от вида траектории, поэтому по замкнутому пути она равна нулю. **Гравитационное поле – потенциально, а сила тяжести - консервативная сила**: A' = $E_{П_1} - E_{П_2}$. По последней формуле работу поля рассчитать легче, если мы научимся определять потенциальную энергию тела в любой точке поля. Из сравнения двух формул для работы видно, что E_n в гравитационном поле Земли определяется формулой: $E_n = mgh$.

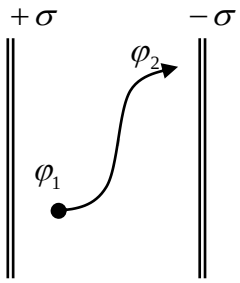


Электростатическое поле. Положительно заряженное тело в однородном электростатическом поле у положительно заряжен**ной обкладки. Сила, действующая на заряженное тело** (других полей нет): $\vec{F}_э = q\vec{E}$. Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела (аналогия с гравитационным полем): $A' = qE(d_1 - d_2)$. **Работа не зависит от вида траектории, а по замкнутому пути равна нулю. Электростатическое поле**

потенциально, а электрическая сила – консервативная сила.

Тогда $A' = E_{П_1} - E_{П_2}$. Из сравнения двух формул для работы видно, что потенциальная энергия заряда в однородном электростатическом поле определяется формулой: $W = qEd$. Потенциальная энергия заряженного тела в электростатическом поле. Как ее определить в любой точке поля?

Потенциал (φ) – энергетическое свойство данной точки электростатического поля, измеряемое отношением потенциальной энергии взаимодействия пробного заряда с полем к величине этого заряда (измеряемое отношением работы, совершаемой внешними силами по переносу пробного заряда из бесконечности в данную точку поля, к величине этого заряда).



$$\varphi = \frac{W}{q_0}.$$

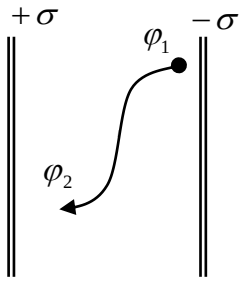
Поле задано, если известен потенциал каждой его точки!

Единица потенциала в Си: 1 В = $1\frac{Дж}{Кл}$.

Работа электростатического поля при перемещении заряженного тела: $W_1 = q\varphi_1$, $W_2 = q\varphi_2$. $A' = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$

Работа электрического поля показывает, какую энергию передает электрическое поле зарядам, перемещая их из одной точки в другую.

Электрическое напряжение (U) - свойство электростатического поля совершать работу, перемещая электрический заряд из одной точки поля в другую, измеряемое отношением произведенной работы к перенесенному заряду.



Энергию можно **запасать**, перемещая заряд против действия электрической силы. Работа внешних сил при перемещении заряженного тела в электростатическом поле: A = q·Δφ.

Изменение электрического потенциала между двумя точками электрического поля (цепи) называют разностью потенциалов.

Измерение разности потенциалов. Единица разности потенциалов в СИ: 1 В = 1 Дж/Кл. **Связь между разностью потенциалов и напряжением: U = –Δφ.**

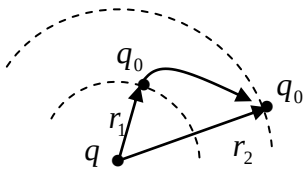
1 эВ = 1,6·10^{19} Дж.

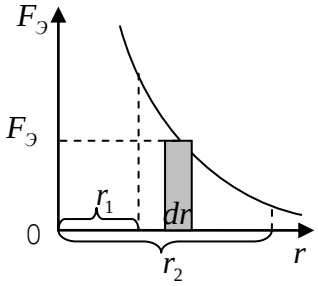
В некоторых простых случаях потенциал можно рассчитать по простым формулам. Например, потенциал данной точки однородного электростатического поля рассчитывается по формуле: $\varphi = Ed + C$. Потенциал точки определяется с точностью до произвольной постоянной. **Обычно за нуль принимается потенциал Земли или бесконечно удаленной точки.** К Земле можно добавлять (убавлять) электроны без заметного изменения плотности заряда (заземление).

Работа электростатического поля точечного заряда:

$$\Delta A_1' = \frac{kqq_0}{r_1^2}\Delta r = \frac{kqq_0}{r_1 r_2}(r_2 - r_1) = kqq_0\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right); \Delta A_2' = kqq_0\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right), \ldots \Delta A_n' = kqq_0\left(\frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r_n}\right)$$

$A' = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0}(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_n})$, $A' = q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$, $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ – **потенциал поля точечного заряда**.





Можно вывести формулу по-другому:

$F_э = q_0 \cdot E$, $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, $dA' = F_э \cdot dr$,

$$A' = \int_{r_1}^{r_2} \frac{qq_0 dr}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r_1} - \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_9 r_2} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Вопросы: 1. Почему лампочка карманного фонаря перегорает, если ее подключить к осветительной сети?

2. Где потенциал больше, у положительной или отрицательной пластины конденсатора?

III. *Задача:*

1. Какую работу совершают силы поля, перемещая заряд 20 нКл из точки с потенциалом 700 В, в точку с потенциалом 200 В; из точки с потенциалом -100 В в точку с потенциалом 400 В?
2. Какова разность потенциалов начальной и конечной точек пути электрона в электрическом поле, если на этом пути он увеличил свою скорость с 10^7 до $2 \cdot 10^7$ м/с?
3. Двигаясь между двумя точками в однородном электростатическом поле заряженная частица на пути 2 см приобрела скорость $2 \cdot 10^6$ м/с. Чему равна напряженность поля? Заряд частицы $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, а ее масса $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

IV. § 45, 46. Упр.8, № 4, 5.

И хорошие доводы должны уступать лучшим.
У. Шекспир

Урок 11. СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ И РАЗНОСТЬЮ ПОТЕНЦИАЛОВ

Почему более крупные капли воды вблизи фонтана или водопада обычно становятся положительно заряженными, а менее крупные — отрицательно заряженными?

Цель урока: Установить связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: конденсатор разборный, выпрямитель высоковольтный, электростатический маятник, электрометр и принадлежности к нему.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Работа электростатического поля при перемещении заряда. 2. Энергетические свойства электростатического поля:

потенциал, напряжение, разность потенциалов.

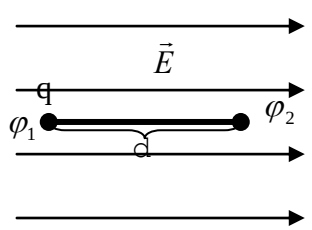
Задачи:

1. Электрическое поле в глицерине образовано точечным зарядом q = 9 нКл. Какова разность потенциалов Δφ двух точек, удаленных от заряда на r_1= 3 см и r_2= 12 см? Какую работу A′ совершит поле, перемещая между этими точками заряд q_0 = 5 нКл?
2. Электрон вылетает из точки, потенциал которой 600 В, со скоростью $12 \cdot 10^6$ м/с в направлении силовой линии однородного поля. Найти потенциал точки, дойдя до которой электрон затормозится.
3. Расстояние между зарядами 10 нКл и –1 нКл равно 1,1 м. Найдите напряженность поля в точке на прямой, соединяющей заряды, в которой потенциал равен нулю.

Вопросы:

1. Потенциал электростатического поля некоторого заряда убывает (возрастает) по мере удаления от него. Каков знак этого заряда?
2. Как изменяется потенциальная и кинетическая энергия положительного заряда, находящегося на пылинке, которая свободно перемещаете в поле положительного точечного заряда по направлению силовой линии?
3. Если металлическим шарам, имеющим разные диаметры, сообщить равные отрицательные заряды, то будет ли ток в проводе, которым соединяют после этого шары?
4. Имеется заряженная сфера. Зависит ли потенциал в центре сферы от распределения зарядов на сфере?
5. Могут ли силовые линии электростатического поля быть замкнутыми?
6. Как изменяется потенциал электростатического поля вдоль силовой линии поля?
7. Каков потенциал гравитационного поля Земли на высоте 12 м, если на поверхности Земли он равен нулю?
8. Напряженность поля равномерно заряженной плоскости не зависит от расстояния до нее. Означает ли это, что если под действием такого поля перемещается заряд, то может совершиться бесконечно большая работа?

III. В направлении вектора напряженности электрического поля потенциал убывает. Связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов.



$A' = qEd$

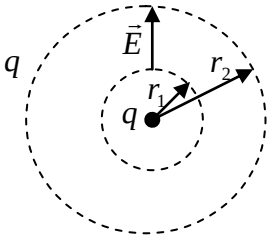
$A' = qU$

$E = \dfrac{U}{d}$ – для однородного поля.

$E = -\dfrac{\Delta\varphi}{\Delta d}$ – для неоднородного поля.

Единица напряженности электрического поля в СИ: [E] = [В/м]. Демонстрация с раздвижным конденсатором и электростатическим маятником (уменьшение расстояния между пластинами при постоянном напряжении на них приводит к увеличению напряженности поля между пластинами). Экспериментально определить напряжение между пластинами раздвижного плоского конденсатора, если известно, что пробой воздуха наступает при напряженности поля: $E_{пр} = 3 \cdot 10^6$ В/м.

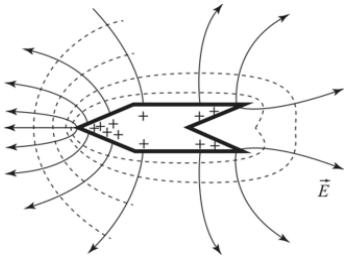
Задача: У поверхности Земли имеется электрическое поле, направленное к ее центру. Разность потенциалов между головой и ногами человека - 200 В. Оцените заряд Земли.



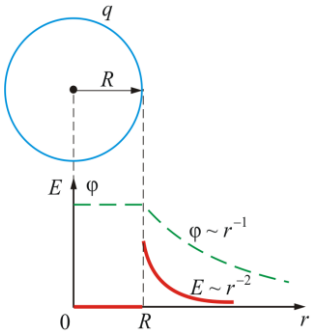
Эквипотенциальные поверхности - поверхности равного потенциала. Изображение электростатических полей с помощью эквипотенциальных поверхностей. Направление и модуль вектора напряженности электрического поля.

Вектор напряженности электростатического поля направлен в сторону наиболее быстрого убывания потенциала. В любой точке напряженность электростатического поля перпендикулярна эквипотенциальной поверхности.

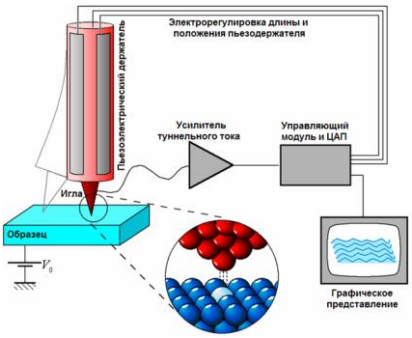
Другой способ определения направления $\vec{E}$. Определим потенциальную энергию заряда на одной и на другой эквипотенциальной поверхности. Заряд будет перемещаться из точки, где его потенциальная энергия больше, в точку, где она меньше (от одной эквипотенциальной поверхности к другой) по траектории, прохождение которой требует минимального времени (принцип наименьшего действия).



Почему поверхность проводника эквипотенциальная (весь объем проводника является эквипотенциальным)?



Потенциал поля проводящего шара (равномерно заряженной сферы). Связь между потенциалом и напряженностью на сферической поверхности: $\varphi = E \cdot R$. Поскольку поверхность проводника эквипотенциальная, то в областях с малым радиусом кривизны напряженность поля больше и наоборот. Графики зависимости напряженности и потенциала поля от расстояния до центра однородно заряженной сферы (проводящего шара).



Дополнительная информация. Сканирующий микроскоп. Когда тончайшее заряженное металлическое острие подводится к противоположно заряженному металлическому образцу на дистанцию, равную нескольким межатомным расстояниям, электроны начинают свободно проходить через зазор (туннельный эффект). Величина туннельного тока сильно зависит от величины зазора.

Потенциал точки поля, создаваемого произвольным распределением зарядов: $\boldsymbol{\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \ldots + \varphi_N}$.

Измерение разности потенциалов. Электрометр.

Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических

зарядов: $E_П = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}$. Энергия взаимодействия всех частиц в системе есть просто сумма энергий парных взаимодействий между всеми возможными парами частиц! В системе нет много частичных взаимодействий. **Энергия уединенного проводника:** $E_э = \frac{1}{2} q\varphi$. **Энергия уединенного проводящего шара (равномерно заряженной сферы):** $E_э = \frac{1}{2} k \frac{q^2}{R}$. Каковы размеры электрона, если вся его энергия электростатическая? 0,14 пм? Это неизвестно до сих пор!

IV. *Задачи:*

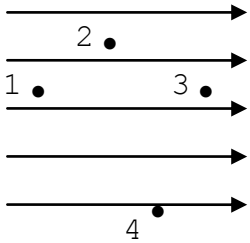
1. Заряженная частица массы m и зарядом q начинает двигаться в однородном электрическом поле. Какое расстояние пройдет частица за время t, если электрическое напряжение между начальной и конечной точкой траектории равно U?
2. В вершинах квадрата со стороной *a,* расположены точечные заряды величиной *q*. Определить работу электростатического поля при перемещении заряда q_0 из центра квадрата в середину одной из сторон.
3. Три проводящие концентрические сферы радиуса *r, 2r* и *3r* имеют заряд соответственно *q, 2q, -3q*. Определить потенциал на каждой сфере.
4. На расстоянии *a* от центра заземленного шара радиуса *R (R<<a)* находится точечный заряд *q*. Определить заряд шара. У проводника появляется потенциал, если он приобретает заряд.
5. Два проводящих шара радиусами 15 мм и 45 мм, заряжены до потенциалов 90 В и 20 В соответственно. Каким станет потенциал шаров, если их соединить проводником? Какой заряд протечет по проводнику? Электроемкостью проводника пренебречь.
6. Металлический шарик радиусом 1 см, заряженный до потенциала 270 В, вносят внутрь полого металлического шара радиусом 10 см, заряженного до потенциала 450 В. Определите заряды и потенциалы шаров после их соприкосновения.

Вопросы:

1. Два шара, большой и маленький, равномерно заряжены с одинаковой поверхностной плотностью. Будут ли одинаковы потенциалы этих шаров?
2. Если известно, что напряженность электрического поля в какой-то точке равна нулю, значит ли это, что и потенциал в этой точке равен нулю?
3. Как можно изменить потенциал проводника, не касаясь его и не изменяя заряда?
4. Потенциал электростатического поля возрастает в направлении снизу вверх. Куда направлен вектор напряженности поля?
5. Электростатической поле создано равномерно заряженной сферой. Напряженность в точке, отстоящей от поверхности сферы на расстоянии, равном ее радиусу, равна 120 В/м. Потенциал этой же точке 48 В.

Определить радиус сферы. 20 см

6. Какое ускорение приобретает электрон, двигаясь по эквипотенциальной поверхности с потенциалом 100 В?



7. Объясните, почему в диэлектрической среде заряженная частица находится в устойчивом положении равновесия?
8. Между какими точками однородного электростатического поля на рисунке разность потенциалов максимальна?
9. Какова разность потенциалов гравитационного поля между токами, находящимися на высоте 2 и 5 м от поверхности Земли?
10. На расстоянии ℓ снаружи от поверхности незаряженного металлического шара радиусом R находится точечный заряд q. Определите потенциал шара.
11. Определить напряженность электрического поля в мембране эритроцита, толщиной 25 мкм, если мембранная разность потенциалов равна 100 мВ.

V. § 47, 48. Упр. 8, № 6, 7, 8.

1. С помощью электропроводной бумаги (промокательная бумага, пропитанная слабым раствором соли), батарейки и микроамперметра исследуйте потенциальные электростатические поля и изобразите их спектры.
2. Электрическое поле создается положительным зарядом q. Как изменятся напряженность и потенциал электрического поля в точке А, если за этой точкой поместить незаряженный проводящий шар?
3. Внутри заземленной металлической сферы находится точечный заряд. Чему равна напряженность электрического поля внутри и вне сферы? Построить график.
4. Вычислите потенциал и напряженность поля диполя на продолжении прямой, соединяющей заряды.
5. Два небольших металлических шарика подключены к удаленному источнику напряжения. Как изменится сила притяжения между шариками, если их погрузить в жидкий диэлектрик, не меняя расстояние между ними?
6. Найдите закон изменения потенциала внутри равномерно заряженного шара радиуса R Заряд шара q. Потенциал на бесконечности примите равным нулю. Чему равен потенциал в центре шара?
7. Два разноименных электрических заряда сближают в воздухе и раздвигают в воде. Будет ли работать этот "вечный" двигатель?
8. Зарядите электрометр, стоящий на изоляторе, небольшим отрицательным зарядом. Затем сообщите корпусу положительный заряд. Почему стрелка отклоняется на больший угол?

…-напряжение - … усилие, производимое каждой точкой наэлектризованного тела, чтобы избавиться от имеющегося в ней электричества и передать его другим телам…

А. Вольта.

Урок 12.

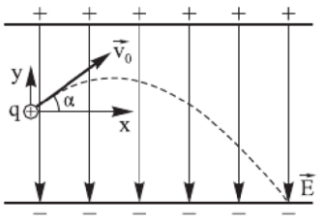
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Цель урока: Закрепить и научить применять полученные при изучении электростатики знания.

Тип урока: решение задач.

Оборудование: микрокалькулятор.

План урока:



1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Связь между напряженностью электрического поля и напряжением. 2. Эквипотенциальные поверхности. 3. Измерение разности потенциалов.

Задачи:

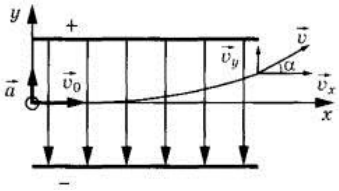
1. Потенциал заряженного проводника 300 В. Какой минимальной скоростью должен обладать электрон, чтобы улететь с поверхности проводника на бесконечно далекое от него расстояние?
2. Маленькие одинаковые капли воды заряжены одноименно до потенциала 5 В каждая. Определить потенциал большой капли, получающийся от слияния 1000 малых капель.
3. Два металлических шара радиусами r и 2r, помещены на расстоянии 4r между их центрами и имеют одинаковый заряд q. Определите отношение потенциала первого шара к потенциалу второго шара.
4. Какую работу надо совершить, чтобы два точечных заряда 2 мкКл и 3 мкКл, находящиеся в вакууме на расстоянии 0,6 м друг от друга, сблизить до расстояния 0,3 м?
5. Тонкому проводящему кольцу, радиус которого R, сообщен заряд q. В центре кольца покоится частица массой m и зарядом q_0. При освобождении частицы вследствие отталкивания она движется, удаляясь от неподвижного кольца. Какую наибольшую величину скорости может иметь частица?
6. Металлический шар радиусом R_1 заряженный до потенциала φ, окружают сферической проводящей оболочкой радиусом R_2. Как изменится потенциал шара после того, как он будет на короткое время соединен проводником с оболочкой? $\varphi' = \varphi \frac{R_1}{R_2}$

Вопросы:

1. Полый шар равномерно заряжен электричеством. В центре шара потенциал равен 100 В, а на расстоянии 30 см от центра шара потенциал равен 50 В. Каков радиус шара? 15 см
2. Почему вектор напряженности электростатического поля вблизи проводника перпендикулярен его поверхности?
3. Как изменится электрическое поле, создаваемое точечным зарядом, если этот заряд окружить тонкой незаряженной металлической сферой, совпадающей с одной из эквипотенциальных поверхностей?
4. На расстоянии r от центра изолированного проводящего незаряженного шара

находится точечный заряд q. Чему равен потенциал шара?

5. При сближении двух одноименных зарядов энергия системы увеличивается. Откуда берется эта энергия?
6. Какие превращения энергии происходят при пролете заряженной частицы через диэлектрическую среду?
7. Проводник *A* находится в электростатическом поле точечного заряда *q*. Является ли при этом поверхность проводника эквипотенциальной?
8. Если заряженный шарик соединить с таким же незаряженным шариком, то, как изменится запасенная ими энергия?
9. В грозу ноги нужно держать вместе, чтобы между ног не было большого напряжения. Так ли это?



III. *Задачи:*

1. Электрон, имея скорость $6 \cdot 10^6$ м/с, влетает в однородное электрическое поле, которое создано двумя параллельными пластинами. Расстояние между пластинами 2 см, а их длина 5 см; напряжение между пластинами 10 В. Найти отклонение электрона при вылете из пластин.

Протон и α-частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам. Во сколько раз отклонение протона полем конденсатора будет больше отклонения α-частицы?

2. Два электрона находятся на бесконечно большом расстоянии один от другого, причем один электрон вначале покоится, а другой имеет скорость v, направленную к центру первого. Масса электрона m, заряд e. Определить наименьшее расстояние, на которое они сблизятся. Как изменится ответ задачи, если электроны будут лететь под углом α к линии, соединяющей электроны?
3. Внутри плоского незаряженного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально на расстоянии d = 2 см, падает положительно заряженная пылинка. Вследствие сопротивления воздуха пылинка движется равномерно, проходя некоторый путь за время t_0 = 10 с. Когда на конденсатор подали напряжение U = 980 В, пылинка начала двигаться равномерно вверх, пройдя тот же путь за время t_1 = 5 с. Определить отношение γ заряда пылинки к ее массе. Силу сопротивления воздуха считать пропорциональной скорости пылинки, ускорение свободного падения принять g = 9,8 м/с^2.

IV. § 47, 48 (повторить).

1. Имеется система из трех параллельных друг другу заряженных плоских сеток площадью S каждая, расположенных на близких расстояниях d друг от друга. Заряды сеток равны q, -2q и 3q соответственно. Какую работу необходимо совершить, чтобы переместить заряд q_0 с первой сетки на третью?
2. Какую работу надо совершить, чтобы сфере радиуса *R* сообщить заряд *q*? Какова электростатическая потенциальная энергия протона, если его радиус 10^{-15} м?
3. Наэлектризованный воздушный шарик раздувают так, что заряд на нём сохраняется. Меняется ли при этом его электрическая энергия? Легче или труднее раздувать шарик в присутствии заряда?
4. Какую работу нужно совершить, чтобы ионизовать атом водорода, то есть удалить электрон от протона на очень большое расстояние? Диаметр атома водорода 10^{-8} см.
5. Имеются две концентрические сферы радиусами r и R (r < R) с зарядами q и Q

соответственно. Изобразите графически зависимость напряженности поля и потенциала от расстояния до центра системы. Как изменится потенциал каждой сферы, если их соединить проводником?

Когда будешь излагать науку ... не забудь под каждым положением приводить его практические применения, чтобы твоя наука не была бесполезна.

Леонардо да Винчи

Урок 13.

ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ

Почему ёмкость конденсатора увеличивается при сближении пластин?

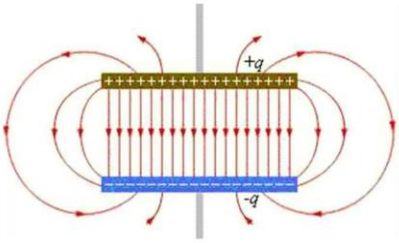
Цель урока: Ввести понятие "электроемкость".

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: электрометр со сферическим кондуктором, две алюминиевые пластины из набора к генератору сантиметровых волн, пластина из оргстекла, высоковольтный выпрямитель, конденсатор разборный.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос-повторение
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



II. *Задачи:*

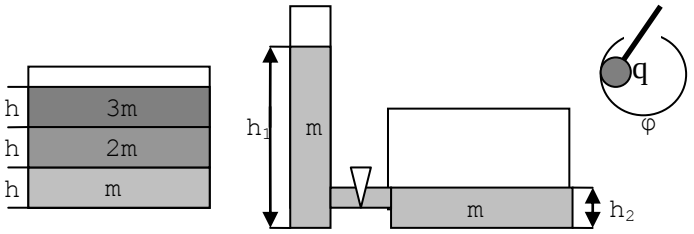
1. В центре закрепленной полусферы радиуса R, заряженной равномерно с поверхностной плотностью заряда σ, расположен в вакууме маленький шарик массы m, который заряжен зарядом $+q$. Если шарик освободить, то какую максимальную скорость он приобретает в процессе движения? Влиянием силы тяжести пренебречь.
2. Точечные заряды 2q и –q закреплены и находятся на расстоянии L друг от друга. На общей с ними прямой на расстоянии L от заряда –q удерживают точечное тело с зарядом q и массой m. С какой наименьшей скоростью υ нужно толкнуть тело вправо вдоль прямой, чтобы оно неограниченно удалялось?
3. На плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами d = 1,5 см подают напряжение U = 39 кВ. Будет ли пробит конденсатор, если предельная напряженность электрического поля в воздухе E_1 = 30 кВ/см? Будет ли пробит конденсатор, если внутрь его параллельно обкладкам ввести стеклянную пластинку (ε = 7) толщиной d_1 = 0,3 см, если предельная напряженность поля для стекла E_2 = 100 кВ/см? После введения в воздухе 31,4 кВ/см, после пробоя воздуха в стекле 185 кВ/см.
4. Тонкой сферической оболочке радиусом R_1 и массой m сообщают заряд до тех пор, пока при достижении потенциала φ оболочка не разлетается на мелкие куски вследствие электростатического отталкивания ее частей. Найдите скорость осколков к моменту, когда они окажутся на сферической поверхности радиусом R_2.

Вопросы:

1. Проводящий стержень на изолирующей ручке поместили радиально в поле точечного заряда. Будет ли поверхность стержня эквипотенциальной?
2. Можно ли рассчитать потенциал проводника? Каков будет потенциал проводника, если его заземлить?
3. Могут ли пересекаться линии вектора напряженности? Эквипотенциальные поверхности?
4. Как доказать, что поверхностная плотность заряда обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности, если потенциалы поверхностей одинаковы?
5. Какую работу нужно совершить для удаления заряда q, находящегося на расстоянии ℓ от плоской незаряженной проводящей плоскости, на бесконечное расстояние?
6. Внутрь проводящей заряженной сферы через небольшое отверстие вносится (без соприкосновения) металлический шарик, заряд которого равен по величине, но противоположен по знаку заряду сферы. Как изменится потенциал сферы?
7. Почему к оборванному трамвайному проводу, лежащему на земле, следует подходить все более мелкими шажками?
8. Если к шарику электроскопа поднести положительно заряженную палочку, не касаясь его, то листочки электроскопа разойдутся. Почему?
9. Если теперь, не убирая палочки, прикоснуться к шарику пальцем в любом месте, то листочки электроскопа опадут. Почему?
10. Если теперь убрать палец и после этого удалить палочку, то листочки электроскопа вновь разойдутся. Почему?
11. Если не убирать палец, а удалить палочку, то листочки электроскопа опадут. Почему?
12. Можно ли утверждать, что в однородном электрическом поле свободный заряд всегда движется прямолинейно?
13. Движущаяся заряженная частица быстрее останавливается в среде с большей диэлектрической проницаемостью. Почему?
14. Что измеряет электрометр? Зачем корпус электрометра заземляют?
15. Почему при измерении потенциала проводника его соединяют с электрометром длинной проволокой?
16. Всегда ли между проводником, заряженным положительно, и проводником, заряженным отрицательно, есть разность потенциалов?
17. Шарик с зарядом q = 5 нКл помещен внутрь незаряженной металлической сферы радиусом R = 20 см на расстоянии ℓ = 10 см от центра сферы. Найти заряд Q на внешней поверхности сферы и нарисовать картину силовых линий электрического поля вне

сферы. Ответ: 5 нКл

III. Демонстрация проводника (шар на электрометре). Потенциал заряженного проводника. Электроемкость уединенного проводника (демонстрация с шарами разного диаметра). У какого из проводников электроемкость больше?



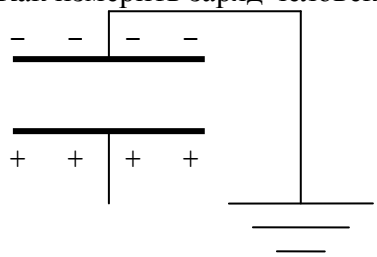
$$C = \frac{q}{\varphi}$$

Термин "электроемкость" на основе аналогии с двумя сосудами разного сечения, заполненными жидкостью. **Электроемкость (С) - свойство проводника накапливать электрический заряд, измеряемое отношением электрического заряда уединенного проводника к его потенциалу.**

Единица электроемкости в СИ: 1 Ф = 1 Кл/В. **Электроемкость шара**: $C = 4\cdot\pi\varepsilon_0\varepsilon R$. Какого радиуса шар имел бы электроемкость 1 Ф? Электроемкость Земли 710 мкФ. А какова приблизительно электроемкость вашего тела (как у шара диаметром 1 м - 50 пФ)? **Электрическая постоянная: $[\varepsilon_0]$ = [Ф/м].**

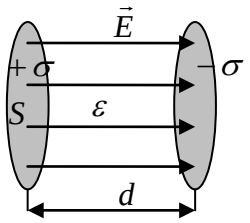
В простейших случаях электроемкость проводника можно рассчитать по простым формулам, потенциал проводника по отношению к Земле измерить, тогда по формуле **$q = C\cdot\varphi$** можно определить заряд проводника.

Как измерить заряд человека, который он приобрел при электризации?



Сравнение электроемкости уединенного проводника с электроемкостью системы из двух проводников (демонстрация). В каком случае электроемкость больше? Система накапливает тот же заряд, при меньшем напряжении! **Конденсатор. Заряд конденсатора.**

Два способа зарядки конденсатора. **Первый:** сообщение обкладкам равных по модулю, но противоположных по знаку зарядов или заземление одной из обкладок и сообщение заряда другой. Напряжение между обкладками конденсатора: $U = Ed = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}d = \frac{q}{S\varepsilon\varepsilon_0}d \rightarrow U \sim q.$



Электроемкость конденсатора:

$$C = \frac{q}{U}$$

Электрическая емкость (С) - свойство конденсатора накапливать электрический заряд, измеряемое отношением заряда конденсатора к напряжению между его обкладками.

Электроемкость плоского конденсатора: $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = \varepsilon \cdot C_0$

Экспериментальная проверка формулы.

Различные типы конденсаторов: а) **бумажные** (демонстрация); б) **керамические**

(титанит бария увеличивает электроемкость в 10000 раз, а ДНК в 130000 раз); в) **электролитическ**ие (демонстрация); г) МОП - технология. Конденсаторы постоянной и переменной емкости; их обозначение на электрических схемах. Каждый технический конденсатор характеризуется следующими основными параметрами: **номинальная емкость, рабочее напряжение, потери.**

Как можно зарядить конденсатор? Об этом догадались его первые изобретатели (лейденская банка). В г. Лейдене два физика пытались наэлектризовать воду в стеклянном сосуде, который один из них держал в руках. Когда он коснулся проводника, опущенного в воду, то испытал сильный удар от электрического разряда. После этого таких опытов проводилось множество и на этой способности конденсатора основан ряд его практических применений. Попробуйте и вы наэлектризовать воду в сосуде!

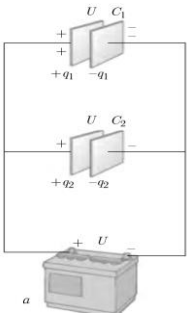
Второй способ зарядки конденсатора - подключение его обкладок к источнику тока: q = C·U, $U(t) = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$, $I = \frac{U}{R} e^{-(t/RC)}$. Измерение диэлектрической проницаемости среды с помощью конденсатора. Разряд конденсатора (лампа-вспышка в фотоаппарате).

Вопросы:

1. Пластины заряженного конденсатора попеременно заземляют. Будет ли при этом конденсатор разряжаться?
2. Почему следует осторожно обращаться с обесточенными цепями, в которых стоят конденсаторы?
3. Если конденсатор подключен к батарее, то при сближении обкладок увеличивается его заряд, а если не подключен – то уменьшается напряжение. Почему?

Хуже, чем цепь с конденсатором, может быть только цепь с двумя конденсаторами!

Соединение конденсаторов в батареи:



Параллельное соединение: $U = U_1 = U_2$; $q = q_1 + q_2$; $C = C_1 + C_2$.

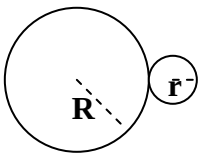
Накопитель энергии в автомобиле вместе с аккумулятором.

Последовательное соединение: $q = q_1 = q_2$, $U = U_1 + U_2$, $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.

Применение: емкостные сенсорные экраны.

Смешанное соединение конденсаторов. В каких случаях конденсаторы соединяют параллельно, а в каких последовательно? Примеры:

К какому типу соединений отнести контакт двух проводящих шаров, один из которых имеет заряд *q*, а другой не заряжен?



$C_R = \frac{R}{r} C_r$, $C = C_1 + C_2$, $q = (C_R + C_r)\varphi$, $q = \frac{R}{r} C_R \varphi + C_r \varphi$.

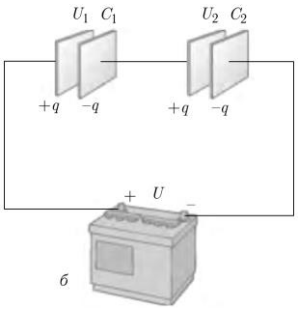
Как распределился заряд между шарами после их соединения?

Заземление.

IV. *Задачи:*

1. Конденсатор электроемкости 0,03 мкФ соединили с источником тока, в результате чего он приобрел электрический заряд 10 нКл. Определите напряженность поля между пластинами конденсатора, если расстояние между ними 5 мм.

2. Некий студент задался целью изготовить конденсатор емкостью в 1 Ф, используя две полоски фольги шириной 10 см, между которыми расположен изолятор в виде промасленной бумаги толщиной 0,05 мм (ε = 5,0). Какой длины полоски фольги для этого придется взять? Как вообще делают конденсаторы со столь большой емкостью? Около 11,3 тыс. км.
3. В пространство между пластинами плоского воздушного конденсатора ввели диэлектрическую пластину с ε = 3. Как изменилась емкость конденсатора, если толщина пластины равна половине расстояния между его обкладками?
4. Конденсатор емкостью 1 мкФ выдерживает без пробоя напряжение 500 В, а конденсатор емкостью 0,5 мкФ - 1500 В. Какое наибольшее напряжение можно подать на систему этих конденсаторов, соединенных последовательно?



5. С какой силой (в мН) притягиваются друг к другу обкладки плоского воздушного конденсатора? Заряд конденсатора 6 мкКл, напряженность поля в конденсаторе 3 кВ/м.
6. Студент задался целью изготовить конденсатор емкостью в 1 Ф, используя две полоски фольги шириной 10 см, между которыми расположен изолятор в виде промасленной бумаги толщиной 0,05 мм (ε = 5,0). Какой длины полоски фольги для этого придется взять? Как вообще делают конденсаторы со столь большой емкостью?
7. С каким ускорением поднимается вертикально вверх пылинка массой 10^{-7} г, несущая заряд 1,77 пКл, в плоском конденсаторе с поверхностной плотностью заряда на обкладках 6 нКл/м^2?

Вопросы:

1. Какой из уединенных проводящих шаров – свинцовый или алюминиевый – имеет большую электроемкость, если их размеры одинаковы?
2. Если к шарику заряженного электроскопа поднести (не касаясь шарика) руку, листочки немного спадут. Почему?
3. Как изменится сила взаимодействия пластин плоского конденсатора, если расстояние между ними уменьшить, не изменяя заряда конденсатора?
4. Можно ли зарядить конденсатор, не заземляя одну из обкладок?
5. Перечислите процедуры, увеличивающие емкость конденсатора.
6. Изменится ли емкость заряженного проводника, если его заземлить?
7. Как изменится пробивное напряжение плоского воздушного конденсатора, если на его внутренней поверхности появится бугорок, например пылинка?
8. Изменится ли разность потенциалов на обкладках плоского воздушного конденсатора, если одну из них заземлить?
9. Конденсатор подключен к источнику напряжения. Разрядится ли конденсатор, если:
   - отсоединить любую обкладку от источника?
   - отсоединить обе обкладки от источника?

- заземлить любую обкладку, отключив конденсатор от источника?
- отключить конденсатор от источника, замкнуть проводом его обкладки?

10. Плоский конденсатор имеет емкость С. На одну из пластин конденсатора поместили заряд +q, а на другую – заряд +4q. Определите напряжение на конденсаторе.
11. Как выглядит поле у краев заряженного конденсатора? Основываясь на представлениях о потенциальном характере электростатического ноля, покажите, что поле у краев плоского конденсатора не равно нулю.
12. Как будет вести себя электрический диполь у края конденсатора?
13. Чему равна емкость воздушного сферического конденсатора, составленного из двух концентрических сфер радиуса R и 2R?

V. § 49-50. Упр. 8, № 1, 2

1. С помощью электропроводной бумаги, батарейки и микроамперметра исследуйте электрическое поле конденсатора и изобразите его спектр.
2. Докажите, что напряжённость электростатического поля в зазоре на границе пластин плоского воздушного конденсатора $E = \sigma/2\varepsilon_0$.
3. Электрически нейтральное вещество (электрические диполи) втягивается в область более сильного поля внутри конденсатора, что открывает возможность разделения компонентов смесей веществ! Так ли это?
4. Получите формулу нарастания заряда обкладки во время зарядки конденсатора.
5. Какова примерно электрическая емкость вашего тела?
6. Докажите, что если опустить края плоского заряженного конденсатора с вертикально расположенными обкладками в жидкий диэлектрик, то жидкость поднимется на некоторую высоту. Выведите формулу, позволяющую определить высоту подъема.
7. Предложите конструкцию измерителя максимальной скорости мяча, достигнутой мячом после удара по нему.

Мой новый прибор… по своим действиям подражает лейденским банкам или электрическим батареям, вызывая такие же сотрясения, как и они.

А. Вольта

Урок 14.

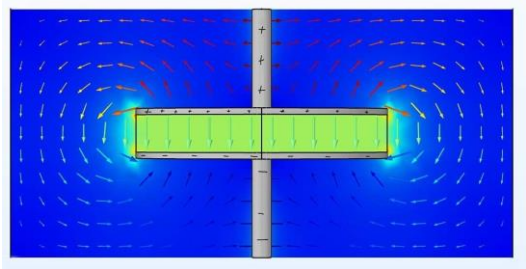
ЭНЕРГИЯ ЗАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

Какая энергия у электрического поля?

Цель урока: Дать представление об энергии электрического поля, способах ее накопления и измерения.

Тип урока: комбинированный.

Оборудование: батарея конденсаторов, выпрямитель ВУП-2, ламповая панель, набор конденсаторов различных типов.



План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

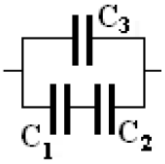
II. *Опрос фундаментальный:* 1. Электрическая емкость. 2. Емкость плоского конденсатора. 3. Соединение конденсаторов.

Задачи:

1. Два последовательно соединенных конденсатора с емкостями 2 мкФ и 6 мкФ зарядили от источника постоянного напряжения 120 В. Определите напряжение на каждом конденсаторе.
2. Заряженный до потенциала φ_1 = 300 В шар радиуса R = 0,15 м соединяется с незаряженным шаром тонкой длинной проволокой. После соединения потенциал шара уменьшился до φ_2 = 100 В. Чему равен радиус второго шара?
3. Конденсатор емкостью 6 мкФ, заряженный до напряжения 400 В, соединили параллельно с незаряженным конденсатором емкостью 10 мкФ. Какое напряжение установится на обкладках обеих конденсаторов?
4. Площадь обкладки плоского воздушного конденсатора равна 250 см^2, расстояние между ними 2 мм. Конденсатор заряжается от батареи с напряжением 150 В. Определите емкость конденсатора, его заряд и напряженность электрического поля между его обкладками.
5. После этого конденсатор отключили от батареи (заряд на обкладках при этом не изменяется) и между обкладками ввели диэлектрическую пластинку (ε = 5) такой же площади и толщиной 1 мм. Определите: а) напряженность электрического поля в диэлектрике; б) напряжение между обкладками после введения диэлектрика; в) емкость конденсатора с диэлектриком.
6. Если бы мы не отключали конденсатор от батареи и ввели диэлектрическую пластину, то каким бы стал после этого заряд конденсатора и напряженность электрического поля в воздушном зазоре и в диэлектрике?
7. Одну пластину незаряженного конденсатора, обладающего емкостью 1 нФ, заземляют, а другую присоединяют длинным тонким проводом к удаленному проводящему шару радиусом 20 см, имеющему заряд 92 мкКл. Какой заряд (в мкКл) останется на шаре?
8. Плоский воздушный конденсатор зарядили до разности потенциалов 200 В, а затем отключили от источника напряжения. Какой станет разность потенциалов между обкладками конденсатора, если расстояние между ними увеличить от 0,2 мм до 0,7 мм, а пространство заполнить диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью 7?
9. Пластины плоского конденсатора, площадью 0,01 м^2 каждая, раздвигают так, что расстояние между ними увеличивается от 2 мм до 4 мм. Конденсатор все время остается подключен к источнику, поддерживающему разность потенциалов на обкладках 100 В. Определите изменение заряда конденсатора и напряженности поля между обкладками.

Вопросы:

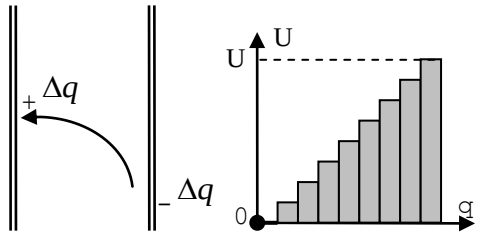
1. Изменится ли емкость плоского конденсатора, если в воздушный зазор между его обкладками ввести тонкую незаряженную металлическую пластину той же площади?
2. Найдите емкость батареи конденсаторов. C_1 = 0,1 мкФ, C_2 = 0,4



мкФ, $C_З$ = 0,52 мкФ. $C_{об}$ = 0,6 мкФ

3. 1 см^3 активированного угля, пропитанного раствором солей щелочных металлов в органическом растворителе, обладает емкостью 10 Ф. Почему?
4. Почему увеличение площади обкладок конденсатора, уменьшение расстояние между ними и заполнение пространства между обкладками диэлектриком, приводит к увеличению емкости конденсатора?
5. Четыре одинаковых конденсатора, соединяются один раз параллельно, другой - последовательно. В каком случае и во сколько раз емкость батареи будет больше?
6. Пластины заряженного и отключенного от батареи конденсатора притягиваются с силой *F*. Изменится ли та сила, если ввести в конденсатор пластину из диалектика, не касаясь пластин?
7. Плоский конденсатор зарядили до разности потенциалов, немного не достигающей пробойного значения, и отсоединили от источника напряжения. Произойдет ли пробой, если пластины начать сближать?
8. Пластины заряженного плоского конденсатора попеременно заземляют. Что будет происходить с конденсатором при этом?
9. В каком из приведенных ниже случаев можно сравнивать результаты измерения двух величин? 1) 1 Кл и 1 А·В; 2) 3 Кл и 1 Ф·В; 3) 2 А и 3 Вт·с; 4) 3 А и 2 Дж/Кл.
10. Как изменится емкость плоского конденсатора, если между его обкладками поместить металлическую пластину пренебрежимо малой толщины в случаях: а) пластина электрически изолирована; б) пластина соединена с одной из обкладок?
11. Как и почему изменится электроемкость проводящей сферы, если в ней сделать вмятину?
12. Радиус металлического шара у игрушечного генератора Ван-де-Граафа равен 5 см. Какой заряд нужно поместить на шар, чтобы его потенциал достиг 50000 В?

III. Энергия заряженного конденсатора (демонстрация разрядки конденсатора емкостью 22000 мкФ). Работа, необходимая для переноса малого заряда с одной обкладки на другую:



$$\Delta A = \frac{\sigma \cdot \Delta q}{\varepsilon\varepsilon_0} d = (\frac{d}{S\varepsilon\varepsilon_0}) q\Delta q$$

С переносом каждой последующей порции заряда работа увеличивается и в конце она равна: $A_n = \Delta q \cdot U$. Полная работа, необходимая для переноса заряда q равна сумме элементарных работ:

$$A' = q\frac{E}{2}d = \frac{qU}{2} = W_C \rightarrow A = \frac{qU}{2} = E_э = \frac{q^2}{(2 \cdot C)} = \frac{CU^2}{2}$$

Конденсатор может запасать заряд и электрическую энергию! Евро-5!
Аналогично, надутая автомобильная шина приобрела энергию от того, кто надувал шину!
Справка. Суперконденсаторы - это новая конструкция микроскопических размеров, чтобы сохранять в тысячи раз больше заряда, чем это было возможно ранее.

Разряд конденсатора через резистор: $U(t) = Ue^{-t/R\cdot C}$, $I = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$. В момент включения напряжение между обкладками конденсатора равно нулю, поэтому конденсатор представляет собой короткое замыкание в цепи и поэтому зарядный ток наибольший. В следующий момент напряжение на конденсаторе увеличивается, ток уменьшается.

Какую энергию запасает электролитический конденсатор емкостью 22000 мкФ при напряжении источника тока 30 В? Около 10 Дж?! Его масса 0,5 кг! Если его поднять на высоту 2 м, то он запасет потенциальную энергию около 10 Дж. Это мало. Однако в конденсаторе эти 10 Дж запасены удобным образом, поскольку при разрядке (τ = 1 мкс) обеспечивается мгновенная мощность 10 МВт! А ведь можно взять конденсатор большей емкости! Если его заполнить ДНК, то при тех же условиях он запасет 600 кДж на 1 кг массы?

Демонстрируя студентам опыты с конденсатором – лейденской банкой, В.К. Рентген предупредил слушателей: «С этой банкой надо обращаться очень и очень осторожно. Если в ней накопить достаточно большой электрический заряд, то, замкнув обкладки, можно убить даже быка». Лекцию ученый завершил весьма эффектно: для большей наглядности он самоотверженно разрядил заряженный прибор через самого себя. Получив при этом щелчок, Рентген инстинктивно отдернул руку и, переведя дух, спросил: «Ну, как, видели? То-то…». Помолчав, задал вопрос: «Кто объяснит, что произошло?» Студенты растерянно переглянулись, а один из них после паузы промямлил: «Одно из двух, профессор. Или ваше утверждение было несколько преувеличенным, или вы значительно здоровее быка».

Плотность энергии электрического поля:

$$W_Э = \frac{CU^2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon_0 S}{d}\right)(E^2 \cdot d^2) = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 Sd \qquad U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$

Плотность энергии электрического поля, запасенная в любой части пространства, пропорциональна квадрату напряженности электрического поля в этой области.

Почему, например, для ионизации атома водорода необходимо совершить работу? Применение конденсаторов (самостоятельное чтение учебника и заполнение таблицы).

№ п/п	Прибор	Тип прибора	Обозначение на схемах	Характеристики	Назначение	Применения
1.	Конденсатор					

Реостатическая машина Планте (дополнительный материал): Если батарею из N параллельно соединенных конденсаторов зарядить от источника тока с напряжением U_1, то запасенная батареей энергия $E = N\cdot C\cdot U_1^2/2$. Если теперь отключить батарею от источника и включить конденсаторы последовательно, то в силу сохранения энергии $N\cdot C\cdot U_1^2/2 = \frac{C}{N} U_2^2/2$ и $U_2 = N U_1$. Усовершенствованная машина Планте давала напряжение 1200 кВ.

IV. *Задачи:*

1. Плоский воздушный конденсатор объемом $2\cdot10^{-3}$ м^3 с закороченными

пластинами поместили в однородное электрическое поле так, что вектор напряженности этого поля перпендикулярен пластинам. Чему равна напряженность поля, если для увеличения расстояния между пластинами в три раза была совершена работа $15{,}93 \cdot 10^{-10}$ Дж. 300 В/м

2. В термоядерной установке Токамак Т-10 мощность электрического разряда в импульсе $3 \cdot 10^6$ кВт, продолжительность разряда 1 с. Какую емкость должна иметь батарея конденсаторов при напряжении 20 кВ, используемая в качестве накопителя энергии?
3. Конденсатор емкостью в 100 пФ заряжен до разности потенциалов в 90 В. После отключения батареи, конденсатор соединяют параллельно с незаряженным конденсатором неизвестной емкости. Определить емкость этого конденсатора, если конечное напряжение оказалось равным 30 В? Какое количество теплоты выделилось?

Если заряженный конденсатор соединить с незаряженным конденсатором такой же емкости, то половина энергии уходит на тепло. А если бы мы их соединили сверхпроводящими проводами? Аналогия с колебаниями идеальной жидкости в сообщающихся сосудах.

4. Конденсатор емкостью C без диэлектрика имеет заряд q. Какое количество теплоты выделится в конденсаторе, если его заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью ε? Конденсатор отключен от батареи.
5. Конденсатор емкости C подключен к батарее. Какое количество теплоты выделится в цепи, если его заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью ε? Батарея поддерживает на конденсаторе постоянное напряжение U.

Если заряд внутри источника тока переносится от минуса к плюсу (конденсатор заряжается), то работа источника положительная, в противном случае (конденсатор разряжается) – работа источника тока отрицательная! $W_1 + A_{ист} + A = W_2 + Q$.

6. Конденсаторы емкостями 3 и 1 мкФ соединены последовательно и подключены к источнику тока с ЭДС 200 В. Сколько теплоты (в мДж) выделится при пробое конденсатора меньшей емкости?

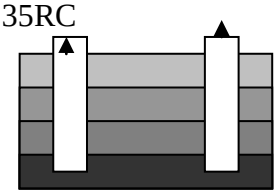
Вопросы:

1. Можно ли увеличить энергию заряженного школьного раздвижного конденсатора, не изменяя его заряда? Какими вообще способами можно изменить энергию этого конденсатора?
2. Плоский воздушный конденсатор после зарядки отключают от источника напряжения и погружают в керосин. Как изменится энергия, накопленная в конденсаторе?
3. К заряженному конденсатору, обладающему энергией E_0, присоединяют такой же, но незаряженный конденсатор. Какое количество теплоты

выделилось в этом процессе?

4. На какую высоту можно поднять тело массой в 1 кг, полностью затратив энергию заряженного до напряжения 10 кВ конденсатора емкостью 100 мкФ? Около 0,5 км.
5. Предложите способы измерения электроемкости конденсатора.
6. Пластины плоского конденсатора один раз раздвигают, оставляя их все время подключенными к источнику напряжения, другой раз – отключенными после первоначальной зарядки. В каком из этих двух случаев нужно совершить большую работу по раздвиганию пластин?
7. Конденсатор подключили к аккумулятору. Расстояние между пластинами конденсатора уменьшили в два раза. Как изменилась разность потенциалов между пластинами, а также напряженность поля между пластинами и заряд конденсатора?
8. Конденсатор отключили от аккумулятора, после чего расстояние между пластинами уменьшили в два раза. Как изменится заряд, напряженность поля и разность потенциалов между пластинами?
9. Одна из пластин плоского конденсатора соединена с электрометром, а другая заземлена. Конденсатор зарядили. Как изменятся показания электрометра при введении диэлектрика?
10. Потенциальная энергия взаимодействия пары разноименных зарядов отрицательна, а заряженного конденсатора – положительна. Почему?
11. Заряженный конденсатор емкостью C подключили к резистору сопротивлением R. Найти время, за которое энергия конденсатора уменьшится вдвое. t = 0,35RC

V. § 51. Упр. 9, № 3, 4.



1. На рисунке схематически изображен емкостной датчик уровня жидкости. Выведите формулу зависимости емкости датчика от высоты уровня жидкости (диэлектрика). Каков принцип действия этого датчика?
2. Демонстратор держится за провод, подсоединенный к электрометру, и подпрыгивает. При этом стрелка электрометра отклоняется, и возвращается назад после приземления. Объясните наблюдаемое явление.
3. Можно ли определить емкость конденсатора, измеряя время, в течение которого напряжение на конденсаторе, измеренное вольтметром с известным внутренним сопротивлением, уменьшается в e раз?
4. Имеется изолированный воздушный сферический конденсатор, у которого радиусы обкладок R_1 (внутренняя обкладка) и R_2 (внешняя), а заряд q. Найдите плотность энергии электрического поля между обкладками конденсатора в случае, когда $R_2 - R_1 << R$.
5. Что произойдет с энергией плоского конденсатора, если: а) при неизменной разности потенциалов между его пластинами увеличить все его геометрические размеры в k раз; б) при тех же размерах увеличить заряд в n раз?
6. Плоский воздушный конденсатор емкостью 4000 пФ, подключен к источнику тока с напряжением 200 В. Расстояние между обкладками конденсатора 2 мм. Определите наибольшее число неизвестных величин.

7. Если конденсатор емкостью 100 мкФ, заряженный до напряжений 10 кВ. разрядить через металлическую проволочку диаметром 0,5 мм и длиной 10 см, то произойдет взрыв (взрывное кипение). Исследуйте явление и объясните его.
8. Попробуйте с помощью принципа наименьшего действия объяснить, почему жидкий диэлектрик в плоском заряженном конденсаторе с не параллельными обкладками перемещается от узкой части конденсатора к его широкой части.
9. Охватив стакан с водой ладонью, опускают в него чайную металлическую ложку и касаются ложкой полюса работающей электрофорной машины. Если теперь, продолжая держать стакан в руке, дотронутся другой рукой до ложки, то чувствуется электрический удар. Пронаблюдайте и объясните явление.
10. Измерение емкости конденсатора и диэлектрической проницаемости среды с помощью мультиметра.

Мастеровой не может не работать –
Он упускает тайну ремесла.
Неизвестный поэт

Урок 15

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Сейчас будет жонглирование формулами без обмана!

Цель урока: Продолжить формирование навыков решения задач. Закрепить полученные при изучении электростатики знания.

Тип урока: решение задач.

Оборудование: микрокалькулятор, обобщающая таблица "Конденсатор".

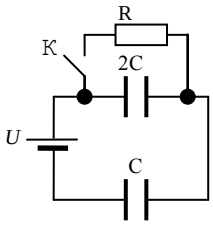
План урока:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. *Опрос фундаментальный:* 1. Энергия заряженного конденсатора. 2. Типы конденсаторов и их применение.

Задачи:

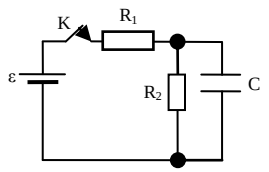
1. Конденсатор емкостью 8 мкФ, заряженный до напряжения 100 В, присоединили для подзарядки к источнику тока с напряжением 200 В. Какое количество теплоты выделилось при подзарядке?
2. Плоский воздушный конденсатор емкостью С заряжен до напряжения U и отключен от источника тока. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить расстояние между его обкладками в 3 раза?
3. Конденсатор емкостью С присоединен к источнику тока с напряжением U. Какую работу нужно совершить, чтобы медленно увеличить расстояние между обкладками конденсатора в 3 раза?
4. Заряженный конденсатор подключили к источнику тока с напряжением 10 В. После перезарядки конденсатора его энергия оказалась равной первоначальной, а в цепи во время перезарядки выделилось количество теплоты 0,4 мДж. Определите ёмкость конденсатора.
5. Какое количество теплоты выделится на резисторе после замыкания ключа *К*?



Вопросы:

1. Определите массу воды, которую можно нагреть от комнатной температуры до кипения, полностью затратив энергию заряженного до напряжения 10 кВ конденсатора емкостью 100 мкФ. 15 г.
2. Плоский конденсатор зарядили до разности потенциалов, немного не достигающей пробивного значения, и отсоединили от источника напряжения. Произойдет ли пробой, если пластины начать сближать?
3. Заряженный конденсатор подключили параллельно к такому же незаряженному. Во сколько раз изменилась энергия поля первого конденсатора?
4. Разность потенциалов заряженного и отсоединенного от батареи конденсатора удвоилась, когда вытек наполнявший ее диэлектрик. Чему равна диэлектрическая проницаемость диэлектрика?
5. Изменится ли емкость плоского конденсатора, если в воздушный зазор между пластинами вдвинуть незаряженную металлическую пластину?
6. Изменится ли, а если изменится, то как, энергия воздушного конденсатора, если между его обкладками ввести пластину из диэлектрика? Рассмотреть все возможные случаи.
7. Конденсатор подключен к аккумулятору. Раздвигая пластины конденсатора, мы преодолеваем силы электростатического притяжения между пластинами и, следовательно, совершаем работу. На что идет эта работа? Как изменится энергия конденсатора?
8. Можно ли увеличить энергию заряженного раздвижного конденсатора, не изменяя его заряд?
9. В результате сложения электрических полей с напряженностями E_1 и E_2 получено поле E. Равна ли энергия поля W сумме энергий полей W_1 и W_2?
10. Заряженный конденсатор переменной емкости отключен от источника тока. Нарисуйте график энергии конденсатора от его емкости и объясните его.
11. Два одинаковых плоских конденсатора емкости C соединены параллельно и заряжены до напряжения U. Пластины одного из конденсаторов разводят на большое расстояние. Найти напряжение на втором конденсаторе и его энергию.
12. Что вы вообще знаете об электрическом конденсаторе?
13. Большая тонкая проводящая пластина толщины *d* и площади *S* помещена в однородное электрическое поле *E*, перпендикулярное пластине. Какое количество теплоты выделится в пластине, если поле выключить?

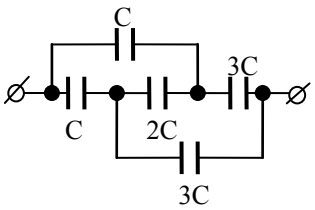
III. *Задачи:*



1. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, все элементы идеальные: ЭДС источника равна 24 В, величина

сопротивления каждого резистора равна 10 Ом. Ключ К замыкают на длительное время, за которое конденсатор успевает полностью зарядиться, а затем размыкают. Какой ток будет течь через сопротивление, подключенное параллельно конденсатору в момент времени, когда на конденсаторе энергия уменьшится в 9 раз?

2. Два одинаковых по размерам плоских конденсатора, один из которых содержит стеклянную пластину с диэлектрической проницаемостью 7, целиком заполняющую зазор между его обкладками, соединены параллельно, заряжены до напряжения 200 В и отключены от источника тока. Какую работу надо совершить, чтобы медленно (тепло не выделяется!) извлечь пластину из конденсатора, если емкость пустого конденсатора 6 мкФ? Какое количество теплоты выделится, если быстро извлечь пластину?
3. Плотность энергии электростатического поля, локализованного между двумя параллельными, равномерно заряженными пластинами, 0,1 Дж/м^3. Сила их взаимодействия 4 мН. Площади пластин 100 см^2. Найти заряды пластин.
4. Конденсаторы соединены так, как показано на рисунке. Чему равна емкость батареи?



Дополнительная информация. Принято считать, что поверхность Земли заряжена отрицательно и величина заряда составляет -5,7·10^5 Кл, следствием чего является напряжённость электрического поля у поверхности порядка 130 В/м летом и порядка 300 В/м зимой. Напряжённость поля уменьшается с увеличением высоты и практически становится ничтожной на высоте порядка 10 км. В свою очередь, на высоте в несколько десятков километров находится слой положительно заряженных ионов (ионосфера), величина заряда которого компенсирует отрицательный заряд поверхности Земли. Таким образом, можно сказать, что атмосфера является изолятором между двумя обкладками этого своеобразного гигантского «конденсатора». Причём именно с процессами заряда этого конденсатора и связаны основные противоречия расчётов, которые не разрешены до сих пор. Основным противоречием является понимание того, что любой конденсатор имеет токи утечки, которые для Земли, если пересчитать их на площадь её поверхности, составляют порядка 1800 А, в то время как общая величина электрического заряда составляет порядка 5,7·10^5 Кл. Из этого следует, что полностью земной конденсатор должен был бы по идее разрядиться за период времени не более 10 минут (чего, однако, мы не видим на практике). То есть, налицо наличие существования некоего генератора, который постоянно подзаряжает этот природный конденсатор, причём мощность этого генератора должна составлять более 700 мегаватт! Что это такое и каковы его механизмы функционирования, — наука до сих пор не может сказать определённо, несмотря на наличие множества теорий.

IV. Упр.9, № 5, 6.

1. Два одинаковых конденсатора зарядили до одного и того же напряжения и отключили от источника. Один из них затем сразу же разрядили, и при этом выделилось некоторое количество теплоты. В другом случае сначала сблизили пластины и только затем разрядили. Почему во втором случае тепловой эффект оказался меньше?
2. Придумайте конденсатор, ёмкость которого бы заметно изменялась при накоплении им заряда.

3. Как оценить максимальную энергию, запасенную в природном конденсаторе, обкладками которого являются грозовое облако и земля? От каких факторов зависит эта энергия?
4. Из четырех одинаковых пластин площади S каждая, которые нельзя придвигать друг другу на расстояние, меньшее d, нужно сделать конденсатор максимальной емкости. Как их для этого нужно расположить?
5. Несколько одинаковых конденсаторов соединили в батарею. Напряжение на каждом из них несколько меньше пробивного. Случайно произошел пробой диэлектрика одного из конденсаторов. Пробьются ли остальные конденсаторы, если они были соединены в батарею последовательно? Параллельно?
6. Разность потенциалов между обкладками заряженного плоского воздушного конденсатора прямо пропорциональна расстоянию между ними. Раздвигая пластины заряженного конденсатора, мы вроде бы можем неограниченно увеличивать эту разность потенциалов. Нет ли здесь противоречия?

Мы никогда не должны забывать, что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает, и что в этой области каждая новая открытая земля позволяет предположить существование еще не известных нам необъятных континентов.

Луи де Бройль

Урок 16. ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Постепенно развивая и совершенствуя свои знания об электрическом заряде, человек нашел ему применение буквально во всех сферах своей жизни!

Цель урока: Систематизировать и обобщить знания учащихся по электростатике по плану изучения теории.

Тип урока: повторительное обобщение.

Оборудование: обобщающая рисуночная таблица "Электростатика", кинофильм "Электростатика", зачетные папки.

План урока:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Демонстрация кинофильма
4. Задание на дом

II. Заполнение таблицы:

Физическая теория

Электростатика

I. Основание:

1.1. *Наблюдения:* электризация тел, взаимодействие наэлектризована тел.

1.2. *Эксперименты:* опыты с электрометром, опыты с чувствительными весами, спектры электрических полей, опыты с раздвижным конденсатором.

1.3. *Основные понятия:* Электрический заряд, электрическое поле напряженность поля. Потенциал, работа электростатического поля, напряжение, электроемкость, конденсатор, проводник, диэлектрик.

1.4. *Модель:* изображение полей с помощью силовых линий.

II. Ядро теории

2.1. *Постулаты:*

2.2. *Законы:* Источниками электрического поля являются электрические заряды: $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$; $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$; $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots + \vec{E}_N$; $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \ldots + \varphi_N$; $A = q\Delta\varphi$; $C = \frac{q}{U}$.

2.3. *Константы:* $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ *Ф/м;* $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл.*

III. Следствия.

3.1. *Формулы-следствия:* $F = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}; \varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}; E = \frac{U}{d}; C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = \varepsilon \cdot C_0; W_C = \frac{CU^2}{2}$.

3.2. *Экспериментальная проверка:* опытная проверка закона Кулона, измерение емкости конденсатора.

3.3. *Границы применимости:* Только для неподвижных зарядов в электростатических полях.

3.4. *Практические применения:* Определение электроемкости конденсатора, антистатики, экраны, конденсаторы. Объяснение явлений: электризации, электростатической индукции, поляризации диэлектриков.

Пользуясь структурной схемой изучения любой физической теории, выясните, к каким структурным элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Электрическая постоянная ε_0=8,85·10^{-12} Ф/м.
2. Источниками электрического поля являются электрические заряды.
3. Электрическое поле - вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами.
4. Напряженность электрического поля - свойство поля действовать на электрический заряд с некоторой силой, измеряемое в данной точке отношением этой силы к величине заряда.
5. Два точечных неподвижных заряда взаимодействуют друг с другом в вакууме с силой, величина которой прямо пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.
6. Граммофонная пластинка, потертая сухой тряпкой, притягивает пыль.
7. Напряженность электростатического поля внутри равномерно заряженной сферы равна нулю.
8. Электрические поля наглядно изображают с помощью силовых линий.
9. Законы электростатики можно применять только для неподвижных электрических зарядов в электростатических полях.
10. В опытах Милликена-Иоффе был измерен элементарный электрический заряд.

III. Демонстрация кинофильма.

АНАЛОГИЯ МЕЖДУ ГРАВИТАЦИОННЫМ ПОЛЕМ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ.

Электростатическое поле	Гравитационное поле
Электрический заряд, q	Гравитационный заряд, m
Напряженность поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$	Напряженность поля: $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$
Электрическая сила: $\vec{F}_э = q\vec{E}$	Сила тяжести: $\vec{F}_T = m\vec{g}$
Закон Кулона: $F = k\frac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{r^2}$	Закон всемирного тяготения: $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$
Потенциал поля: $\varphi = \frac{W}{q}$	Потенциал поля: $\varphi = \frac{W}{m}$
Работа поля: $A' = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$	Работа поля: $A' = m(\varphi_1 - \varphi_2)$
Потенциал поля точечного заряда: $\varphi = k\frac{Q}{r}$	Потенциал поля точечного гравитационного заряда: $\varphi = -G\frac{M}{r}$
Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов: $W = k\frac{q_1 q_2}{r}$	Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных гравитационных зарядов: $W = -G\frac{mM}{r}$

Вопрос: В гравитационном поле Земли при отсутствии сопротивления воздуха все тела движутся с одинаковым ускорением, а в однородном электрическом поле заряженные тела движутся с разным ускорением. Почему?

Дополнительные задачи и вопросы:

1. В древние времена люди думали, что Земля плоская. Вообразите, что Земля действительно не шар радиусом R, а бесконечная пластина толщиной H. При каком значении H ускорение свободного падения в этой модели не будет отличаться от ускорения свободного падения на поверхности сферической Земли?

Если бы Земля была плоской, то как бы это мы могли обнаружить? Оказавшись на плоской Земле, растения стали бы расти прямо только в самом центре диска — на карте плоскоземельщиков это Северный полюс. В остальных местах же деревья отклонялись бы к краям диска, а у самых краёв стелились бы по земле. Из-за гравитационного вектора, направленного к центру диска, вещи бы падали вертикально вниз только на полюсе. Путешествия стали бы весьма нелёгким занятием, потому что любое удаление от центра диска ощущалось бы как подъём в гору. А тем смельчакам, которым захотелось бы посетить край Земли, понадобилось бы альпинистское снаряжение, потому что на финальном этапе им пришлось бы ползти, вонзая ледорубы в поверхность планеты. Горизонтальное путешествие стало бы похоже на восхождение по отвесной скале. Вся атмосфера начала бы сосредотачиваться в середине плоскости. В результате в центре диска имелась бы область воздуха с высокой плотностью и давлением, а по краям образовался бы космический вакуум. Вся вода на плоской Земле сосредоточилась бы в центре мира, образовав там огромный океан. И чем дальше от центра, тем более засушливым становился бы климат.

2. Мы живем в трехмерной Вселенной. Как зависела бы от расстояния напряженность электрического (гравитационного поля) поля точечного заряда, если бы мы жили в двухмерной Вселенной? В одномерной?
3. Если бы мы жили внутри воздушного пузыря радиусом 6400 км, который бы существовал посреди бесконечной и твердой Вселенное со средней плотностью Земли, то чему равнялось бы ускорение свободного падения на этой планете?

4. Какова напряженность гравитационного поля Земли на высоте, равной двум радиусам Земли?
5. Что случилось бы, если бы Земля была внутри пустой?
6. Определить, в какой точке (считая от Земли) на прямой, соединяющей центры Земли и Луны, напряженность поля тяготения равна нулю.
7. Определите напряженность и потенциал гравитационного поля бесконечной пластины толщиной d и плотностью ρ (используйте теорему Гаусса).
8. Известны картины электрических полей для систем заряженных тел. Почему, несмотря на глубокую аналогию электрического взаимодействия с гравитационным, мы не имеем дела с похожими картинами сил тяготения, не изучаем теории подобных гравитационных явлений?
9. По гладкой горизонтальной направляющей длиной 2ℓ скользит бусинка массой m с положительным зарядом q_0. На концах направляющей закреплены одинаковые положительные заряды q. Найти период малых колебаний заряда q_0.
10. Поверхность нагретой отрицательно заряженной нити электрон покидает со скоростью 20 м/с. Какую скорость он будет иметь на расстоянии 2 см от ее центра? Линейная плотность заряда нити $2\cdot10^{-9}$ Кл/м, радиус нити 0,5 мм.
11. В бесконечной Вселенной с евклидовой геометрией и ненулевой средней плотностью вещества гравитационный потенциал всюду принимает бесконечное значение (парадокс Неймана — Зелигера). Объясните.
12. В современной космологии учёт гравитации приводит к выводу о том, что однородное изотермическое распределение вещества во Вселенной не является наиболее вероятным и не соответствует максимуму энтропии. Почему это так?
13. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью 400 нКл/м^2, и бесконечной прямой нитью, заряженной с линейной плотностью 100 нКл/м. На расстоянии 10 см от нити находится точечный заряд 10 нКл. Определить силу, действующую на заряд, ее направление, если заряд и нить лежат в одной плоскости, параллельной заряженной плоскости.
14. Исследуется взаимодействие металлического шара и положительно заряженной частицы, находящейся на постоянном расстоянии от него. Когда шар зарядили положительно, то оказалось что шар притягивается к частице с силой F_1. Когда заряд шара удвоили, сила стала F_2. Какой будет сила их взаимодействия, если заряд шара утроить?
15. По полуокружности радиусом 0,1 м равномерно распределен заряд с линейной плотностью 0,2 мкКл/м. Найти напряженность электрического поля в центре полуокружности.
16. На мыльном пузыре равномерно распределен заряд q. Коэффициент поверхностного натяжения σ. Найти радиус пузыря.
17. Заряженная частица, помещенная в электрическое поле, увеличивает свою кинетическую энергию. Какая энергия при этом уменьшается? Объясните.
18. По сфере радиуса R равномерно распределен заряд q. Определить давление изнутри на поверхность сферы, обусловленное взаимодействием зарядов.
19. Два металлических шарика радиусом r с зарядами q на каждом расположены на расстоянии a друг от друга и на очень больших равных расстояниях от Земли. Первый шар заземляют и заземляющий проводник убирают. Затем такую же процедуру проделывают со вторым шариком. После этого снова заземляют первый шар и т. д. Каким будет отношение зарядов шаров после n заземлений второго шара?
20. Почему в опытах по электростатике человека устанавливают на изолирующую поставку?
21. Вычислите потенциал, создаваемый тонким равномерно заряженным стержнем с линейной плотностью заряда 10 нКл/м, расположенной на оси стержня и удаленной от ближайшего конца стержня на расстояние, равное длине стержня. 62 В.
22. Вследствие различных атмосферных процессов земной шар обладает отрицательным

электрическим зарядом. Он создает у поверхности Земли вертикальное электрическое поле, средняя напряженность которого $E_0 \approx 130$ В/м. Это поле приводит к тому, что на поверхности любого проводящего тела (в частности, тела человека) возникают индукционные электрические заряды. Поскольку эти заряды — статические, мы их никак не чувствуем. Однако, когда мы изменяем положение своего тела в пространстве, они перетекают из одних мест в другие, то есть в нашем теле возникают электрические токи. а) Оцените время, за которое лежащий человек должен вскочить с кровати, чтобы почувствовать удар электрического тока. Минимальный ток, который чувствует человек $I_0 \approx 1$ мА, электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ Ф/м. Размеры тела человека ваши собственные. б) Оцените мышечное усилие, которое должен развить человек, чтобы выполнить подобное упражнение.

23. Вблизи высоковольтного провода, упавшего на землю, потенциал поля изменяется по закону $\varphi = \dfrac{10000}{1 + Ar}$, где φ — потенциал, В; А = 0,90 м$^{-1}$; г — расстояние от провода, м. Определите ближайшее к проводу безопасное положение человека, идущего по направлению к проводу. Длина шага человека 0,50 м, сопротивление между подошвами ног 500 кОм, допускаемая сила тока 1,0 мА. 2,2 м. Производная $\dfrac{d\varphi}{dr} = -\dfrac{10000A}{(1+Ar)^2} = -\dfrac{IR}{\ell}$

Вопросы:

1. Какое из явлений не может быть объяснено электризацией тел:
   - Любители покататься на лыжах ночью иногда замечают, что лыжи в темноте светятся. Что вызывает это свечение?
   - Почему отмывание танкеров для перевозки нефти с помощью струи воды, подаваемой в шланг под давлением, иногда приводило к взрывам?
   - Движущийся автомобиль заряжается при контакте шин с мостовой, электроны могут растечься по всему металлическому корпусу автомобиля, зарядив его до потенциала 10 000 В и более. Почему?
   - Если вы, работая на компьютере, начнете снимать свитер, компьютер может выйти из строя. Почему?
   - Почему пищевые продукты в миске из нержавеющей стали и накрываемые алюминиевой фольгой окисляются?
   - Помещая положительный заряд около положительной обкладки конденсатора и отлавливая его около отрицательно заряженной обкладки, можно получить неограниченный источник энергии. Почему этого не происходит?
2. Какую энергию потребовалось бы затратить, чтобы разобрать Землю на отдельные кусочки с удалением их в бесконечность?
3. Зачем элементы наружной обшивки летательных аппаратов тщательно электрически соединяются друг с другом, а неметаллические элементы металлизируются.
4. Ввиду того, что электрическая ёмкость самолёта, находящегося в воздухе, невелика, разряд «облако-самолёт» обладает существенно меньшей энергией по сравнению с разрядом «облако-земля». Почему?
5. Во сколько раз уменьшится сила притяжения двух маленьких шариков, один из которых заряжен, а другой нейтрален, если расстояние между шариками увеличить вдвое?
6. В пространство вблизи бесконечной плоской тонкой равномерно заряженной сетки влетает электрон. Какими будут траектории движения электрона при изменении величины его начальной скорости, если сетка заряжена: а) положительно; б) отрицательно?

IV. Упр.10, № 5,6.

1. Составьте обобщающую таблицу по электростатике, используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Может ли электростатическое поле Земли поднять заряженную нить паутины и паука?

3. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с законами электростатики.

Все люди от природы стремятся к знанию.

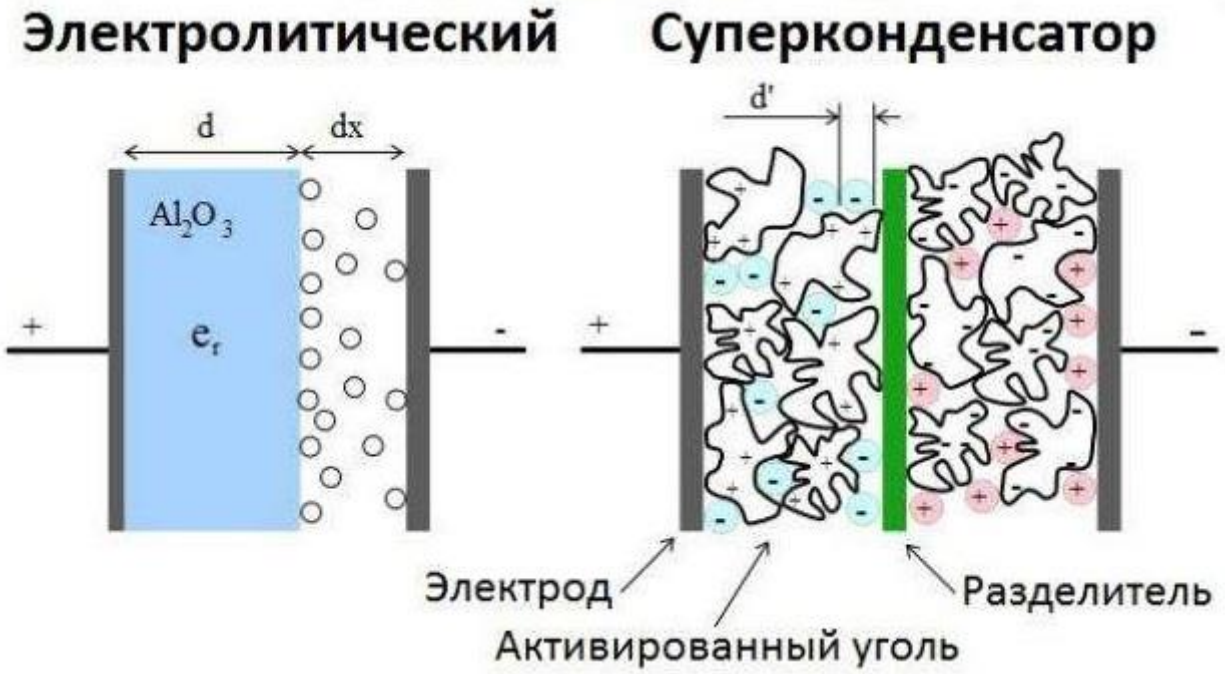
Аристотель

Урок 17.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

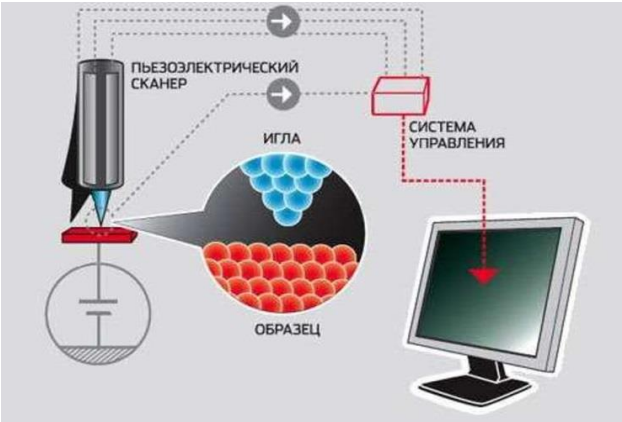
Твой учитель не тот, кто тебя учит, а тот, у кого учишься ты.

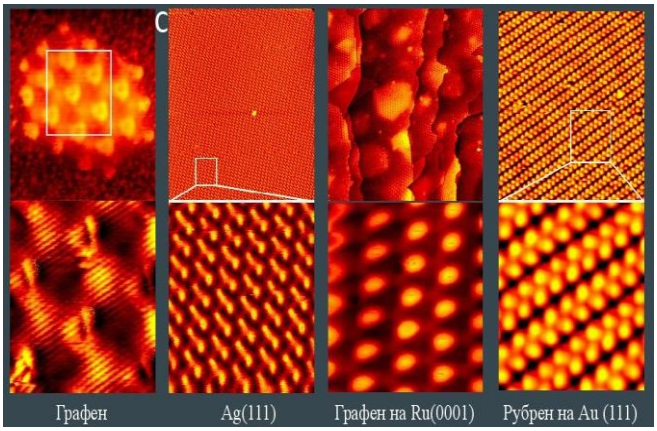
Дополнительная информация. Ионисторы (суперконденсаторы) — эффективные устройства, занимающие среднее положение между конденсаторами и химическими аккумуляторами. Как у конденсаторов, у ионисторов имеются проводящие электроды из пористых материалов — «обкладки». Как у аккумуляторов, пространство между ними заполняет проводящий электролит, разделенный проницаемой для ионов мембраной. Подача напряжения на электроды позволяет накапливать заряды, разделяя их по разные стороны мембраны. При этом использование негорючих электролитов делает такую систему весьма безопасной. Расстояние между «обкладками» ионистора крайне мало за счёт использования электролитов, а площадь пористых материалов обкладок — колоссальна, то и запасённая ионистором энергия выше по сравнению с обычными конденсаторами того же размера. Типичная ёмкость ионистора — несколько фарад при номинальном напряжении 2—10 вольт.



Теперь в моду входит «нано».

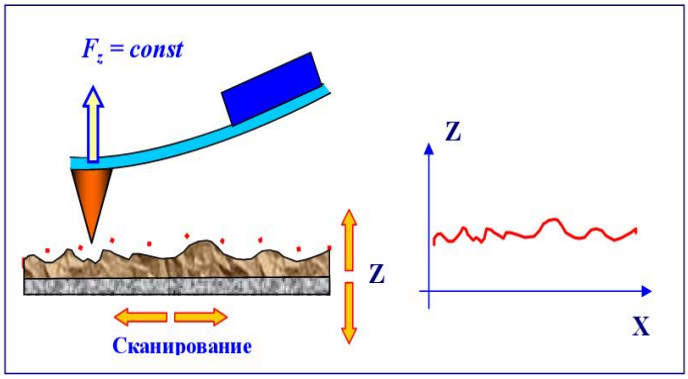
Дополнительная информация. Идея сканирующего туннельного микроскопа довольно

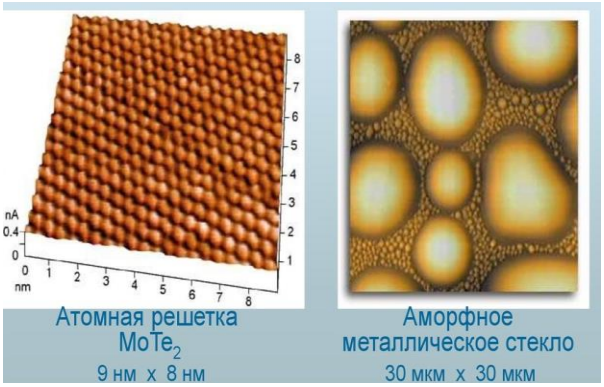




проста: вместо рассеивания частиц (фотонов, электронов или атомов инертных газов) попытаться ощупать поверхность образца напрямую. В этом ученым помог хорошо известный на тот момент туннельный эффект. Возьмем две металлические пластинки, между которыми создадим электрическое напряжение. Если расстояние между пластинами при этом не слишком велико, то можно зафиксировать туннельный ток. При сближении пластин сила тока очень резко возрастает. Немного сдвинем иглу вбок по горизонтали, совсем чуть-чуть. Если ток возрос, значит, расстояние от иглы до поверхности сократилось. Это может говорить о том, что рядом с нашей первой точкой на поверхности находится небольшой выступ. Или что мы перемещаем иглу под углом к поверхности — это было бы нежелательно. Зная, что туннельный ток сильно зависит от расстояния, мы можем взять наше первое измерение за точку отсчета и построить карту поверхности, очень точно перемещая иглу в горизонтальной плоскости вокруг нее. Пьезоэлектрики меняют свои размеры, если подать на них напряжение (и наоборот, создают напряжение, если попытаться их сжать — этот эффект работает в «щелкающих» зажигалках). Изменения размеров очень малы и хорошо описаны — поместив пьезоэлектрик под образец и медленно наращивая напряжение на нем, мы сможем смещать интересующую нас поверхность с огромной точностью — вверх, влево или вправо. Современные моторы позволяют добиться смещений на порядки меньше размеров атома.

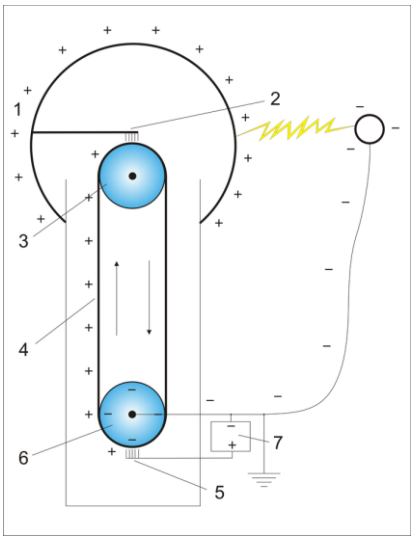
Одновременно с развитием сканирующей туннельной микроскопии возникали сходные





зондовые методы — например, в 1986 году группа Герда Биннинга представила атомный силовой микроскоп. Вместо того чтобы пропускать электрический ток между поверхностью и иглой, прибор использовал настоящее, почти механическое, ощупывание образцов. Главным элементом этого прибора был кантилевер — атомарно острая игла, прикрепленная на покачивающуюся балку. Когда игла приближается к поверхности, на нее начинают действовать силы Ван-дер-Ваальса — притяжения и отталкивания между атомами. Эти силы немного изменяют характер колебания иглы, что и фиксирует электроника.

Генератор Ван де Граафа



Генератор Ван де Граафа — электростатический генератор высокого напряжения, принцип действия которого основан на электризации движущейся диэлектрической ленты. Простой генератор состоит из диэлектрической (шёлковой или резиновой) ленты 4, вращающейся на роликах 3 и 6, причём верхний ролик диэлектрический, а нижний металлический и соединён с землёй. Один из концов ленты заключён в металлическую сферу 1. Два электрода 2 и 5 в форме щёток находятся на небольшом расстоянии от ленты сверху и снизу, причём электрод 2 соединён с внутренней поверхностью сферы 1. Через щетку 5 воздух ионизируется от источника высокого напряжения 7,

образующиеся положительные ионы под действием силы Кулона движутся к заземлённому 6 ролику и оседают на ленте. Движущаяся лента переносит заряд внутрь сферы 1, где он снимается щёткой 2. Под действием силы Кулона заряды выталкиваются на поверхность сферы, и поле внутри сферы создаётся только дополнительным зарядом на ленте. Таким образом, на внешней поверхности сферы накапливается электрический заряд. Возможность получения высокого напряжения ограничена коронным разрядом, возникающим при ионизации воздуха вокруг сферы. Напряженность электрического поля вблизи выступов больше, чем на ровной поверхности, поэтому для уменьшения коронирования поверхность сферы тщательно шлифуют. Напряженность поля, при котором возникает коронный разряд на воздухе при нормальном атмосферном давлении, составляет примерно 30 кВ/см. Поэтому для получения больших разностей потенциалов размер сферы увеличивают (до 10 м в диаметре). Самый мощный генератор Ван де Граафа построенный в истории выдавал напряжение в 20 МВ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. − М.: Дрофа,2002.
4. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе.- М.: Просвещение, 1972.
5. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
6. Д. Джанколи. Физика.- М.: Мир,1989.
7. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
8. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
9. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
10. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
11. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
12. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
13. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. Кн.2. Электродинамика. Оптика. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
14. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
15. А.А. Найдин. Электрическая емкость. Конденсаторы.. //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 19,2010 г.
16. А.А. Найдин. Система задач из одной задачи?! //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 8,2011 г.
17. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
18. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
19. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016.
20. Горлач В. В. Методы решения физических задач. – М.:ООО Юрайт, 2024.
21. К о н д р а т ь е в А. С., У з д и н В. М. Физика. Сборник задач. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 392 с. — ISBN 5-9221-0579-5.
22. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru