

*Если ты не собираешься идти до конца, то зачем идёшь вообще?*

*Давид Вилья*

## **ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК)**

### **Введение**

Физика изучает физические явления и физические объекты. Традиционный путь познания ведет от наблюдения физического явления к построению экспериментальной установки, с помощью которой данное явление воспроизводится в лаборатории. В последующих экспериментах вводятся физические величины, как свойства объекта или происходящего с ним процесса, и устанавливаются связи между ними. Каждую такую связь, выраженную математически в виде формулы, уравнения или графика, называют физическим законом. Некоторые законы, из которых, при их применении к конкретным физическим объектам, можно получить (вывести) все остальные, образуют основное содержание физической теории – ее ядро. Именно из ядра выводится многообразие следствий! [1,2] Приведенная упрощенная схема позволяет объективно оценить ту фундаментальную роль, которая принадлежит физическим величинам в процессе научного познания и в процессе изучения физики. С учетом этой их роли можно утверждать, что **физика – наука о физических величинах, их изменениях и связях между ними**. Цель курса физики – не столько усвоение частных фактов, сколько постижение методов физики и физической картины мира. Важное средство на пути к этой цели – единый научно обоснованный подход к изучению физических величин. Что же такое физическая величина? «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. ГОСТ 16263 – 70» – так определяется термин «физическая величина». «2.1. Физическая величина. Свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта». Хотя формулировка ГОСТа точно указывает смысл этого понятия, она слишком сложна и в такой степени не совсем пригодна для практического использования. Учитывая это замечание, термин «физическая величина» кратко можно определить так: **«Физической величиной называют измеримое свойство физического объекта или происходящего с ним процесса»**. Так уж устроено наше мышление, что его объекты должны быть обозначены! Именно образы понятий составляют базовую основу физического знания. Такой сжатый образ должен включать название физической величины, ее обозначение, физический смысл определяемой величины и способ ее измерения. Исходя из этого, можно

предложить простой алгоритм определения физической величины: **название величины – обозначение (векторная или скалярная) - качественное содержание свойства (физический смысл) - способ измерения (прямой или косвенный)**. В качестве примера применения данного алгоритма дадим определение магнитной индукции, которое может быть сообщено учащимся после изучения данного свойства магнитного поля и их ознакомления со способом его измерения. **Магнитная индукция ( $\vec{B}$ ) – свойство магнитного поля оказывать на рамку с током ориентирующее действие, измеряемое в данной точке пространства отношением максимального момента сил, действующих на рамку с током, к ее площади и силе электрического тока в ней.** После изучения силы Ампера, определение приобретает следующее содержание: **Магнитная индукция ( $\vec{B}$ ) – свойство магнитного поля действовать на проводник с током с некоторой силой, измеряемое отношением максимальной силы, действующей в данной точке пространства на проводник, к его длине и силе электрического тока в нем.** После изучения силы Лоренца определение этого понятия приобретает законченный вид: **Магнитная индукция ( $\vec{B}$ ) – свойство магнитного поля действовать на движущуюся заряженную частицу с некоторой силой, измеряемое отношением максимальной силы, действующей в данной точке на движущуюся заряженную частицу, к ее заряду и скорости.** Реализуемый нами единый подход к изучению физических величин в школе и результаты конкретной педагогической практики позволяют говорить о преимуществах этого подхода по сравнению с другими методами:

- При определении величины используется один термин – «свойство».
- Формируется алгоритм изучения величины и ее определения.
- В определении указывается физический смысл величины и способ ее измерения.
- В процессе изучения величины создается ее зрительный образ.
- Аналогичный подход можно распространить и на другие структурные единицы знания: объекты, явления, законы, теории, приборы, единицы величин.

Приняв эти утверждения за аксиомы, попробую на примерах в книге показать, как методически правильно можно сформировать эти целостные образы.

Учитель физики НБМОУ "Гимназия № 44"

А. Найдин

## Оглавление

1. Введение .....	2-3
2. Постоянный ток.....	4-37
3. Магнитное поле.....	38-77
4. Электрический ток в различных средах .....	78-136
5. Литература.....	137

*Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.*

*Анатолий Найдин*



г. Новокузнецк

2014 г

*Природа - единственная книга, каждая страница которой полна глубокого содержания.*

*Галилей*

*Всё мирозданье говорящий Дух*

*И песня Жизни льётся миру вслух.*

*Ибн-аль-Фарид «Большая касыда»*

*Не иди туда, куда ведет дорога. Иди туда, где дороги нет, и оставь свой след.*

*Ральф Уолдо Эмерсон*

## **ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ТЕМЕ: ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**



*У физиков есть привычка брать простейший пример какого-то явления и называть его «физикой», а примеры посложнее отдавать на растерзание другим наукам...*

*Ричард Фейнман*

Чем запомнился ушедший год в мире физики? Решением проблемы радиуса протона. Достижением сверхпроводимости при  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  (правда, при давлении в миллион атмосфер). Созданием самого мощного магнита во Флориде и самого мощного лазера в Румынии. И конечно, заявлением Google о том, что квантовые компьютеры достигли квантового превосходства.

Радость видеть и понимать, есть самый прекрасный дар природы.

А. Эйнштейн

Урок 19/1

## СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Что такое электрический ток?

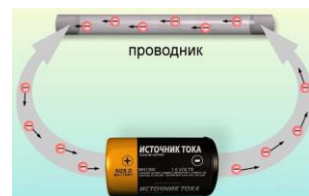
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Развить понятие "электрический ток". Познакомить учеников с основной характеристикой электрического тока - силой тока. Научить их производить измерение силы электрического тока по его действиям.

**ТИП УРОКА:** лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** амперметр демонстрационный, электромагнит разборный, магнитная стрелка на подставке, ванна электролитическая с раствором медного купороса, лампа на подставке, блок питания, электроды угольные.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II.** В разделе "Электростатика" изучалось взаимодействие неподвижных заряженных тел посредством электростатических полей.

В разделе "Постоянный электрический ток" мы будем изучать движение заряженных частиц с постоянной скоростью и связанные с этим движением эффекты: взаимодействие проводников с током, действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы, магнитные свойства вещества.

Что такое электрический ток? Демонстрация с двумя электрометрами, один из сферических кондукторов заряжен отрицательно. До соединения кондукторов металлическим проводником свободные заряды в нем двигались хаотически, однако после соединения их хаотическое движение сменилось упорядоченным. Почему? Хаотическое, упорядоченное и направленное движение частиц (пример с пчелами, крылышки которых несут электрический заряд). Такое их упорядоченное одностороннее движение называется постоянным током.

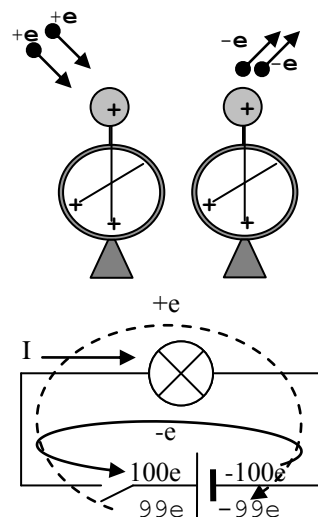
**Электрическим током называют упорядоченное или направленное движение свободных заряженных частиц в среде.**

Электрический ток обладает свойством переносить электрический заряд через поперечное сечение проводника. **За направление электрического тока принято направление движения положительно заряженных частиц в среде или направление, обратное движению отрицательно заряженных частиц.**

Простейшая электрическая цепь (схема на доске). Переход электрона с клеммы "-" на клемму "+" источника тока эквивалентен переносу элементарного заряда  $e$  с клеммы "+" на клемму "-". Если за время  $t$  через спираль лампочки прошло  $N$

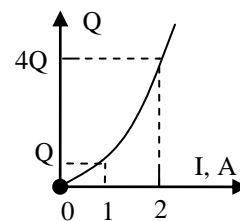
электронов, то  $q = Ne$  и  $I = \frac{q}{t} = \frac{Ne}{t}$ . Единица силы тока в Си: 1 А

= 1 Кл/с. Чтобы измерить силу тока, необходимо измерить  $N$  и  $t$ . Можно ли это сделать? Нет!



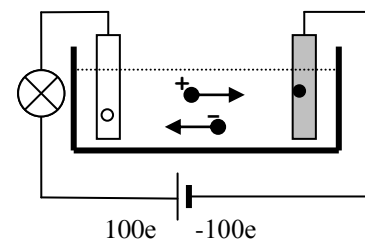
Почему? Невозможно сосчитать число электронов?!

Демонстрация **теплового действия** электрического тока. Зависит ли тепловое действие от направления тока? От силы тока?  $Q = I^2 R t$ . Можно ли измерить силу тока в проводнике по его тепловому действию? Да, но метод не оперативен и очень неточен! Почему?



Демонстрация **химического действия** электрического тока? Зависит ли химическое действие электрического тока от его направления? Да! Катод и анод.

Греческое «катодос» (kathodos) означает сходжение, спуск. Соответственно «анодос» (anodos) — путь вверх.



**Металл всегда выделяется на катоде!** Масса выделившегося на катоде металла  $m = N \cdot m_0$ , перенесенный заряд  $q = N \cdot q_0$ .

Объединяя, получим:  $m = \frac{m_0}{q_0} q = kq = kIt$ . Сила электрического тока (**I**) - свойство

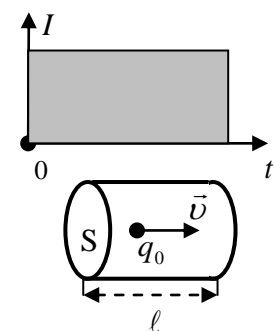
тока переносить электрические заряд, измеряемое отношением перенесенного за данный промежуток времени заряда, к этому промежутку времени.

Можно ли установить единицу силы тока по его химическому действию? Да! Почему этот метод не оперативен? Демонстрация **магнитного действия** электрического тока. Зависит ли магнитное действие от направления тока в проводнике? Да! А от силы тока? Да! Единица силы тока, устанавливаемая по его магнитному действию (демонстрация опыта Эрстеда). **Сила электрического тока (I) - свойство тока переносить электрический заряд, измеряемое по его магнитному действию в амперах.**

Почему единицу силы тока устанавливают по его магнитному действию?

Прибор для измерения силы электрического тока - амперметр. Абсолютная погрешность при измерении силы тока лабораторным амперметром:  $\Delta I = 0,05 \text{ A}$ .

**Измерение электрического заряда:  $q = I \cdot t$ .** Единица электрического заряда в Си:  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ с}$ . График силы тока. Перенесенный током электрический заряд равен площади фигуры под графиком силы электрического тока в координатах I, t.



**Формула для силы электрического тока в проводнике:  $I = q_0 n \bar{v} S$ .**

Если  $I = 1 \text{ A}$ ,  $S = 1 \text{ мм}^2$ ,  $n = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$  (медь), то  $\bar{v} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ .

Какую роль в электрической цепи играет источник тока? Потенциал какой из клемм источника тока выше и на сколько, если напряжение между ними 10 В, 4,5 В? Потенциальная энергия электрона на клемме "-" источника тока положительная, а на клемме "+" отрицательная. При замкнутой внешней цепи электроны «падают» с клеммы "-" на клемму "+", перенося электрический заряд. Внутри источника тока сторонние силы перемещают электроны в обратном направлении, сообщая им энергию. На какой из клемм источника тока положительный заряд 1 Кл имеет большую потенциальную энергию и насколько большую? Какую работу произведет электрическое поле, перемещая заряд q между клеммами источника тока?

$$A' = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = qU.$$



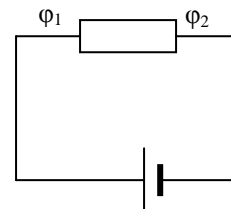
Каков характер "падения" заряженных частиц с клеммы "+" на клемму "-" источника тока в среде, оказывающей сопротивление?

Условия, необходимые для существования тока в электрической цепи:

- Цепь должна быть составлена из проводящих ток элементов.
- Наличие напряжения на клеммах (электрического поля в проводнике).

Если в проводе есть хотя бы крошечный разрыв, сообщение не распространится, как крик на Луне, лишенной атмосферы.

Прибор для измерения электрического напряжения - вольтметр. Абсолютная погрешность при измерении напряжения лабораторным вольтметром:  $\Delta U = 0,1 \text{ В}$ .



### III. Задачи:

1. Сколько электронов проходит через поперечное сечение металлического проводника за 1 нс при силе тока 48 мкА? *Не думай о наносекундах свысока!*
2. В одном из электронных синхротронов электроны движутся по приблизительно круговой орбите длиной 240 м. Во время цикла ускорения на этой орбите обращается обычно  $10^{15}$  электронов. Скорость электронов практически равна скорости света. Чему равна сила тока?
3. Сколько электронов проходит каждую секунду через поперечное сечение зонда диаметром 10 нм при плотности туннельного тока  $7 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2$ ?

### IV. §§ 52,53. Упр. 10, № 1-2.

1. Составить обобщающую таблицу "Сила электрического тока", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Положив в основу наблюдаемые действия электрического тока, предложите конструкцию прибора для измерения силы тока.

*Переход электричества от одного участка к ближайшему я принял пропорциональным электродвижущей силе в каждом участке подобно переходу теплоты, который пропорционален разности температур.*

*Георг Ом*

Урок 20/2.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Что опаснее для человека - ток или напряжение?

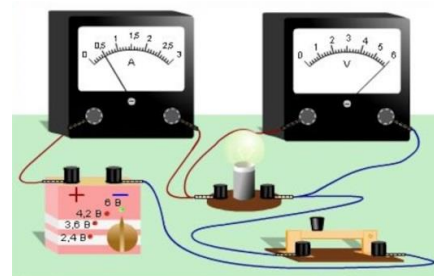
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Повторить закон Ома для участка электрической цепи. Развить понятие "электрическое сопротивление".

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** выпрямитель ВС-24, амперметр и вольтметр демонстрационные, ключ, соединительные провода, магазин сопротивлений, прибор для демонстрации зависимости сопротивления металлического проводника от температуры.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электрический ток. 2. Сила электрического тока. 3. Условия, необходимые для существования электрического тока в среде.

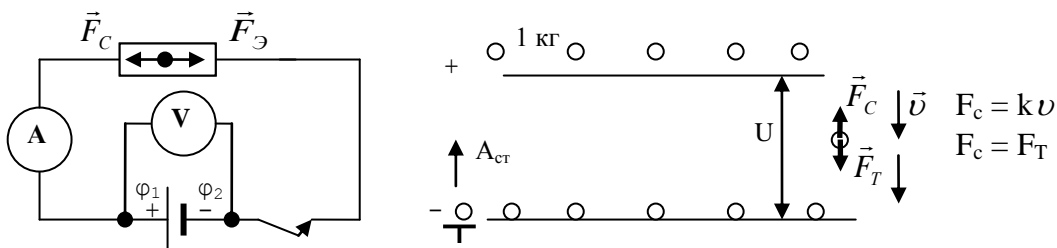
**Задачи:**

1. Из медного провода площадью поперечного сечения  $0,5 \text{ мм}^2$  свита круглая петля радиусом 50 см. Чтобы совершить один оборот в петле, электрону требуется в среднем 10 ч. Какой ток идет по проводу? Считать, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости.
2. Ток в проводнике меняется со временем по закону  $I = 4 + 2t$ . Какой заряд пройдет через поперечное сечение проводника за время от  $t_1 = 2 \text{ с}$  до  $t_2 = 12 \text{ с}$ ?
3. Предположим, что в атоме водорода электрон движется вокруг протона по круговой орбите радиуса  $5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ . Чему равен ток, обусловленный движением электрона вокруг протона?
4. Ширина ленты генератора Ван де Граафа  $d = 20 \text{ см}$ . Заряженный участок ленты движется вертикально вверх со скоростью, модуль которой  $v = 10 \text{ см/с}$ . Поверхностная плотность избыточных зарядов на ленте  $\sigma = 40 \text{ мкКл/м}^2$ . Определите направление и силу электрического тока, обусловленного движением ленты.
5. Максимально допустимая плотность тока в медном проводнике  $10 \text{ А/мм}^2$ . Чему равна скорость дрейфа электронов?

**Вопросы:**

1. Из каких опытов можно заключить, что электрический ток имеет определенное направление?
2. Почему единицу силы тока устанавливают по его магнитному действию?
3. Напряжение на участке цепи 2 В. Объясните, что это означает?
4. В металлической трубе переменного сечения движется электрон. Изменится ли его скорость при прохождении сужения?
5. Где больше средняя скорость упорядоченного движения электронов: в нити лампы или в проводах, подводящих к ней ток?
6. Есть ли внутри проводника с током электрическое поле?
7. Если электрический заряд переносится свободными заряженными частицами, то нельзя ли его измерять в граммах?
8. Два металлических одноименно заряженных шара соединены проводником. Может ли электрический заряд перетекать от шара, имеющего меньший заряд, к шару, имеющему больший заряд? При каком условии?

**III.** Простейшая электрическая цепь (рисунок на доске). Механическая аналогия простейшей электрической цепи (шарики массой 1 кг в поле силы



тяжести). На каком участке электрической цепи скорость движения свободных заряженных частиц должна быть больше? Почему она на всех участках проводника постоянного сечения одинакова? Когда такое может быть?




Аналогия: падение шариков в вязкой среде (парашютист). **Электрическая цепь оказывает сопротивление току.** Зависит ли сила тока на участке электрической цепи от приложенного напряжения и сопротивления этого участка? Объяснение справедливости закона Ома на основе аналогии (если необходимо, то экспериментальная проверка):  $I \sim v \sim F_c = F_g \sim E \sim U$ .

**Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.**

$$I = \frac{U}{R}$$

Измерение сопротивления проводника:  $R = U/I \rightarrow 1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/1 \text{ А}$ .

**Проводник, в котором сила тока прямо пропорциональна напряжению, называется резистором.** Резисторы используют в качестве нагрузочных и ограничивающих ток элементов, делителей напряжения, добавочных сопротивлений и шунтов в измерительных цепях. Маркировка резисторов: 

**Электрическое сопротивление (R) - свойство электрической цепи (вещества) противодействовать протекающему по ней электрическому току, измеряемое при постоянном напряжении на его концах отношением этого напряжения к силе тока.**

**Дополнительная информация.** Природа электрического сопротивления на основе электронных представлений о строении вещества: "потеря" упорядоченного движения свободными заряженными частицами в проводнике при их взаимодействии с ионами кристаллической решетки и друг с другом. Электроны, которые переносят электрический заряд в металле, ведут себя так, как автомобили на улицах Москвы, то есть они движутся крайне неупорядочно: кто-то останавливается, кто-то сзади на него наезжает, кто-то, наоборот, ускоряется и обгоняет — в результате образуется пробка, из-за этих пробок и возникает сопротивление. От чего зависит сопротивление проводника? От вещества, из которого он сделан, от толщины проводника и от длины проводника. Зависимость электрического сопротивления проводника от его **длины** (реостаты), поперечного сечения и материала. Удельное сопротивление материала проводника:  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

Почему сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения и материала? Студент на вопрос, как измерить проводимость, скопил приятеля от смеха наповал: Раз проводимость величина обратная сопротивлению, то ток надо пропускать в другую сторону. Демонстрация зависимости сопротивления проводника от его температуры.

**Температурный коэффициент сопротивления:**  $R = R_0(1 + \alpha t) \rightarrow \rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ . Действие **электрического термометра** основано на изменении электрического сопротивления проводников в зависимости от температур. **Платиновый термометр сопротивления** - наиболее надёжный прибор для измерений низкой температуры (вплоть до 10 К).

Границы применимости закона Ома:  $T = \text{const}$ .

#### IV. Задачи:

1. Определите электрический заряд, прошедший через поперечное сечение проводника сопротивлением 3 Ом при равномерном нарастании напряжения на концах проводника от 3 В до 6 В в течение 20 с.
2. Константановая проволока, предназначенная для изготовления термопар, имеет массу  $m = 89 \text{ г}$  и сечение  $S = 0,1 \text{ мм}^2$ . Определить сопротивление

проволоки при температуре  $t_1 = 100^\circ\text{C}$ .

3. По медному проводу сечением  $0,17 \text{ мм}^2$  течет ток  $0,15 \text{ А}$ . Определить, какая сила действует на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля. Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .
4. Сколько витков проволоки следует вплотную намотать на фарфоровую трубку радиусом  $10 \text{ см}$ , чтобы изготовить реостат сопротивлением  $50 \text{ Ом}$ ? Удельное сопротивление проволоки  $5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , ее диаметр  $2 \text{ мм}$ .

*Вопросы:*

1. Объясните, почему сопротивление проволоки зависит от его материала, длины и площади поперечного сечения.
2. Как отрезать кусок провода сопротивлением  $5 \text{ Ом}$ ?
3. Длину медной проволоки вытягиванием увеличили вдвое. Как изменилось ее сопротивление?
4. Изменится ли сопротивление вольфрамового волоска электрической лампы, рассчитанной на  $220 \text{ В}$ , если присоединить ее к источнику тока с напряжением  $4 \text{ В}$ ?
5. Имеются два мотка медной проволоки одинаковой массы, но сопротивление одного из них в  $16$  раз больше сопротивления другого. Во сколько раз различаются их диаметры?
6. Почему сопротивление кожи человека зависит от ее состояния, площади контакта, приложенного напряжения, длительности протекания тока?
7. Допустим, что мы проложили провода до Луны и собрали простейшую цепь с лампочкой. Через какое время загорится лампочка после замыкания цепи?

В 1857 году Густав Кирхгоф обнаружил, что скорость распространения сигнала по электрическому проводу равна скорости света.

**Дополнительная информация:** Тензорезистивный эффект – изменение сопротивления материала при деформации (недавно созданные материалы из алюминия и кремния изменяют свое сопротивление при ударе почти в  $900$  раз). Датчики давления и силы.

**V. § 54. Упр. 10, № 3.**

1. Предложите конструкцию и рассчитайте параметры реостата (материал провода, длина, площадь поперечного сечения), сопротивление которого можно плавно изменять от  $0$  до  $100 \text{ Ом}$  при максимальной силе электрического тока до  $2 \text{ А}$ .
2. Высота плотины – электрическое напряжение, расход воды из отверстия у основания плотины – сила тока. Удачна ли эта аналогия?
3. Вода течёт по садовому шлангу с объемным расходом  $450 \text{ см}^3/\text{с}$ . Чему равен ток электронов  $I_e$ ? Число Авогадро  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$ .
4. Длинный цилиндр, изготовленный из изолятора, покрыт по боковой поверхности тонким проводящим слоем. Во сколько раз увеличится сопротивление этого слоя, если тонким резцом прорезать его проводящий слой по винтовой линии, идущей под углом  $\alpha$  к образующей цилиндра?
5. Как изменяется сопротивление проволоки при ее растяжении? Попробуйте установить эту зависимость в пределах упругих деформаций. Предложите конструкцию и рассчитайте параметры прибора (тензодатчика), предназначенного для измерения механического напряжения. **Тензорезистор** - резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации.
6. Чему равно сопротивление резистора?



Непосредственный опыт всегда очевиден, и из него в кратчайшее время можно извлечь пользу.

Л. Больцман

Урок 21/3.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРОВОДНИКА»

**Метод критики, используемый в науке, — экспериментальная проверка!**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Научить учеников с заданной точностью измерять удельное сопротивление материала проводника.

**ТИП УРОКА:** лабораторная работа.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** источник тока, амперметр и вольтметр лабораторные. Ключ, реостат, резистор на линейке, соединительные провода, штангенциркуль.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Вводный инструктаж
3. Выполнение работы
4. Задание на дом

**II.** Схема лабораторной установки на доске. Как измерить сопротивление проводника; площадь поперечного сечения проволоки; длину проводника?

$$R = \frac{U}{I}; \quad S = \frac{\pi d^2}{4}; \quad R = \rho \frac{l}{S}; \quad \rho = \frac{U \pi d^2}{4I \cdot l}.$$

Относительная и абсолютная погрешность при измерении удельного сопротивления:

**III.** Выполнение работы:

№ п/п	$U_{пр}, В$	$I_{пр}, А$	$l_{пр}, м$	$d_{пр}, м$	$\rho_{пр}, Ом \cdot м$	$\varepsilon$
1.						

$$\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho_{пр}} = \frac{\Delta U}{U_{пр}} + \frac{\Delta I}{I_{пр}} + \frac{\Delta l}{l_{пр}} + 2 \frac{\Delta d}{d_{пр}}.$$

**IV.**

1. Сравните скорость упорядоченного движения электронов в нити накала горячей лампочки и в подводящих проводах.

*...проводящая способность металлов меняется с изменением температуры и уменьшается в том же отношении, в котором растет температура.*

Гемфри Дэви

Урок 22/4.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

**Цифра 8 – это бесконечность, повернутая на  $\pi/2$ .**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Развить представления учащихся о способах соединения проводников друг с другом и познакомить их с универсальным электроизмерительным прибором - ампервольтметром.

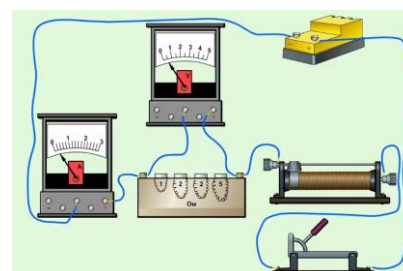
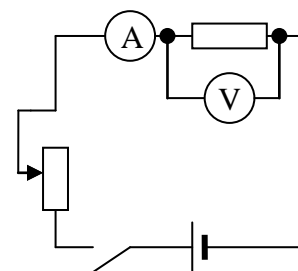
**ТИП УРОКА:** решение задач.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** выпрямитель ВС-24, панель с проволочными резисторами, амперметр и вольтметр демонстрационные, реостат, соединительные провода, ампервольтметр.

**ПЛАН УРОКА:**

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

**II.** Опрос фундаментальный: 1. Закон Ома. 2. Электрическое сопротивление.



### Задачи:

1. Какое напряжение можно приложить к катушке, имеющей 1000 витков медного провода с диаметром витков 6 см, если допустимая плотность тока  $2 \text{ А/мм}^2$ ?
2. Два изолированных металлических шарика с радиусами 2 см и 1 см находятся достаточно далеко один от другого. Шарики заряжены положительными одноименными зарядами  $q_1 = q_2 = 4 \text{ мкКл}$  и соединены прямой медной проволокой длиной 3 м. Оценить скорость направленного движения электронов в первый момент после соединения.
3. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено средой с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  и удельным сопротивлением  $\rho$ . Чему равно сопротивление такого конденсатора, если его ёмкость равна  $C$ ?

### Вопросы:

1. Как вдвое уменьшить силу тока в проводнике?
2. Какова природа электрического сопротивления?
3. Чему равно сопротивление алюминиевого провода, если такой же по длине и сечению медный провод имеет сопротивление  $3,2 \text{ Ом}$ ?
4. К источнику постоянного напряжения подключен последовательно резистор и реостат. Как изменяется напряжение на резисторе в зависимости от сопротивления реостата?
5. Железная и алюминиевая проволоки имеют равные массы и одинаковые длины. Какая из них обладает большим сопротивлением?
6. Разность давлений определяет скорость потока жидкости, разность атмосферного давления — скорость ветра, разность температур — поток тепла, разность высот — скорость потока воды в реке. А что определяет разность потенциалов?
7. Напряжение шага – напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока на землю, при одновременном касании их ногами человека. Как это понимать?

**III.** Способы соединения проводников друг с другом (краткое повторение). Существует три способа соединения резисторов: **последовательное, параллельное и смешанное**. Различают два основных вида резисторов: химические и проволочные. Химические резисторы представляют собой керамические цилиндрические тела, на который наносится тонкий проводящий слой углерода или специального металлического сплава. **Как соединить два резистора последовательно? Законы последовательного соединения резисторов.**

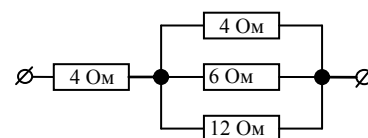
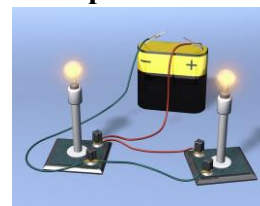
Применения: соединение ламп, делитель напряжения.

Как соединить два резистора **параллельно? Законы параллельного соединения резисторов.** *Вопрос:* Почему птицы, сидящие на проводах линии высокого напряжения, остаются невредимыми?

**Смешанное соединение** (совместное решение с учениками задачи № 1).

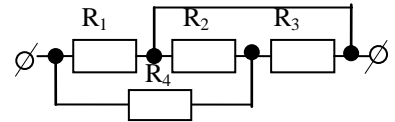
### Задачи:

1. Четыре резистора соединены по схеме, приведенной на рисунке. Напряжение между точками А и В равно 18 В. Определите общее сопротивление и токи в отдельных резисторах. По какому из трех параллельно соединенных резисторов течет наибольший ток?
2. Дуговой фонарь, требующий для своего питания напряжения 40 В и силу тока 10 А, включен в сеть с напряжением 120 В



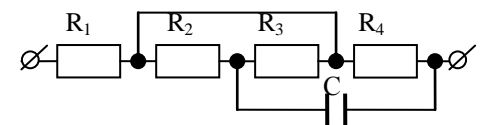
через реостат изготовленный из константановой проволоки сечением  $2 \text{ мм}^2$ . Определить сопротивление реостата и длину проволоки, необходимой для его изготовления.

3. Резистор и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К концам резистора присоединен вольтметр с сопротивлением  $4 \text{ кОм}$ . Амперметр показывает силу тока  $0,3 \text{ А}$ , вольтметр - напряжение  $120 \text{ В}$ . Определить сопротивление резистора.
4. Внешняя цепь гальванического элемента составлена из трех резисторов с сопротивлением  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$ . Найти общее сопротивление.

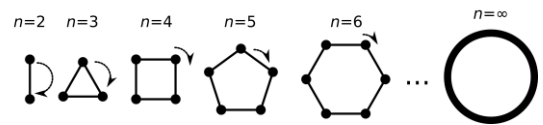


**Точки, лежащие на одном проводе, можно соединять друг с другом!**

5. Внешняя цепь гальванического элемента составлена из резисторов с сопротивлением  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$  и конденсатора емкостью  $C$ . Найти общее сопротивление цепи.

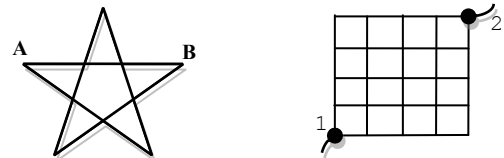
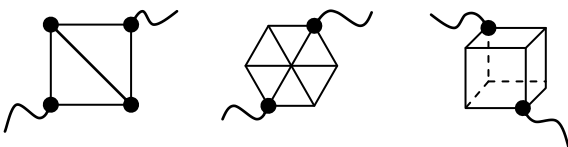


**Поворотная симметрия.** Симметрии такого рода очень легко можно представить с помощью правильных многоугольников с числом углов  $n > 1$ . Минимальный угол поворота  $\varphi_n$ , на который мы можем повернуть правильный  $n$ -угольник, чтобы он оказался тем же, что и раньше, даётся формулой:  $\varphi_n = 2\pi/n = 360^\circ/n$ .

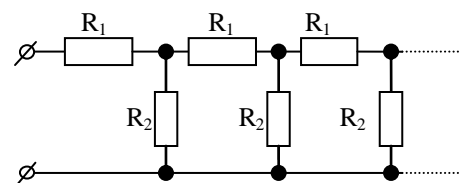


**Симметрия электрической схемы – свойство некоторых схем совмещаться с собой при поворотах вокруг некоторой оси. Точки схемы, имеющие одинаковый потенциал, можно разъединять или соединять проводом.**

**Пример:** Определите сопротивление проволочной сетки, если сопротивление каждого звена  $r$ .



**Пример:** На рисунке изображена бесконечная цепь, образованная повторением одного и того же элемента, состоящего из сопротивлений  $R_1 = 2 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ . Найти сопротивление этой цепи.



#### IV. § 55.

- При включении в сеть елочной гирлянды, спаянной из лампочек для карманного фонаря, на каждую из лампочек приходится напряжение  $3 \text{ В}$ . Почему же опасно, выкрутив одну из лампочек, сунуть в патрон палец?
- Вблизи поверхности Земли существует электрическое поле напряженностью около  $100 \text{ В/м}$ . Можно ли использовать это поле для получения электрического тока, например, подключив лампочку между головой и ногами?

*Знание и могущество - одно и то же  
Ф. Бэкон*



## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА.

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Закрепить знания, полученные учащимися на предыдущих уроках. Познакомить учеников со способами расширения пределов измерения амперметра и вольтметра.

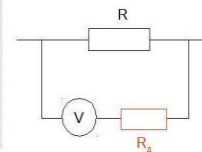
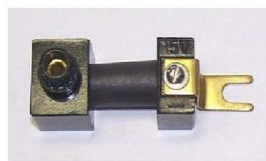


ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: выпрямитель ВС-24, амперметр и вольтметр демонстрационный с шунтами и добавочными сопротивлениями, вольтметр лабораторный, ампервольтметр, соединительные провода.

ПЛАН УРОКА:

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



II. Опрос фундаментальный: 1. Последовательное и параллельное соединение резисторов. 2. Смешанное соединение резисторов.

Задачи:

1. Рассчитайте ток через перемычку АВ в схеме, приведенной на рисунке 1. Величины сопротивлений таковы:  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = 4 \text{ Ом}$ . Напряжение на клеммах 12 В.

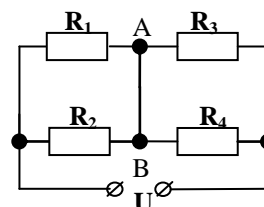
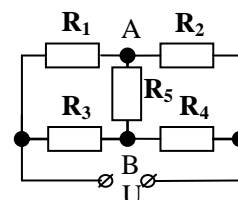


Рис. 1

Точки на одном проводе можно соединять друг с другом.

2. Имеется источник тока напряжением 6 В, реостат сопротивлением 30 Ом и две лампочки, на которых написано: 3,5 В, 0,35 А и 2,5 В, 0,5 А. Как собрать цепь, чтобы лампочки работали в нормальном режиме? Чему должно быть равно сопротивление реостата?

3. Даны сопротивления резисторов:  $R_1 = 60 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 90 \text{ Ом}$ . При каком значении сопротивления резистора  $R_4$  ток, текущий по резистору  $R_5$  будет равен нулю?



4. Вычислите показания идеальных амперметра и вольтметра в электрических цепях, схемы которых изображены на рисунках 4-7. Напряжение источника тока 6 В, сопротивления резисторов  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ .

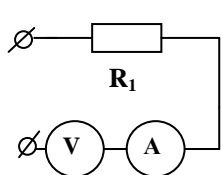


Рис. 4

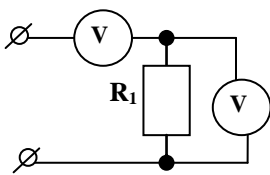


Рис. 5

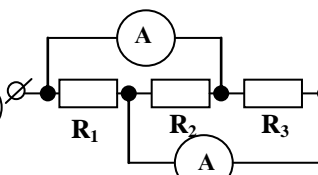


Рис. 6

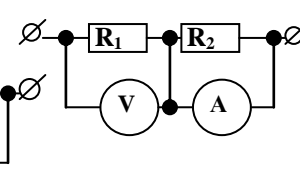


Рис. 7

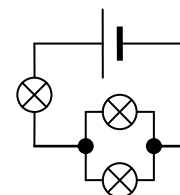
5. Гирлянду из  $N$  одинаковых лампочек подсоединили к источнику напряжения через входной резистор двумя способами: а) лампочки между собой соединены параллельно; б) лампочки между собой соединены последовательно. Оба раза накал лампочек одинаков. Чему равно сопротивление входного резистора, если сопротивление каждой лампочки  $R$ ?

Вопросы:

2. При последовательном соединении резисторов, их общее сопротивление больше, чем сопротивление каждого из них. Как это можно объяснить?
3. При параллельном соединении резисторов, их общее сопротивление меньше, чем сопротивление каждого из них. Как это можно объяснить?
4. Чему равно сопротивление между двумя вершинами треугольника,

составленного из трех резисторов сопротивлением  $R$  каждый?

5. К источнику постоянного напряжения подключен параллельно резистор и реостат. Как изменяется сила тока в резисторе в зависимости от сопротивления реостата?
6. Покажите, что два последовательно соединенных резистора образуют делитель напряжения.
7. Два последовательно соединенных проводника имеют площади поперечных сечений  $S_2 = 2S_1$ . Через сечение первого проводника за 1 с пробегает заряд 1 мкКл. Какой заряд пробежит через сечение второго проводника за две секунды?
8. На рисунке все лампочки одинаковые. Какие из них светятся одинаково ярко? Какую лампу нужно выключить, чтобы другие лампы погасли? Какая лампа светит ярче других?
9. Электрическая цепь состоит из двух последовательно соединенных проволок разного сечения. С одинаковой ли скоростью перемещаются в них электроны при протекании тока?
10. Почему молния чаще бьет в громоотвод? Почему громоотвод необходимо заземлять?
11. На некотором участке цепи через резистор, зашунтированный проводом, течет ток. Есть ли разность потенциалов на этом участке?
12. Проволоку сопротивлением 100 Ом разрезали на несколько равных частей и соединили их параллельно. После этого общее сопротивление цепи стало равным 1 Ом. На сколько частей разрезали проволоку?
13. У вас есть два резистора на 3 Ом каждый, и один резистор на 6 Ом. Как их надо соединить в цепь, чтобы получить общее сопротивление 7,5 Ом? 5 Ом? 1,2 Ом?
14. Почему нельзя вытирать пыль с приборов, включенных в электрическую сеть?
15. Как изготовить резистор сопротивлением 3,75 Ом, используя несколько из десяти резисторов сопротивлением 8 Ом?



**III. Амперметр** служит для измерения силы тока, **вольтметр** - для измерения электрического напряжения. Основной частью этих приборов является **гальванометр**, отклонение стрелки которого пропорционально силе протекающего через него тока. Обозначение на схемах.

Сила тока, вызывающая отклонение стрелки гальванометра на всю шкалу ( $I_0$ ) равна 0,25 мА, поэтому наш гальванометр способен измерять непосредственно только слабые токи. Для того, чтобы амперметр (гальванометр) оказывал как можно меньшее влияние на силу измеряемого им тока, его сопротивление делают очень малым (идеальный амперметр).

**ВНИМАНИЕ!** Во избежание порчи прибора категорически запрещается включать амперметр в цепь без потребителя тока. Амперметр в электрическую цепь включается последовательно с тем прибором, силу тока в котором нужно измерить.

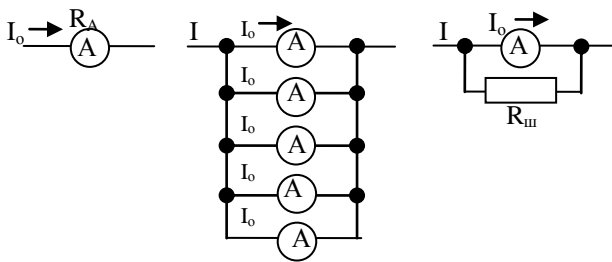


Обозначение амперметра на электрических схемах:



Можно ли расширить пределы измерения амперметра? Пусть

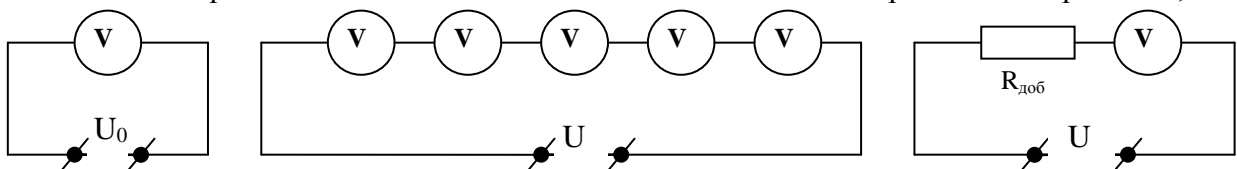
по проводу течет ток силой  $I = n \cdot I_0$  ( $n = 5$ ). Тогда:  $R_{ш} = \frac{R_A}{n-1}$ .



**Шунт - устройство, которое позволяет электрическому току протекать в обход какого-либо участка схемы, обычно представляет собой низкоомный резистор, катушку или проводник.**

Из гальванометра можно сделать вольтметр. Непосредственно гальванометр - вольтметр способен измерять небольшие напряжения:  $U_0 = I_0 \cdot R_V$ .

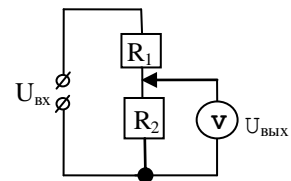
Вольтметр в электрическую цепь включают параллельно с тем прибором, напряжение на котором нужно измерить. Обозначение вольтметра на схемах. Для того чтобы вольтметр не вносил заметных искажений в измеряемое напряжение, его



сопротивление должно быть большим ( $R_V \rightarrow \infty$  - идеальный вольтметр).

Можно ли расширить пределы измерения вольтметра? Пусть предел измерения вольтметра  $U_0$ , а необходимо измерить  $U = n U_0$  ( $n = 5$ ). Тогда:  $R_{доб} = R_V \cdot (n-1)$ .

**Делитель напряжения:**  $U_{ВЫХ} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{ВХ}$



#### IV. Задачи:

1. Вольтметр рассчитан на измерение напряжений до максимального значения  $U_0 = 30$  В. При этом ток через вольтметр  $I_0 = 10$  мА. Какое добавочное сопротивление  $R_{доб}$  надо присоединить к вольтметру, чтобы им можно было измерять напряжения до  $U = 150$  В?
2. Определить внутреннее сопротивление прибора и добавочное сопротивление, если ток в 30 мА отклоняет стрелку прибора на всю шкалу. Пределы измерения прибора с добавочным сопротивлением 450 В, а без него 150 В.
3. Цена деления шкалы возросла в  $n = 10$  раз, когда к амперметру, рассчитанному на максимальную силу тока  $I = 2$  А, присоединили шунт сопротивлением  $R_{ш} = 0,5$  Ом. Какое добавочное сопротивление необходимо присоединить к амперметру, чтобы им можно было измерить напряжение до  $U = 220$  В?
4. Погрешность измерения тока  $I$  специальным амперметром, рассчитанным на токи до  $I_{max} = 50$  мА, определяется только погрешностью считывания и равна  $\Delta I = 1$  мА. У вас в распоряжении много таких амперметров. Какое наименьшее количество амперметров нужно использовать, чтобы можно было измерить ток 1 А с наименьшей относительной погрешностью? Чему равна относительная погрешность измерения такого тока?

**Вопрос:** Вольтметр сопротивлением 12 кОм имеет предел измерения 120 В. Можно ли им воспользоваться для измерения напряжений до 240 В?

... во всех случаях, когда электрический ток получался с помощью магнитоэлектрической машины, количество теплоты, развиваемое током, находилось в постоянном отношении к силе, необходимой для вращения этой машины...

Дж. Джоуль

Урок 24/6.

## РАБОТА И МОЩНОСТЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Чем отличаются лампы накаливания разной мощности?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Дать представление об энергетических представлениях, происходящих в электрических цепях. Повторить формулы работы и мощности электрического тока. Развить представления о тепловом действии электрического тока.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** блок питания, амперметр и вольтметр лабораторные, проводник-спираль, соединительные провода, две осветительные лампы накаливания разной мощности.

**ПЛАН УРОКА:**

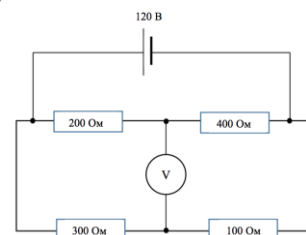
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Шунтирование амперметра. 2. Добавочное сопротивление к вольтметру.

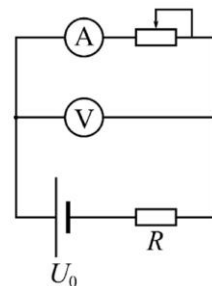
*Задачи:*

1. Последовательно соединенные катушка с сопротивлением 2000 Ом и вольтметр включаются в цепь постоянного тока с напряжением 200 В. Вольтметр показывает 120 В. При замене катушки на другую катушку вольтметр показывает 150 В. Определите сопротивление второй катушки.
2. Для измерения напряжения сети  $U_0 = 120$  В последовательно соединили два вольтметра с номинальными напряжениями  $U = 100$  В и сопротивлениями  $R_{V1} = 20$  кОм и  $R_{V2} = 15$  кОм. Определите показания каждого вольтметра и наибольшее напряжение, которое можно измерять вольтметрами.
3. Электрическая цепь состоит из четырёх резисторов, идеального источника питания с напряжением на выводах 120 В и идеального вольтметра. Что показывает вольтметр? Сопротивления резисторов указаны на схеме (см. рисунок).
4. Одинаковые резисторы соединены кольцом. Омметр, подключенный к одному резистору, показывает сопротивление 16 Ом, а подключенный к двум последовательным резисторам – 24 Ом. Сколько резисторов в кольце? Чему

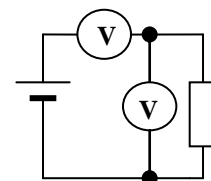


равно сопротивление каждого из них?

5. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление вольтметра  $R_V = 10 \text{ кОм}$ , сопротивление амперметра  $R_A = 1 \text{ Ом}$ . При изменении сопротивления реостата изменяется ток через амперметр  $I_A$  и напряжение  $U_V$  на вольтметре. При токе через амперметр  $I_{A1} = 15 \text{ мА}$  вольтметр показал  $U_{V1} = 3 \text{ В}$ , а при токе  $I_{A2} = 30 \text{ мА}$  – напряжение  $U_{V2} = 1,5 \text{ В}$ . Определите, чему равны  $R$  и  $U_0$ . Что покажет вольтметр, если ток через амперметр будет близок к нулю?



6. Два одинаковых вольтметра соединены последовательно и подключены к батарее. Параллельно одному из вольтметров подключен резистор, при этом показания вольтметров составляют 1,4 В и 3,1 В. Отключим теперь один из вольтметров. Что будет показывать оставшийся прибор? Напряжение батарейки можно считать неизменным.

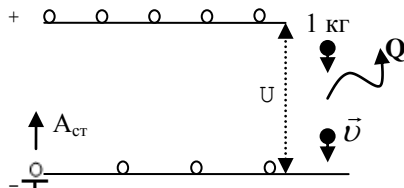
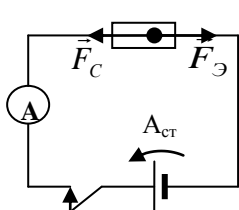


*Вопросы:*

1. Ученик по ошибке включил вольтметр вместо амперметра при измерении величины тока в цепи. Что при этом произошло с накалом нити лампы? Что покажет вольтметр?
2. Почему сопротивление вольтметра всегда должно быть значительно больше, чем сопротивление того участка, на концах которого измеряется напряжение?
3. Что общего и в чем различие между лабораторным амперметром и вольтметром?
4. Почему шунт к амперметру, измеряющему большие токи, будет иметь большую массу?
5. Могут ли изменения температуры влиять на показания амперметра и вольтметра?
6. Как, последовательно или параллельно соединены между собой одновременно работающие конфорки электрической плиты?
7. Если к вольтметру подключить последовательно резистор, то предел измерения увеличивается в 10 раз. Во сколько раз изменится предел измерения вольтметра, если этот же резистор включить параллельно?
8. Два идеальных конденсатора подключены последовательно к источнику тока. Что покажет вольтметр, подключенный параллельно одному из конденсаторов?
9. Как измерить сопротивление резистора с помощью амперметра и вольтметра с неизвестными внутренними сопротивлениями?
10. Почему опасно подходить к оборванному кабелю высокого напряжения, лежащему на земле?
11. Чему равна относительная погрешность измерений амперметра с пределом измерений 5 А, класс точности которого 0,5, если в первом измерении он показал 2 А, а во втором – 4 А? 1,3%, 0,6%
12. Измеряя силу тока в цепи неидеальным амперметром, мы не можем сделать точных выводов о том, какой была сила тока в цепи до измерения? Почему?

**III.** Схема простейшей электрической цепи. Механическая аналогия замкнутой электрической цепи. Какую работу совершает электрическое поле, перемещая заряд 1 Кл с клеммы "+" на клемму "-" источника тока, если напряжение между клеммами  $U$ ? А если перемещает заряд  $q$ ?

$$A' = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$



Прибор для измерения работы тока – счетчик электрической энергии.



**Для цепи с резистором:**  $A' = Q = I^2Rt$ . Электрическая энергия может легко преобразовываться не только во внутреннюю энергию. Например, в электродвигателе часть электрической энергии превращается в механическую ("падающие" электрические заряды могут совершать работу, например, вращать вертушку).

**Если в цепи есть электродвигатель, то:**  $A' = Q + A$ .

Но работа может быть произведена током за любое время!

**Электрическая мощность (P) - свойство электрического тока совершать работу за данный промежуток времени, измеряемое отношением произведенной работы к этому промежутку.**  $P = \frac{A'}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$ .

При последовательном соединении неодинаковых резисторов в резисторе наибольшего сопротивления выделяется наибольшая мощность, а при параллельном – наоборот.

Для резистора:  $P = \frac{A'}{t} = \frac{Q}{t}$  - скорость рассеяния энергии в виде тепла на

резисторе (**мощность рассеяния**). Для цепи с мотором:  $P = \frac{Q}{t} + N$ ,  $N = \frac{A}{t}$  -

**механическая мощность.**

**Единицы мощности в СИ:** 1 Вт = 1 В·1 А. Зная мощность потребителя, можно рассчитать **работу электрического тока:**  $A' = P \cdot t$ . **Единица работы в СИ:** 1 Дж = 1 Вт·1 с. Употребляемая единица 1 кВт·ч = 3,6 МДж. Единица электрической энергии в технике и в быту - **1 кВт·ч.**

**IV. Задачи:**

1. Придумайте способ включения лампочки мощностью 3,6 Вт, рассчитанной на 6 В, если напряжение источника 24 В.

Резисторы могут применяться для установления режима работы других элементов схемы!

2. Две лампочки сопротивлением 180 и 360 Ом подключили параллельно к сети с напряжением 120 В. Какая мощность выделяется в каждой из лампочек и во всей цепи? Какая будет выделяться мощность, если лампочки подключить последовательно? Сопротивление лампочек считать неизменным.

3. В сеть с напряжением 120 В через дополнительное сопротивление 40 Ом включен прибор, потребляющий мощность 50 Вт. Какова сила тока, текущего

через прибор? Какая мощность рассеивается на резисторе?

4. Электромотор с сопротивлением обмотки 7 Ом потребляет ток силой 2 А и имеет при этом КПД 96%. Какую механическую работу совершает мотор за время 3 с?
5. Электромотор постоянного тока подключили к напряжению 200 В. Сопротивление обмотки якоря равно 2 Ом. При каком значении тока через обмотку полезная мощность мотора будет максимальной? Чему она равна? Каков при этом КПД мотора?
6. Чему равен КПД электромотора постоянного тока, если в момент его включения в сеть сила тока 15 А, а в установившемся режиме сила тока 9 А?
7. Цепочка из двух последовательно соединенных резисторов подключается к источнику постоянного напряжения 12 В. Сопротивление одного из них 36 Ом. При каком значении сопротивления второго резистора тепловая мощность, выделяемая на нем, будет максимальной? Найти эту максимальную мощность.

*Вопросы:*

1. Остается ли постоянной мощность, потребляемая лампочкой, при различных накалах?
2. Как надо соединить обмотки двух нагревателей, опущенных в стакан с водой, чтобы вода скорее закипела?
3. Почему плавкий предохранитель выходит из строя раньше, чем какой-либо другой участок электрической цепи?
4. Почему молния расщепляет деревья?
5. Через спираль лампочки карманного фонаря каждую минуту переносится такой же заряд, как и при ударе молнии. Почему же столь несопоставимы производимые ими эффекты?
6. Объясните поговорку электриков: "Горячая пайка всегда холодная, а холодная пайка всегда горячая".
7. Иногда перегоревшую лампочку удается заставить снова светиться, встряхивая ее. Почему "ожившая" лампочка светит ярче?
8. За какое время две одинаковые параллельно соединенные спирали дадут такое же количество теплоты, которое выделяется при их последовательном соединении за 20 минут?
9. Лампочку, рассчитанную на напряжение 110 В, включили в сеть с напряжением 220 В через реостат. Чему равно КПД цепи?
10. «Падение» напряжения указывает, сколько энергии на единицу заряда выделяется в виде света и тепла на данном участке цепи. Так ли это?
11. Как купить самую хорошую батарейку для дистанционного пульта телевизора?
12. Три резистора соединены последовательно и подключены к источнику тока постоянного напряжения. Сопротивления резисторов:  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 4$  Ом. Как нужно изменить сопротивление второго резистора, чтобы мощность, выделяемая на нем,

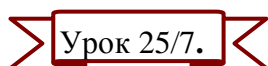
уменьшилась в 2 раза, а на первом резисторе выделялась прежняя мощность? Как изменится при этом мощность, выделяемая на третьем резисторе?

#### V. § 57.

1. Положив в основу тепловое действие электрического тока, предложите конструкцию и рассчитайте параметры амперметра.
2. Во сколько раз изменится мощность нагревательного элемента, если его спираль разрезать на две части, длины которых отличаются в 3 раза, а полученные куски соединить параллельно? Напряжение сети постоянно, а спираль однородна по длине.
3. Чему равно сопротивление бесконечной цепи, состоящей из параллельно соединенных резисторов, если сопротивление каждого последующего резистора в 3 раза больше предыдущего?
4. Как школьный вольтметр можно переделать в омметр?
5. Приведите наибольшее количество примеров полезного и вредного проявлений теплового действия электрического тока.
6. Могут ли изменения температуры влиять на показания амперметра и вольтметра?
7. Показать, что электрический ток распределяется между двумя параллельно соединенными резисторами так, что полная рассеиваемая на этом участке цепи мощность минимальна.
8. Показать, что электрическое напряжение распределяется между двумя последовательно соединенными резисторами так, что полная рассеиваемая на этом участке цепи мощность минимальна.
9. Определите отношение сопротивлений двух резисторов, исследуя тепловое действие электрического тока.
10. Оцените время нагрева спирали лампы накаливания при ее включении.

*Я накладываю на глазное яблоко конец оловянного листочка, беру в рот серебряную монету или ложку и затем привожу обе эти обкладки в соприкосновение при помощи двух металлических острий... это оказывается достаточным, чтобы тотчас ... получить явление света или преходящей молнии в глазу.*

*А. Вольта*



### ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС).

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с процессами, происходящими в замкнутой электрической цепи; ввести понятие ЭДС.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** электролитическая ванна с электролитом, вольтметр демонстрационный на 1 В, лампочка на подставке, амперметр с шунтом на 1 А, соединительные провода, диафильм "Химические источники тока"

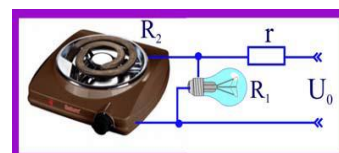
**ПЛАН УРОКА:**

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

**II. Опрос фундаментальный:** 1. Работа и мощность электрического тока 2. Нагревание проводников электрическим током.

**Задачи:**

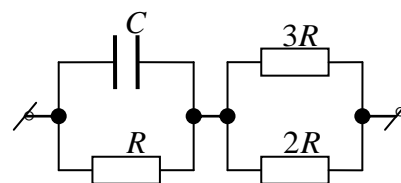
1. Параллельно с лампой мощностью  $P_1 = 100$  Вт



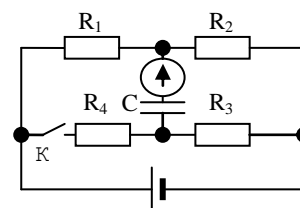
включили электроплитку мощностью  $P_2 = 400$  Вт. Напряжение сети  $U_0 = 200$  В. Какое напряжение на лампе до и после подключения плиты, если сопротивление соединительных проводов  $r = 3$  Ом? Номинальные мощности лампы и плитки соответствуют напряжению  $U_0$ .

2. Имеется резистор сопротивлением 100 Ом, рассчитанный на мощность не более 4 Вт, и резистор сопротивлением 200 Ом, рассчитанный на мощность не более 2 Вт. Какое максимальное напряжение можно подать на систему этих резисторов, соединенных последовательно, без риска выведения их из строя?
3. По сети длиной 5 км необходимо передать энергию от источника с напряжением 110 В, имеющего мощность 5 кВт. Какого минимального диаметра должен быть медный провод, чтобы потери энергии в сети не превышали 10% от мощности источника?

4. Параллельно соединенные резистор с сопротивлением  $R = 50$  Ом и конденсатор емкостью 15 мкФ соединены последовательно с параллельно соединенными резисторами с сопротивлениями  $2R$  и  $3R$ . Цепь подключена к сети с постоянным напряжением. В установившемся режиме заряд конденсатора 0,75 мКл. Определите токи в цепи и выделяемые мощности.



5. Какой заряд протечет через гальванометр после замыкания ключа К в схеме, изображенной на рисунке, если  $R_1 = 2,6$  Ом,  $R_2 = R_4 = 1,4$  Ом,  $R_3 = 5,8$  Ом,  $C = 20$  мкФ,  $U = 20$  В.



*Вопросы:*

1. Почему лампочка накаливания сгорает обычно при включении?
2. По стальной проволоке пропускают ток такой силы, что она слегка накаляется. Почему при охлаждении одной части проволоки другая ее часть нагревается сильнее?
3. Улица в сельской местности освещена лампами, питаемыми генератором небольшой мощности. Почему в том конце улицы, который находится дальше от генератора, лампы менее накалены?
4. На входе в электрическую цепь квартиры стоит предохранитель, размыкающий цепь при силе тока 10 А. Напряжение сети 200 В. Какое количество чайников мощностью 400 Вт каждый можно включить одновременно?
5. Вагон освещается пятью лампочками, включенными последовательно. Уменьшится ли расход электроэнергии, если уменьшить число ламп до четырех?
6. Проволочный предохранитель перегорает, если напряжение на нем равно 10 В. При каком напряжении перегорит предохранитель, изготовленный из



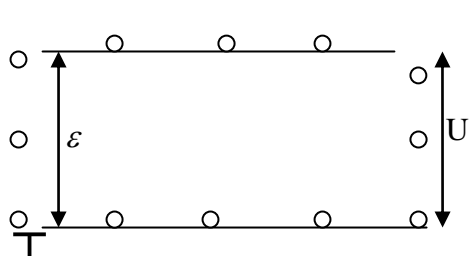
того же материала, если его длину увеличить в 2 раза, полагая, что вся выделившаяся теплота идет на нагревание и плавление проволоки?

7. На одной плитке, подключенной на некоторое время к источнику тока, выделяется некоторое количество теплоты. Сколько тепла выделится за то же время на двух одинаковых плитках, если их подключить к источнику тока последовательно (параллельно)?
8. Лампочка от карманного фонаря, соединенная последовательно с обычной лампочкой накаливания, перегорает при включении этой цепи в сеть, но светит, не перегорая, если ее подключили последовательно к уже горячей лампе накаливания. Почему?
9. Почему при уменьшении размеров провода в два раза, тепловыделение с единицы его поверхности при той же силе тока увеличивается в 8 раз?
10. Цилиндрический однородный проводник подключен торцами к клеммам источника постоянного напряжения. Как нужно изменить длину проводника, чтобы скорость его нагрева током возросла в 4 раза. Потерями тепла пренебречь.

**III. Схема простейшей электрической цепи (рисунок на доске). Механическая аналогия замкнутой электрической цепи.** Например, по свае ударяет тяжелый боек, падающий под действием силы тяжести. Если боек не вернуть в исходную точку, то падения больше не будет. Требуется сторонняя сила, которую создает двигатель механического подъемника. Другая аналогия: сторонние силы, создаваемые насосом для циркуляции охлаждающей жидкости в автомобиле или сердцем человека для циркуляции крови.

"Падение" электрических зарядов с клеммы "+" на клемму "-" источника тока. Энергетические превращения на внешнем участке электрической цепи. Какую роль в замкнутой электрической цепи играет источник тока? Сторонние силы.

**ЭДС ( $\mathcal{E}$ ) - свойство сторонних сил совершать работу против сил**



**электрического поля, измеряемое отношением произведенной ими работы к перенесенному заряду. Работа сторонних сил (именно сторонних, не потусторонних сил!).**

$$A_{ст} = q \mathcal{E}, \quad \mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}.$$

**Гальванический элемент – прибор, который преобразовывает химическую энергию в электрическую энергию.** Гальванический элемент - новый источник электрического тока.

Опыты Гальвани. "... И вот, замечая иногда, это препарированные лягушки, которые бы, подвешены на железной решетке, окружающей балкон нашего дома, при помощи медных крючков, воткнутых в спинной мозг, впадали в обычные сокращения не только в грозу, но иногда также при спокойном и ясном небе, я решил ...". Что решил Луиджи Гальвани? Как вы сами объясните это явление?

Демонстрация элемента Вольта с использованием электролитической ванны, цинкового и медного электродов, электролита, лампочки на 2,5 В. Подробно разобрать процессы, происходящие внутри источника тока при разомкнутом и замкнутом ключе.

Простейший элемент состоит из двух электродов: цинкового и медного, – погруженных в раствор серной кислоты. При растворении серной кислоты в воде происходит процесс электролитической диссоциации. Одновременно происходит растворение цинкового электрода в серной кислоте. При растворении этого электрода положительные ионы цинка переходят в раствор и соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка, образуя нейтральные молекулы сернокислого цинка. При этом на цинковом электроде будут скапливаться оставшиеся свободные электроны, вследствие чего этот электрод приобретает отрицательный заряд. В электролите же образуется положительный заряд ввиду нейтрализации части отрицательных ионов. Медный электрод практически не растворяется в электролите и приобретает тот же положительный потенциал, что и электролит. При замыкании внешней цепи электроны переходят от Zn к Cu, происходит диффузия цинка в медь (растворение цинка и восстановление меди). Заменяв медный электрод угольным стержнем, наблюдаем, что в этом случае ЭДС источника 1,5 В.

Примеры гальванических элементов: элемент Лекланше, аккумулятор, изготовленные учениками гальванические элементы. КПД современных химических источников тока порядка 50 – 80%, однако продолжительность их работы ограничена запасом активных материалов в них.

*Смелый и быстрый ум, большие и верные мысли, мягкий и искренний характер, - таковы были основные качества знаменитого профессора Алессандро Вольта! Никогда честолюбие, жадность к деньгам, дух соперничества не повелевали его действиями. Единственная страсть, которую он испытал, была любовь к исследованиям.*

*Араго*

*Я не могу согласиться на отставку Вольты...  
добрый генерал должен умереть на поле чести.*

*Наполеон*

**Дополнительная информация:** Важнейшей характеристикой аккумулятора является емкость, показывающая, какой заряд он может отдать при разрядке во внешнюю цепь. Один электрод свинцового аккумулятора сделан из свинца, другой - из двуокиси свинца, а в качестве электролита используется раствор серной кислоты. Свинец стремится перейти в раствор в виде положительного двухзарядного иона, где немедленно соединяется отрицательным сульфатным ионом серной кислоты, образуя отложения сульфата свинца на пластине. При замкнутой внешней цепи электроны переходят со свинцовой пластины на пластину из окиси свинца, где восстанавливается свинец, а кислород, соединяясь с  $H_2^{++}$  дает воду. Положительный двухзарядный ион свинца, соединяясь с отрицательным сульфатным ионом, также образует отложение сульфата свинца. Таким образом, оба электрода покрываются сульфатом свинца, а серная кислота медленно превращается в воду. Когда батарея полностью заряжена, плотность серной кислоты равняется 1,28, при 50% заряженности - 1,18, при полной разрядке - 1,08.

#### IV. Демонстрация кинофрагмента.

*Задачи:*

1. В каком элементе можно запасти больше энергии: в очень маленьком аккумуляторе, на котором написано 1,2 В и 0,1 А·ч, или в очень большом конденсаторе, на котором написано 16000 мкФ и 50 В?
2. Емкость автомобильного аккумулятора 60 А·ч. Если вы забыли выключить

фары автомобиля в гараже, каждая из которых потребляет мощность 50 Вт, то через какое время аккумулятор полностью разрядится?

3. Две аккумуляторные батареи соединили последовательно согласно и замкнули на резистор сопротивлением 5 Ом. Сила тока в такой цепи 4 А. Затем эти аккумуляторы соединили последовательно встречно и замкнули на тот же резистор. Ток при этом оказался равным 0,8 А. Определите ЭДС аккумуляторов. Внутренним сопротивлением аккумуляторов пренебречь.
4. При растворении цинка в  $H_2SO_4$  выделяется  $4,40 \cdot 10^5$  Дж/моль тепла, на выделение меди из  $CuSO_4$  требуется затратить энергии  $2,34 \cdot 10^5$  Дж/моль. Чему равна ЭДС батареи? Почему полученное значение ЭДС немного меньше истинного (1,09 В)?

*Вопросы:*

1. Изменится ли ЭДС элемента Вольта, если его электроды сблизить?
2. Ток течет от большего потенциала к меньшему потенциалу. Почему же, в конце концов, потенциалы в разных точках цепи не выравниваются?
3. Почему не рекомендуется ставить зубные протезы из разных металлов?
4. Имеются два подобных друг другу гальванических элемента, изготовленных из идентичных материалов, все размеры которых отличаются в 2 раза. Как соотносятся электрические характеристики этих элементов: ЭДС, внутреннее сопротивление, эффективное время работы на постоянную нагрузку?
5. Бак для воды, изготовленный из листового алюминия с помощью медных заклепок, быстро разрушается вследствие коррозии. Объясните электрохимическую природу коррозии.

**V. § 58.**

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Луиджи Гальвани; Алессандро Вольта.
2. Показателем емкости батареи является удельный коэффициент мощности. Для современных LiPO батарей он может достигать 260 Вт·ч/кг (запасенная в батарее энергия на килограмм массы). Объясните, почему коптеры не летают долго (время работы на одном аккумуляторе у большинства моделей не превышает 1-го часа).
3. В 1936 году около Багдада был найден странный артефакт: сосуд с медным цилиндром внутри и проведенным внутрь железным стержнем. Попытайтесь оценить удельную энергоёмкость этого гальванического элемента из расчета ватт-часов на килограмм массы, если его ЭДС 0,78 В.

*Красота - это истина, истина - это красота, - вот все, что Вы знаете на Земле, и все, что Вам надо знать.*

*Джон Китс*

Урок 26/8.

## **ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ**

**Почему эффективность работы аккумуляторной батареи зависит от того, насколько хорошо ее электролит проводит электрический ток?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** На основе экспериментов и теоретического анализа механической модели замкнутой электрической цепи вывести формулу закона Ома и научить учащихся применять его в конкретных ситуациях.

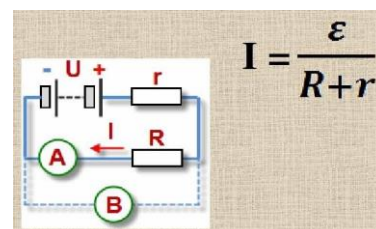
**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** ванна электролитическая, раствор серной кислоты,

вольтметр демонстрационный с добавочным сопротивлением 300 Ом, магазин сопротивлений, соединительные провода, модель замкнутой электрической цепи на магнитной доске, обобщающая таблица "Закон Ома".

ПЛАН УРОКА:

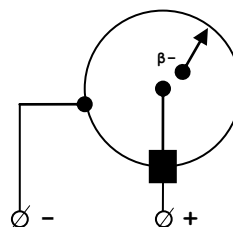
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. ЭДС. 2. Химические источники тока.

*Задачи:*

1. Электрическая "атомная" батарея представляет собой металлическую сферу с изолированным от нее куском  $\beta$ -радиоактивного вещества. Число атомов, распадающихся в единицу времени  $n = 10^{15}$  1/с, энергия вылетающих электронов  $E = 50$  эВ. Определите ЭДС батареи. Какой наибольший ток может давать эта батарея?



**Дополнительная информация:** Размеры батареек на основе радиоактивных изотопов меньше копеечной монеты, но они позволяют не менее полувека давать энергию для питания мобильного телефона.

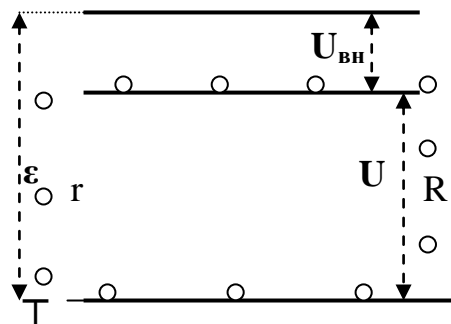
2. Конденсатор емкостью 20000 мкФ подключен к источнику тока регулируемой ЭДС. Если ЭДС источника тока равномерно изменяется со скоростью 10 В/с, то какова сила тока в этой цепи?
3. Потребителю передана мощность 100 кВт. Сопротивление линии электропередачи 10 Ом, а напряжение на шинах электростанции 2 кВ. На сколько изменится КПД электропередачи, если увеличить напряжение на шинах в 3 раза, а передаваемую мощность оставить неизменной?
4. В цепь, состоящую из медного провода сечением 5 мм<sup>2</sup>, надо включить свинцовый предохранитель. Какое сечение должен иметь предохранитель, чтобы при нагревании провода более чем на 10<sup>0</sup>С он расплавлялся? Начальная температура свинца 27<sup>0</sup>С, температура плавления 327<sup>0</sup>С. Вследствие кратковременности процесса потерями тепла на нагревание окружающей среды пренебречь.

*Вопросы:*

1. Какая энергия запасена в аккумуляторе, на котором написано 1,5 В и 200 мА·ч?
2. Многие думают, что батарейки хранят электрический заряд. Так ли это?
3. Какие превращения энергии происходят в фонарике, работающем от батареек?
4. При работе гальванического элемента медные пластины покрывались пузырьками водорода. Как обнаружили эффект и почему это происходило?
5. Каким образом аккумулятор запасает электрическую энергию?
6. Почему соединения разных металлов всегда подвержены коррозии?

**III. Изготовим простейший гальванический элемент. Измерим напряжение на**

клеммах источника тока. Чему равна ЭДС источника тока? Далее, повторение с использованием механической модели. Замкнем клеммы источника тока проводником (лампочка на 2,5 В). Чему теперь равно напряжение на клеммах источника тока? Почему оно стало меньше? В каком случае напряжение на клеммах источника тока равно ЭДС? А если внутренний участок электрической цепи обладает сопротивлением?! Каково соотношение между напряжением и ЭДС в этом случае? Где "потерялась" часть напряжения?



использованием механической модели. Замкнем клеммы источника тока проводником (лампочка на 2,5 В). Чему теперь равно напряжение на клеммах источника тока? Почему оно стало меньше? В каком случае напряжение на клеммах источника тока равно ЭДС? А если внутренний участок электрической цепи

обладает сопротивлением?! Каково соотношение между напряжением и ЭДС в этом случае? Где "потерялась" часть напряжения?  
Демонстрацию можно провести с выпрямителем ВС-24, вольтметром демонстрационным со шкалой на 5 В и магазином сопротивлений. Установив  $\varepsilon = 4$  В, замыкают источник тока на внешнюю нагрузку.

Почему  $U < \varepsilon$ ? Чему равно  $U_{\text{вн}}$ ? Как зависит  $U$  и  $U_{\text{вн}}$  от  $R$ ?  $\varepsilon = U + U_{\text{вн}}$  – экспериментальная проверка.  $U = IR$ ,  $U_{\text{вн}} = I r$ ,  $\varepsilon = U + I r$ . Рассмотреть случаи: 1)  $I = 0$ ;  $U = \varepsilon$  (цепь разомкнута); 2)  $r = 0$ ;  $\varepsilon = U$  (идеальный источник тока); 3)  $r \neq 0$ ,

$I \neq 0$ ,  $U < \varepsilon$ .

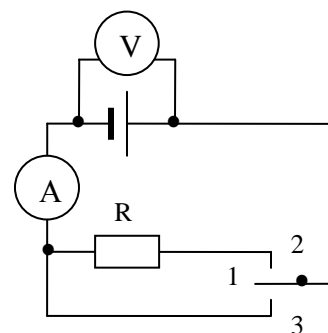
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Каждый источник тока имеет две характеристики: **электродвижущая сила (ЭДС) и внутреннее сопротивление.**

*Вопросы:*

1. Является ли гальванический элемент (источник тока) источником электрических зарядов?
2. Почему свет фар автомобиля тускнеет во время запуска двигателя?

*Задача:* Внутреннее сопротивление источника тока 0,5 Ом, а его ЭДС 1,5 В. Сопротивление потребителя 2,5 Ом. Сопротивление амперметра и подводящих проводов ничтожно мало, а сопротивление вольтметра очень велико. Определить показания амперметра и вольтметра для положений 1, 2 и 3 переключателя П.



**При коротком замыкании ток от данного источника тока максимален, а напряжение на клеммах источника тока минимально! ЭДС – это максимальное напряжение, которое может дать данный источник тока!**

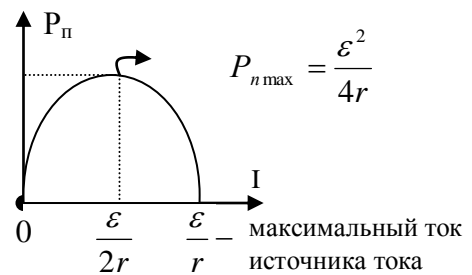
Путем измерения силы тока при коротком замыкании можно определить внутреннее сопротивление источника тока. Как?

**Полезная мощность:**  $P_n = IU = \frac{U^2}{R} = I\varepsilon - I^2 r = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$ .  $P_n(I) = I\varepsilon - I^2 r \rightarrow$  график.

**Полная мощность:**  $P = I\varepsilon = I^2(R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r}$ .

**КПД источника тока:**  $\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{R}{R+r} = \frac{U}{\varepsilon}$ .

**Полезная мощность максимальна при  $R = r$ , при этом КПД цепи  $\eta = 50\%$ . Чем меньше  $r$  и больше  $R$ , тем больше КПД источника тока, однако  $P_n$  не максимальна!**



*Вопрос:* Два потребителя подключаются к электрической батарее: один раз последовательно, другой - параллельно. В каком случае КПД будет больше?

#### IV. Задачи:

1. При подключении к батарее гальванических элементов резистора сопротивлением 16 Ом сила тока в цепи была 1 А, а при подключении резистора сопротивлением 8 Ом, сила тока стала 1,8 А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.
2. ЭДС источника тока равна 2,17 В, внутреннее сопротивление 1 Ом. К источнику подключено сопротивление 2 Ом, последовательно соединенное с амперметром сопротивлением 0,1 Ом. Найти показания амперметра.
3. ЭДС батарейки 4,5 В. К ней подключили последовательно лампочку и амперметр, а параллельно к лампочке вольтметр. Показания амперметра 0,25 А, показания вольтметра 3,5 В. Вычислить сопротивление лампочки и внутренне сопротивление батарейки. Амперметр и вольтметр идеальные.
4. Напряжение на зажимах аккумулятора на 20 % меньше ЭДС. Во сколько раз сопротивление внешней цепи отличается от внутреннего сопротивления аккумулятора?
5. Источник тока с ЭДС 50 В и внутренним сопротивлением 2 Ом должен питать дуговую лампу с сопротивлением 6 Ом, требующую для нормально горения напряжения 30 В. Определите сопротивление резистора, введенного последовательно в цепь лампы для ее нормального горения.
6. Известно, что ЭДС источника постоянного тока равна  $\varepsilon = (4,50 \pm 0,02)$  В, а его внутреннее сопротивление равно  $r = (0,50 \pm 0,05)$  Ом. К этому источнику подключили амперметр, и он показал величину силы тока  $I = (5,0 \pm 0,2)$  А. Определите внутреннее сопротивление амперметра и оцените ошибку Вашего результата.  $R_A \approx (0,40 \pm 0,09)$  Ом (методом границ).
7. Резисторы, сопротивления которых 2 Ом и 8 Ом, поочередно подключаемые к батарее, потребляют одинаковую мощность 8 Вт. Какую максимальную мощность на внешней нагрузке можно получить от данного источника тока?
8. К зажимам источника тока присоединен нагреватель. ЭДС источника равна 24 В, внутреннее сопротивление 1 Ом. Нагреватель, включённый в цепь,

потребляет мощность 80 Вт. Определить силу тока в цепи и коэффициент полезного действия нагревателя.

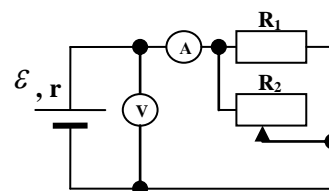
9. Батарейка с ЭДС 4,5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключена через ключ к последовательно соединенным резистору сопротивлением 5 кОм и конденсатору большой емкости. Чему равна сила тока в момент времени, когда напряжение на конденсаторе достигло 3 В? Как она изменяется после замыкания ключа (обсудить)? Изменение силы тока в цепи при параллельном соединении конденсатора и резистора (обсудить).

*Вопросы:*

1. Почему гальванический элемент с небольшой - порядка нескольких вольт - ЭДС может дать значительный ток, а электрофорная машина, ЭДС которой достигает десятков тысяч вольт, дает ток ничтожной силы?
2. Как будет изменяться напряжение на клеммах источника тока при увеличении тока в цепи?
3. При каких условиях от данного элемента можно получить максимальный ток?
4. Почему при включении в сеть электроутюга (электроплитки) накал ламп в квартире сразу же заметно падает, но вскоре возрастает, достигая примерно прежнего уровня?
5. Изменится ли напряжение на клеммах источника постоянного тока, если параллельно с ним включить конденсатор?
6. От каких факторов зависит внутреннее сопротивление аккумулятора?
7. Почему при коротком замыкании напряжение на клеммах источника тока близко к нулю, ведь ток в цепи имеет наибольшее значение?
8. В двух цепях, содержащих каждая источник тока и резистор, максимальные силы тока одинаковы, а полезная максимальная мощность в одном случае в два раза больше, чем во втором. Какими параметрами отличаются эти цепи?
9. Как измерить величину неизвестного сопротивления, имея вольтметр, амперметр и источник ЭДС с неизвестным внутренним сопротивлением?
10. Как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата влево?

**V. § 59. Упр. 10, №№ 5-7.**

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Георга Ома.
2. Для измерения напряжения на участке цепи надо подбирать вольтметр, сопротивление которого велико по сравнению с внутренним сопротивлением источника тока. Так ли это?
3. Составить обобщающую таблицу "Закон Ома для замкнутой цепи", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
4. Определите ЭДС источника тока с помощью двух вольтметров, используя минимальное число электрических схем.
5. Соберите цепь по схеме, которая позволяла бы получить график, зависимости полезной мощности, развиваемой источником тока на реостате, от силы тока. Используя данные графика, найдите ЭДС и внутреннее сопротивление источника.





Теория - обаятельная мать тяжелого, нудного эксперимента.

Харлан Мэйс

Урок 27/9.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4: «ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА».

Почему телефоны разряжаются на холоде?

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Научить учеников измерять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**ТИП УРОКА:** лабораторная работа.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** аккумулятор (батарейка), амперметр и вольтметр лабораторные, реостат, резисторы на колодке, соединительные провода, эталонный источник тока.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
3. Выполнение работы
4. Подведение итогов
5. Задание на дом



**II.** Инструктаж по выполняемой работе (рассказ ученика и дополнения с мест).

Записать в тетради название работы, цель, оборудование, краткую теорию, зарисовать на доске электрическую схему установки. Измерение силы тока и напряжения, вычисление ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока. Относительная погрешность:

$$\varepsilon = U_1; \varepsilon_\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_1}; r = \frac{\varepsilon - U_2}{I}; \varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta \varepsilon + \Delta U}{|\varepsilon - U|} + \frac{\Delta I}{I}; \Delta r = \varepsilon_r \cdot r.$$

Отчетная таблица:

№, п/п	$U_1, \text{В}$	$\varepsilon, \text{В}$	$\Delta \varepsilon / \varepsilon$	$I, \text{А}$	$U_2, \text{В}$	$r, \text{Ом}$	$\Delta r, \text{Ом}$
1.							
2.	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$\varepsilon, \text{В}$	$r, \text{Ом}$	

**III.** Можно предложить выполнить работу различными способами. 1-ый способ:

- Традиционный способ с помощью амперметра, вольтметра и реостата.
- Амперметр и два резистора с известным сопротивлением, поочередно включаемые в электрическую цепь.
- Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления двух последовательно (параллельно) соединенных батареек.

**2-ой:** Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления одного источника тока; двух источников тока, соединенных последовательно (совместно) и параллельно (на оценку). Выводы.

**IV.** Сравнение относительной погрешности результата измерения. Какой из методов измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока является наиболее точным?

**V.** Упр. 10, № 9

Важнейшая задача цивилизации - научить человека мыслить.

Томас Эдисон

Урок 28/10.

## УРАВНЕНИЯ КИРХГОФА

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Научить учащихся применять закон Ома для замкнутой цепи в конкретных ситуациях. Вывести формулу закона Ома для участка цепи, содержащего ЭДС (общий случай), познакомить учеников со способами соединения источников тока.

**ТИП УРОКА:** решение задач.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** микрокалькулятор.

## ПЛАН УРОКА:

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

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k$$

- II. Опрос фундаментальный:** 1. Закон Ома для замкнутой электрической цепи.  
2. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

### Задачи:

1. К источнику тока с ЭДС 9 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключили параллельно соединенные лампу накаливания и резистор. Какое сопротивление должен иметь резистор, чтобы лампа нормально горела, если она рассчитана на напряжение 6 В и силу тока 1 А?
2. Если подключить к источнику ЭДС два одинаковых вольтметра, соединив их параллельно или последовательно, то вольтметры покажут одинаковое напряжения 8 В. Вычислите ЭДС источника.
3. В цепь, состоящую из источника ЭДС и резистора сопротивлением 2 Ом, включают амперметр сначала последовательно, а затем параллельно резистору. При этом показания амперметра оказываются одинаковыми. Сопротивление амперметра 1 Ом. Определите внутреннее сопротивление источника тока.
4. При подключении к источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом резистора сопротивлением 4 Ом напряжение на зажимах источника тока падает до 6 В. Какова полная мощность, развиваемая источником? Какую наибольшую мощность на нагрузке можно получить при данном источнике тока?
5. В схеме, изображенной на рисунке 1, в начальный момент ключ разомкнут и напряжение на конденсаторе равно нулю. Определите токи в ветвях цепи и напряжение на конденсаторе сразу после замыкания ключа. Найдите установившиеся токи и напряжение на конденсаторе после окончания переходного процесса. Параметры схемы указаны на рисунке, внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

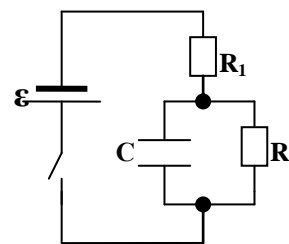


Рис. 1

### Вопросы:

1. Чем больше лампочек подключено параллельно к источнику тока, тем тусклее горит каждая из них. Почему?
2. Почему спирали нагревательных приборов делают из провода большого сопротивления? Какой провод лучше всего применять?
3. Можно ли осуществить короткое замыкание при ремонте выключателя?
4. Два потребителя подключаются к электрической батарее: один раз

последовательно, другой – параллельно. В каком случае КПД будет больше?

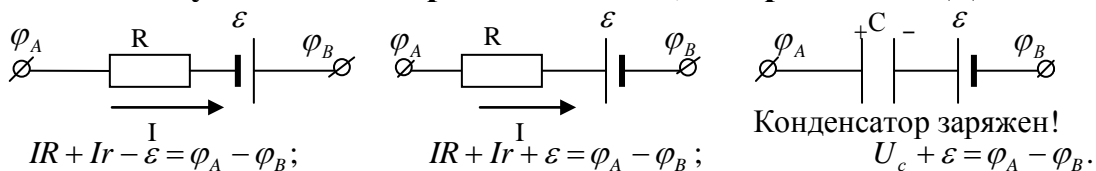
- ЭДС батареи  $\varepsilon = 24$  В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея,  $I_{\max} = 10$  А. Определить максимальную мощность  $P_{\max}$ , которая может быть получена во внешней цепи.
- Что общего и в чем различие между аккумулятором, батареей и конденсатором?
- Правильно ли утверждение, что вольтметр, подключенный к клеммам разомкнутого источника, показывает ЭДС?
- Как определить сопротивление данного вольтметра, если имеется другой вольтметр, сопротивление которого известно?
- Источник тока замыкается один раз резистором с сопротивлением  $R_1$ , а другой – резистором с сопротивлением  $R_2$ . Может ли количество теплоты, выделившееся в нагрузке, быть при этом одинаковым?
- Какими станут ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, зашунтированного сопротивлением  $R$ ?
- При измерении ЭДС старой батарейки для карманного фонаря вольтметр показал 4,3 В, однако лампочка от этой батарейки не горит. Почему?
- Для получения мощных световых импульсов через газоразрядную лампу разряжают батарею конденсаторов большой емкости, заряженную до разности потенциалов  $U$ . Почему для этой же цели не используется батарея гальванических элементов с ЭДС, равной  $U$ ?

### III. Способы соединения одинаковых источников тока:

**Последовательное соединение:**  $I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$ ;  $\rightarrow I = \frac{\sum_i \varepsilon_i}{R + \sum_i r_i}$ .

**Параллельное соединение:**  $I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}}$ . (Аккумуляторы в электроинструментах.)

#### Закон Ома для участка электрической цепи, содержащего ЭДС:

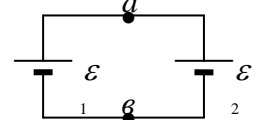


**Пример 1:** Аккумулятор с ЭДС 25 В и внутренним сопротивлением 1 Ом заряжается от сети с напряжением 40 В через резистор сопротивлением 5 Ом. Найти напряжение на зажимах аккумулятора.

На ЭКГ величина ЭДС сердца и ее направление, меняющиеся в течение сердечного цикла, приводит к изменению силы тока в цепи. Что измеряют при электрокардиографии?

**Метод узловых потенциалов. Пример 1:** Два аккумулятора

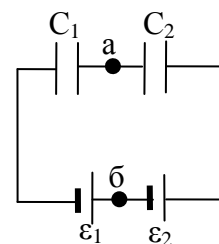
с ЭДС  $\varepsilon_1 = 57$  В и  $\varepsilon_2 = 32$  В соединены как показано на



рисунке. Какова разность потенциалов между точками а и в, если отношение внутренних сопротивлений аккумуляторов  $\frac{r_2}{r_1} = 1,5$ ? Каковы ЭДС батареи и внутреннее сопротивление? Можно ли параллельно соединенные батарейки ( $\varepsilon_1, r_1$  и  $\varepsilon_2, r_2$ ) заменить эквивалентной батарейкой и каковы должны быть ее ЭДС и внутреннее сопротивление? Каков недостаток такой батарейки?

Вопрос: Может ли эквивалентная ЭДС двух параллельно соединенных неидеальных источников тока оказаться меньше половины, чем у источника тока с меньшей ЭДС?

**Пример 2:** В цепи, изображенной на рисунке, к конденсаторам ёмкостью  $C_1 = 5$  мкФ и  $C_2 = 4$  мкФ подключена цепочка из двух последовательно соединённых батареек с ЭДС  $\varepsilon_1 = 3$  В и  $\varepsilon_2 = 4$  В. Найдите разность потенциалов между точками а и б цепи.



**Законы Кирхгофа:** Во многих случаях удастся рассчитать силу тока в цепях, выделяя последовательные и параллельные комбинации резисторов и применяя к ним закон Ома. Иногда, однако, встречаются цепи, которые оказываются слишком сложными для такого анализа. Например, нам не удастся определить силу тока в цепи, изображенной на рисунке, просто комбинируя сопротивления.

Для анализа сложных цепей пользуются двумя **правилами Кирхгофа**:

- Для любого узла цепи сумма токов, втекающих в узел, должна быть равна сумме токов, вытекающих из узла (закон сохранения электрического заряда).
- Алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех участках этого контура (закон сохранения энергии).

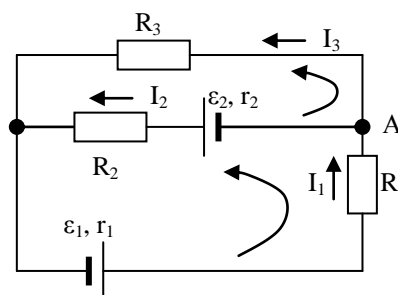
$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^m I_i R_i$$

**Пример:** Используя эти правила, попытаемся рассчитать токи в каждом из резисторов ( $I_1, I_2, I_3$ ), выбрав их направление, как показано на схеме, интуитивно или условно. Для узла А имеем:  $I_1 = I_2 + I_3$ . 1). **Число независимых уравнений на одно меньше числа узлов!**

Теперь выберем направление обхода (против часовой стрелки) и запишем для каждого из контуров (**а их независимых два**) второе уравнение Кирхгофа, считая ЭДС положительной, если мы при обходе переходим от "-" к "+" источника тока и отрицательной в противном случае. 2) Для первого контура:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_2 r_2 + I_2 R_2.$$

3) Для второго контура:  $-\varepsilon_2 = -I_2 r_2 - I_2 R_2 + I_3 R_3$ . Полученная система из трех уравнений с тремя неизвестными позволяет рассчитать токи в каждом проводнике, если известны сопротивления резисторов, ЭДС и внутреннее сопротивление источников тока.



Перепишем эти уравнения, подставив в них числовые значения величин:  $\varepsilon_1 = 80$  В,  $\varepsilon_2 = 45$  В,  $r_1 = r_2 = 1$  Ом,  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 40$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом.

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ 125 = 21 \cdot I_1 + 41 \cdot I_2 \\ -45 = -41 \cdot I_2 + 30 \cdot I_3 \end{cases}$$

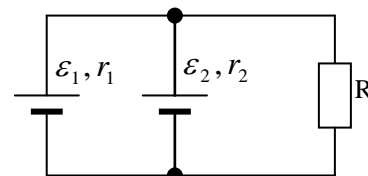
Решая систему, получим:  $I_2 \approx 1,7$  А,  $I_3 \approx 0,9$  А,  $I_1 \approx 2,6$  А.

Знак ЭДС или напряжения в законе Кирхгофа можно определить по следующему алгоритму:

1. Выбираем направление обхода контура (два варианта либо по часовой стрелке, либо против часовой стрелки);
2. Произвольно выбираем направление токов через элементы цепи;
3. Расставляем знаки для ЭДС и напряжений, падающих на элементах по правилам: — ЭДС, создающие ток в контуре, направление которого совпадает с направлением обхода контура записываются со знаком «+», в противном случае ЭДС записываются со знаком «-». Напряжения, падающие на элементах цепи записываются со знаком «+», если ток, протекающий через эти элементы совпадает по направлению с обходом контура, в противном случае напряжения записываются со знаком «-».

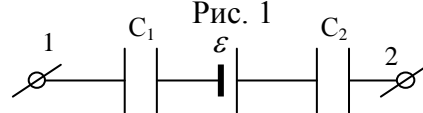
#### IV. Задачи:

1. Батарейка для карманного фонаря имеет ЭДС 4,5 В и внутреннее сопротивление 3,5 Ом. Сколько таких батареек надо соединить последовательно, чтобы питать лампу, рассчитанную на напряжение 127 В и мощность 60 Вт?

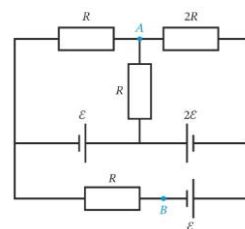


2. Определите ток, текущий через резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом (см. рис. 1). В схеме  $\varepsilon_1 = 2$  В,  $r_1 = 2$  Ом,  $\varepsilon_2 = 3$  В,  $r_2 = 1$  Ом.

3. В схеме (рис. 2)  $C_1 = 3$  мкФ,  $C_2 = 2$  мкФ,  $\varepsilon = 10$  В, а напряжение  $\varphi_1 - \varphi_2 = 5$  В. Определить напряжение на конденсаторе емкостью  $C_1$ .



4. В схеме, изображенной на рисунке, определите разность потенциалов точек А и В:  $\varphi_A - \varphi_B$ . Источник питания считайте идеальным. Известно, что напряжение на нем  $\varepsilon = 10$  В. 22 В



#### V. Упр. 10 №№ 8-10.

1. Исследуйте зависимость ЭДС и внутреннего сопротивления батарейки карманного фонаря в интервале температур:  $10^0\text{C} - 90^0\text{C}$ .
2. Исследуйте зависимость ЭДС и внутреннего сопротивления батарейки карманного фонаря от времени при неизменной внешней нагрузке; при неизменной силе тока.
3. Составить обобщающую таблицу "Закон Ома", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
4. Как соединить большое число одинаковых элементов, чтобы во внешней цепи получить максимальную мощность?

*Может тот, кто думает, что может.*

*Латинская пословица*



### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

**Почему гаснут лампы в помещении при коротком замыкании?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Развить представления учащихся о сложных электрических цепях. Научить учеников использовать правила Кирхгофа при анализе сложных электрических цепей.

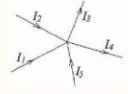
**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:**

**ПЛАН УРОКА:**

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

1. Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.  $\sum_{i=1}^n I_i = 0$



Пример:  $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$ .

Любая точка разветвленной цепи, в которой сходится не менее трех проводников с током, называется узлом.

Ток, входящий в узел, считается «+», выходящий из узла – «-».

Первое правило Кирхгофа вытекает из закона сохранения электрического заряда.

2. Второе правило Кирхгофа: алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре.  $\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k$

**II. Опрос фундаментальный:** 1. Способы соединения источников тока. 2. Закон Ома для участка электрической цепи, содержащего ЭДС.

*Задачи:*

1. Через аккумулятор под конец его зарядки течет ток 4 А и напряжение на его клеммах 12,6 В. При разрядке того же аккумулятора током 6 А напряжение составляет 11,1 В. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, а также определите ток короткого замыкания.
2. Определить количество теплоты, выделяемое за 10 секунд в аккумуляторе, который заряжается током 1 А, если разность потенциалов на полюсах аккумулятора равна 2 В, ЭДС аккумулятора - 1,3 В.
3. Три одинаковых источника тока с внутренним сопротивлением 6 Ом поочередно замкнули, один раз соединив параллельно, а другой раз последовательно на некоторый резистор сопротивлением R. При этом сила тока в обоих случаях была одинаковой. Определите сопротивление R.
4. При силе тока 1,5 А напряжение на участке некоторой цепи равно 20 В. При силе тока 0,5 А напряжение на этом участке равно 8 В. Определить ЭДС, действующую на этом участке.
5. Ток короткого замыкания батареи с ЭДС 2,5 В равен 0,5 А. Три такие батареи подсоединяются к резистору один раз параллельно, а другой раз последовательно. При каком сопротивлении резистора выделяющиеся на нем мощности будут одинаковыми?

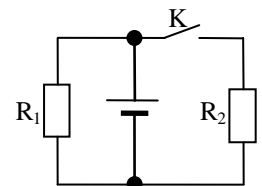
*Вопросы:*

1. Через аккумулятор течет ток. Сравните разность потенциалов на клеммах аккумулятора с его ЭДС.
2. В каких случаях целесообразно последовательное соединение одинаковых источников тока в батарею, а в каких – параллельное.
3. Может ли напряжение на клеммах источника тока быть больше его ЭДС?
4. Три одинаковые батареи, соединенные параллельно, подключены к внешнему резистору. Как изменится сила тока в резисторе, если поменять полярность клемм одной из батарей?

5. Можно ли подключить непосредственно к зажимам источника ЭДС амперметр, вольтметр?
6. Два одинаковых источника тока с ЭДС  $\varepsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$  соединены одноименными полюсами (разноименными полюсами). Определите показания идеального амперметра и вольтметра.
7. Как определить сопротивление данного вольтметра, если имеется другой вольтметр, сопротивление которого известно?
8. Чтобы увеличить ток, протекавший в цепи одного аккумулятора, к нему присоединили второй. Однако, как при последовательном, так и при параллельном соединении этих аккумуляторов получался меньший ток. В каком случае это возможно?

### III. Задачи:

1. Генератор постоянного тока имеет ЭДС 150 В и дает во внешнюю цепь силу тока 30 А. Определить: а) мощность, развиваемую генератором; б) мощность потребителя; в) КПД генератора, если его внутреннее сопротивление 0,6 Ом.
2. В схеме, показанной на рисунке, резисторы имеют сопротивления  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом. Определить внутреннее сопротивление батареи  $r$ , если известно, что при разомкнутом ключе К через резистор  $R_1$  течет ток  $I_1 = 2,8$  А, а при замкнутом ключе К через резистор  $R_2$  течет ток  $I_2 = 1$  А.



3. Какое балластное сопротивление требуется для зарядки аккумулятора емкостью 1000 мА·ч с ЭДС 3,7 В в течение 4 часов от источника с напряжением 5 В? Внутреннее сопротивление аккумулятора пренебрежимо мало. Каков при этом КПД такой схемы зарядки?
4. Когда параллельно конденсатору, подключенному к зажимам источника тока, присоединили резистор сопротивлением 15 Ом, заряд конденсатора уменьшился в 1,2 раза. Определите внутреннее сопротивление источника тока.

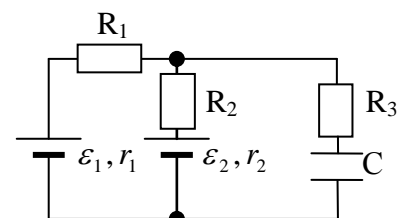


Рис. 1

5. Найти заряд конденсатора (рис. 1), если  $C = 2$  мкФ,  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = R_3 = 3$  Ом,  $r_1 = 0,25$  Ом,  $r_2 = 0,75$  Ом,  $\varepsilon_1 = 4$  В,  $\varepsilon_2 = 2$  В.
6. Генератор с ЭДС  $\varepsilon = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r_1 = 0,2$  Ом заряжает батарею аккумуляторов с ЭДС  $\varepsilon_2 = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r_2 = 0,6$  Ом. Параллельно батарее включена электролампа сопротивлением  $R = 3,0$  Ом. Определите токи в генераторе  $I_1$ , батарее  $I_2$  и лампе  $I$ .
7. Резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом подключен параллельно к двум источникам тока (рис. 2), ЭДС и внутренние сопротивления которых равны  $\varepsilon_1 = 2,0$  В,  $r_1 =$

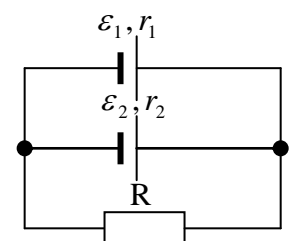
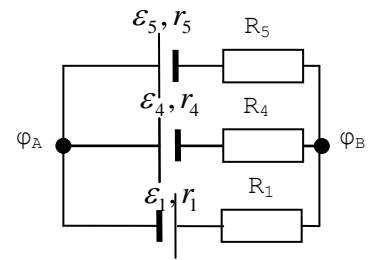


Рис. 2



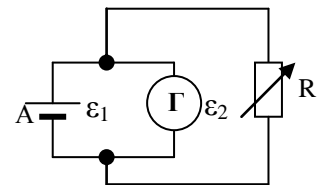
1,0 Ом и  $\varepsilon_2 = 1,2$  В,  $r_2 = 0,5$  Ом. Найти мощность, выделяемую на резисторе и источниках, а также мощность, вырабатываемую источниками.

8. В схеме, показанной на рисунке, резисторы имеют сопротивления  $R_4 = 50$  Ом,  $R_5 = 10$  Ом. ЭДС источников тока  $\varepsilon_1 = 9$  В,  $\varepsilon_4 = 6$  В и  $\varepsilon_5 = 2$  В, внутреннее сопротивление которых равно нулю. Определить токи  $I_4$  и  $I_5$ , сопротивление резистора  $R_1$  и разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$ .  $I_4 = I_5 = 0,1$  А,  $R_1 = 50$  Ом,  $\varphi_A - \varphi_B = 1$  В.



#### V. Подготовиться к контрольной работе.

1. Все обладатели плееров как один говорят, что чем больше сопротивление наушников – тем быстрее садится батарейка. Так ли это?
2. Вы все знаете, что часто в пультах управления, плеерах и т.п. ставят две батарейки, включая их последовательно. Иногда две батарейки включают параллельно, соединяя их положительные и отрицательные выводы. В этом случае они могут дать больший ток, или служат вдвое дольше. Что будет, если при параллельном включении соединить их другим способом: положительный вывод одной батарейки соединить с отрицательным другой, а отрицательный вывод с положительным?
3. В чем состоит сходство нервных волокон с электрическими проводами?
4. Источником электрического тока в системах электрического оборудования автомобилей является генератор Г постоянного тока и соединенный с ним параллельно аккумулятор. ЭДС аккумулятора 12 В, его внутреннее сопротивление 0,15 Ом. ЭДС генератора 14 В, его внутреннее сопротивление 0,05 Ом. Найдите зависимость силы тока  $I_A$ , протекающего через аккумулятор, от силы тока  $I_H$ , потребляемого нагрузкой (резистор сопротивлением R). Нарисовать график зависимости  $I_A = I_A(I_H)$ .



*Наблюдать, изучать, работать!*

*Майкл Фарадей*

### Урок 29/11.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5

#### Дополнительные задачи и вопросы.

1. Вольтметр, соединенный последовательно с резистором сопротивлением  $R_1 = 510$  Ом, при включении в сеть с напряжением  $U = 100$  В показывает  $U_1 = 25$  В, а соединенный последовательно с неизвестным резистором  $R_2$ , показывает  $U_2 = 50$  В. Найдите сопротивление резистора  $R_2$ .
2. Определите токи в схеме на рисунке 3 и ее общее сопротивление.
3. Какие свойства электрического тока измеряет амперметр, вольтметр, омметр?
4. Напряжение в цепи зарядного устройства составляет 13 В. Внутреннее сопротивление аккумулятора, поставленного на зарядку, равно 0,4 Ом и его остаточная ЭДС составляет 11 В. Какая мощность расходуется устройством на зарядку этого аккумулятора? Какая часть этой мощности расходуется на нагревание аккумулятора?

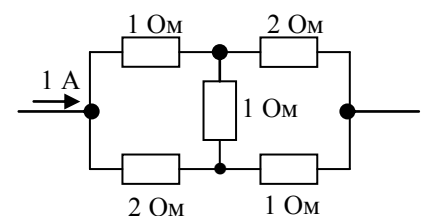


Рис. 3

*Важно не имущество, которое мы имеем,  
а способность создать это имущество.*

*Фейнман*

*Различные формы, в которых проявляются силы  
материи, имеют общее происхождение.*

*М. Фарадей*

Математика – это набор инструментов, которые мы используем для описания работы Вселенной. Это необработанные материалы: гвозди, доски, молотки и пилы. Физика – это то, как применять эту математику. Физика – это то, как собирать всё это вместе, чтобы все ваши материалы приобрели смысл и превратились, к примеру, в дом (картину мира), вместо набора материалов, которые, в принципе, можно использовать для постройки чего-то совершенно иного.

*«То, что эти взаимосвязи демонстрируют, во всей своей математической абстракции, невероятную степень простоты, — есть дар, который нам остается только смиренно принять. Даже Платон не в силах был поверить, что они настолько прекрасны. Так как эти взаимосвязи не могут быть выдуманы, они существовали с момента сотворения мира».*

*Гейзенберг*

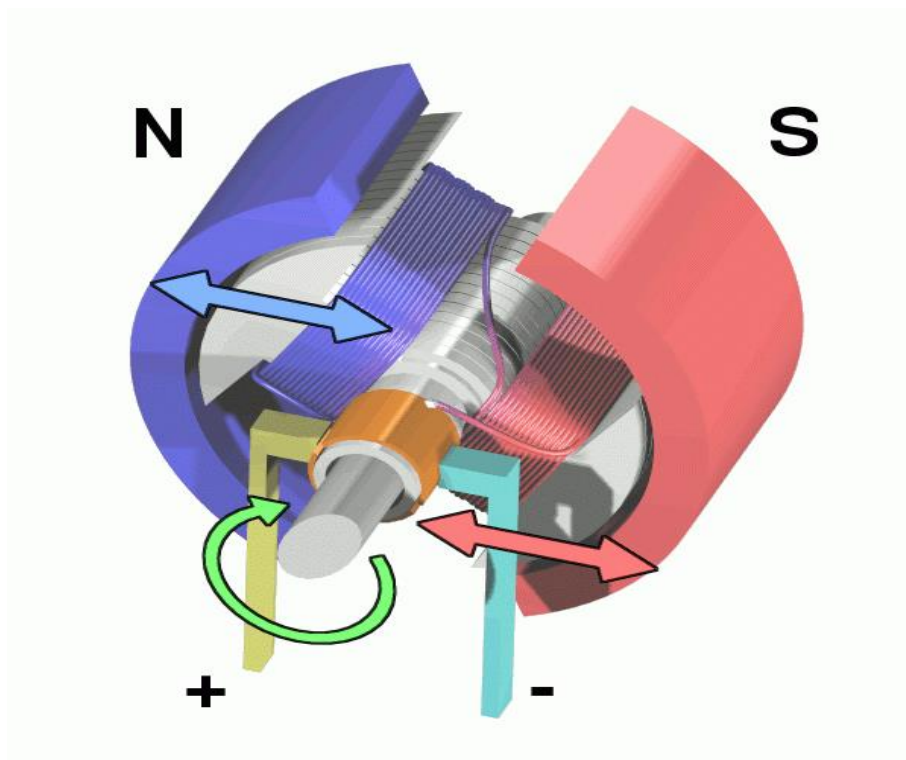
*Я всегда буду искать ленивого человека для работы, ведь он  
найдет много лёгких путей для решения поставленной задачи.*

*Билл Гейтс (основатель компании Microsoft)*

*Что бы ни попадало в мои руки – машинка для взбалтывания яиц или  
электромотор, я прежде всего думаю о том, как это усовершенствовать.*

*Томас Эдисон*

## **ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ТЕМЕ: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ**



Следует испробовать, не производит ли электричество  
... каких-либо действий на магнит....

Эрстед

Урок 30/12.

## МАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Как располагается магнитная стрелка в магнитном поле?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с одним из проявлений электромагнитного взаимодействия – магнитным. Ввести понятие магнитного поля и дать представление о некоторых его основных свойствах.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** прибор для демонстрации взаимодействия параллельных токов, штатив с принадлежностями, блок питания, магнитная стрелка на подставке, катушка, магнит дуговой, кольцевой проводник металлический экран.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II.** Работа над ошибками, допущенными при выполнении контрольной работы.

**III.** Краткое подведение итогов. Основные понятия электродинамики: электрический заряд, электрическое поле, напряженность электрического поля, сила электрического тока.

Как взаимодействуют неподвижные электрически заряженные тела? Как должны взаимодействовать две станиолевые полоски, подключенные к клеммам "+" и "-" источника тока? Демонстрация и выводы. Взаимодействие полосок при протекании по ним электрических токов противоположного направления (линейная плотность электрического заряда на полосках мало изменилась). **Мы имеем новый тип взаимодействия – вместо "слабого" притяжения наблюдается "сильное" отталкивание!**



Демонстрация взаимодействия полосок при протекании по ним токов одинакового направления. Качественное отличие данного типа взаимодействия от электростатического взаимодействия:

- токи противоположных направлений отталкиваются, а одинакового направления – притягиваются;
- взаимодействие появляется при протекании тока;

- нет центров притяжения, поскольку притягивается весь провод;
- взаимодействие между проводниками с током не изменяется при введении между ними металлического экрана.

Один из проводников с током заменяем магнитом и наблюдаем взаимодействие такого же характера. Поле вокруг магнита – магнитное, и, следовательно, вокруг проводника с током существует магнитное поле, а наблюдаемое взаимодействие называют магнитным.

### Основные свойства магнитного поля:

1. **Магнитное поле создается проводниками с током (движущимися заряженными частицами) и намагниченными телами** (заряженными частицами, имеющими спин). И раньше было известно, что молния может намагничивать куски железа и оказывать влияние на магнитную стрелку, но, тем не менее, эта связь была установлена лишь в 1820 г. Демонстрация опыта Эрстеда. Эрстед всю свою жизнь дружил с Гансом Христианом Андерсеном.

*... магнитная стрелка отклоняется от своего положения равновесия под действием вольтаического аппарата и ... этот эффект проявляется, когда контур замкнут ...*

*Ханс Эрстед*

2. **Магнитное поле действует на проводники с током (движущиеся заряженные частицы) и на намагниченные тела.** Демонстрация действия магнитного поля на проводник с током, на движущиеся заряженные частицы и на намагниченные тела. Почему магнитное поле действует на магнитную стрелку?

3. **Магнитное поле материально.**

**Магнитное поле – физический объект, посредством которого осуществляется взаимодействие между проводниками с током, движущимися заряженными частицами и намагниченными телами.**

Как обнаружить магнитное поле в пространстве? **Магнитное поле направлено от южного полюса к северному полюсу свободно установившейся магнитной стрелки.**

Как пламя свечи указывает направление сквозняка в комнате, так и магнитная стрелка своим северным полюсом указывает направление магнитного поля.

Определение с помощью магнитной стрелки направления магнитного поля:

- Земли (северный и южный магнитные полюса Земли);
- дугообразного магнита;
- прямого тока;
- кольцевого тока;
- соленоида.



Мнемоническое правило правой руки для определения направления магнитного поля вокруг проводника с током: **Если большой палец правой руки поставить по направлению тока в проводнике, то**

## четыре полусогнутых пальца укажут направление магнитного поля вокруг проводника.

Гальваническое электричество, идущее с севера на юг над свободно подвешенной магнитной иглой, отклоняет ее северный конец к востоку, а, проходя в том же направлении над иглой, отклоняет ее на запад.

Эрстед

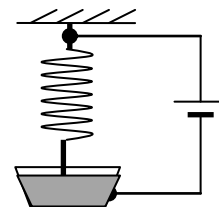


Объяснение наблюдения Эрстеда на основе известно вам правила правой руки.

**Правило буравчика** для определения направления магнитного поля вокруг прямого проводника с током и кольцевого тока. Правило буравчика у студента перед стипендией.

### IV. Вопросы:

1. Как обнаружить постоянный электрический ток в проводе, не касаясь его руками?
2. Почему возникают магнитные поля на Солнце?
3. Как располагается магнитная стрелка в магнитном поле?
4. В кабинете физики оказался полосовой магнит, полюса которого не окрашены краской. Какими способами можно установить, где у магнита северный полюс, а где южный?
5. Будет ли действовать магнит на магнитную стрелку, если между ними поместить алюминиевый лист?
6. Какое правило определяет связь между направлением тока в проводнике и направлением его магнитных линий? Сформулируйте его.



### V. § 60.

1. Ток замыкается через вертикальную пружину, нижний конец которой на незначительную глубину погружен в ртуть. Описать дальнейшее состояние пружины и электрической цепи. Для каких целей можно использовать это устройство в технике?

*Все то, что существует в природе, подчинено необходимому условию быть измеряемому.*

*Н.И. Лобачевский*

Урок 31/13

## ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с основной характеристикой магнитного поля – вектором магнитной индукции.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** катушки Гельмгольца, прямоугольная проволочная рамка, магнитная стрелка, магнитный зонд, звуковой генератор, гальванометр демонстрационный от амперметра, выпрямитель ВС-24 - 2 шт.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Магнитное поле и его свойства. 2. Определение направления магнитного поля.

*Вопросы:*

1. Что произойдет с железной спицей, подвешенной горизонтально, если ее намагнитить?
2. Магнит и железный брусок взаимодействуют на гладком столе. Опишите их движение.
3. При сближении двух магнитов одноименными полюсами приходится совершать работу по преодолению силы отталкивания. На что тратится энергия?
4. Есть два одинаковых стальных стержня, один из стержней намагничен сильнее. Как найти этот стержень?
5. Чем магнитное взаимодействие отличается от электростатического и что между ними общего?
6. На двухпроводной линии постоянного тока взяты произвольно две точки А и В на каждом из проводов. Как при помощи вольтметра и магнитной стрелки определить, с какой стороны находится источник тока?
7. Проволока, по которой идет ток, перематывается с одной катушки на другую. Скорость перемотки равна скорости дрейфа электронов и направлена в противоположную сторону. Будет ли существовать магнитное поле вокруг проволоки между катушками?

**III. Другой способ определения направления магнитного поля** – с помощью рамки с током. Определение направления однородного магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца и направления магнитного поля рамки с током с помощью магнитной стрелки. Демонстрация ориентирующего действия магнитного поля на рамку с током.

**Магнитное поле оказывает на рамку с током ориентирующее действие.** Момент сил, действующих на рамку с током со стороны магнитного поля:  $M = 2F \cdot a \cdot \sin \alpha$ .

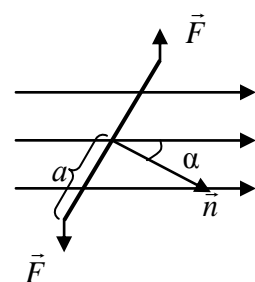
Максимальный момент сил и его зависимость от силы тока в рамке, ее площади и индукции магнитного поля (демонстрация):  $M_{max} = B \cdot I \cdot S$ . Измерение индукции магнитного поля с помощью

рамки с током:  $B = \frac{M_{max}}{I \cdot S}$ . **Единица индукции магнитного поля в СИ:**

$$1Тл = \frac{1Н \cdot м}{1А \cdot 1м^2} = 1 \frac{Н}{А \cdot м}$$

*Я не тружусь более для настоящего, я тружусь для будущего. Будущее принадлежит мне!*  
*Никола Тесла*

**Магнитная индукция ( $\vec{B}$ )** – свойство магнитного поля оказывать на рамку с током ориентирующее действие, измеряемое отношением максимального момента сил, действующих на рамку с током в данной точке пространства, к ее площади и силе электрического тока в ней.



Некоторые значения индукции магнитного поля в природе и технике:

Источник	B, Тл
Токи альфа - ритма головного мозга	$10^{-15}$
Токи, управляющие сокращением сердца	$10^{-14}$
Типичный телевизионный сигнал	$10^{-11}$
В одном метре от длинного провода с током 1 А	$2 \cdot 10^{-7}$
На поверхности Земли	$10^{-4}$
Между полюсами игрушечного постоянного магнита	$10^{-2}$
Сверхпроводящие исследовательские магниты	10
В атомном ядре, создаваемое валентным электроном	$10^2$
Лабораторный взрыв с захваченным магнитным полем	$10^3$
Максимальная индукция магнитного поля в лаборатории	1200
Поверхность нейтронной звезды	$10^8$
Магнетар	До $10^{11}$

На следующих уроках мы научимся рассчитывать индукцию магнитного поля проводников с током. Введение **магнитного поля** дает определенные преимущества. Если у нас несколько проводников с током, то, рассчитав  $\vec{B}_1$ ,  $\vec{B}_2$  и  $\vec{B}_n$ , можно определить индукцию магнитного поля в данной точке и его действия, например, определить максимальный момент сил, действующих на рамку с током в данной области пространства:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

**Говорят, что магнитное поле задано, если известна магнитная индукция в каждой его точке!**

**Дополнительная информация:** Магнитно-резонансная томография (МРТ), как правило, производит поля силой около 1 тесла. Некоторые исследовательские аппараты МРТ используют поля до 10,5 тесла, а лабораторный эксперимент 2018 года с использованием лазеров создал поле 1200 тесла — это пока абсолютный рекорд.

#### IV. Задачи:

1. Определить индукцию магнитного поля, если на прямоугольную рамку с током 5 А, состоящую из 100 витков и помещенную в это поле, действует максимальный вращающий момент 0,003 Н·м. Размер рамки 20 x 30 мм<sup>2</sup>.
2. Проволочное кольцо с током находится в однородном магнитном поле, индукция которого 0,01 Тл. Сила тока в кольце 0,5 А. Радиус кольца 2 см. Какой максимальный момент сил может действовать на кольцо со стороны магнитного поля?
3. По двум одинаковым кольцевым проводникам, имеющим общий центр и расположенным в перпендикулярных плоскостях, текут одинаковые токи. Модуль вектора магнитной индукции в общем центре проводников равен В. Какой будет магнитная индукция в той же точке, если прежний ток пойдет только по одному проводнику?

#### V. § 61.

1. Составить обобщающую таблицу "Магнитная индукция", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.



Магнитный эффект электрического тока имеет круговое движение вокруг него.

Эрстед

Урок 32/14.

## ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Магнитные поля вокруг проводника с током, витка с током, катушки.

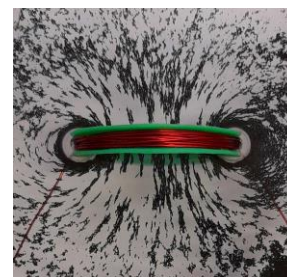
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с графическим способом изображения магнитных полей. Научить их рассчитывать индукцию магнитного поля вокруг проводников с током в простых случаях. Ввести понятие магнитного потока.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** прибор для наблюдения спектров магнитных полей, блок питания, ФОС-67, длинный прямой проводник из фольги, звукозаписывающее устройство от гитары, осциллограф, кольцевой проводник.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Определение направления индукции магнитного поля: магнитная стрелка, рамка с током, правило правой руки, правило буравчика. 2. Измерение магнитной индукции.

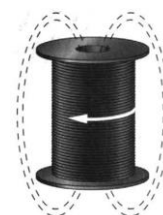
**Задачи:**

1. Квадратная рамка со стороной 10 см, сделанная из проводника, площадь поперечного сечения которого  $1 \text{ мм}^2$  и удельное сопротивление  $2 \times 10^{-8} \text{ Ом} \times \text{м}$ , присоединена к источнику постоянного напряжения 4 В и помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Определить максимальный момент сил, действующих на рамку со стороны поля.
2. Катушка гальванометра, состоящая из 400 витков тонкой проволоки, намотанной на прямоугольный каркас длиной 3 см и шириной 2 см, подвешена на нити в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. По катушке течет ток 0,1 мкА. Найти вращающий момент, действующий на катушку гальванометра, если плоскость катушки: а) параллельна направлению магнитного поля; б) составляет угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением магнитного поля.

**Вопросы:**

1. Что первично: магнитное поле или магнитная индукция?
2. Каким образом можно исследовать магнитное поле?
3. Как направлено магнитное поле катушки с током?
4. Полосовой магнит разделили на две равные части и получили два магнита.

Будут ли эти магниты оказывать такое же действие, как и целый магнит?

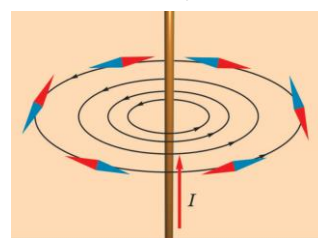




5. Сильный магнит может удерживать на весу гирлянду из нескольких железных цилиндров. Что будет происходить, если снизу приблизить к гирлянде такой же магнит, обращенный к верхнему магниту одноименным полюсом? А если противоположным?
6. Как надо расположить две магнитные стрелки друг относительно друга, чтобы они находились в положении устойчивого равновесия?
7. По длинному прямому металлическому проводнику течет электрический ток. Можно ли избавиться от его магнитного поля, устремившись вдоль провода со скоростью, равной средней скорости упорядоченного движения электронов в нем?

### III. Линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением магнитного поля, называется линией магнитной индукции.

Как можно «увидеть» магнитное поле? Линии магнитной индукции вокруг прямого проводника с током (индикация с помощью магнитной стрелки и железных опилок). Индукция магнитного поля вокруг длинного прямого проводника с током. Демонстрация зависимости модуля магнитной индукции от силы тока в проводнике и расстояния до него.

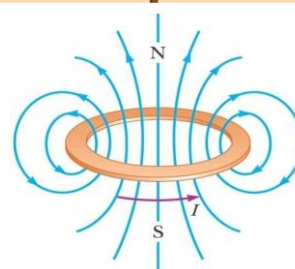


$$B = \mu \cdot \mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot r} \cdot \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$$

$\mu$  – магнитная проницаемость вещества. Закон Ампера:  $B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$

**Магнитное поле кольцевого тока** (индикация с помощью

магнитной стрелки и железных опилок):  $B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$ .

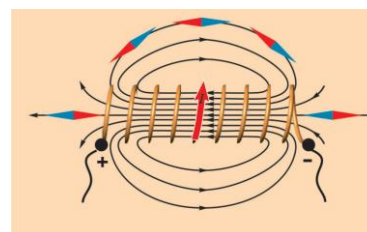


Все части витка с током вносят свой вклад в поле, выходящее из центра витка.

Спектр магнитного поля зарисовать. Электрон в атоме тоже движется по окружности (кольцевой ток), поэтому создает магнитное поле.

**Магнитное поле соленоида** (демонстрация спектра):  $B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I$ .

**Основное назначение соленоида (катушки) – получение однородного магнитного поля с большой магнитной индукцией.** Соленоид — не ругательное слово!



**Особенности линий магнитной индукции:**

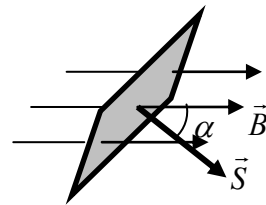
- Всегда замкнутые линии (вихревое поле).
- Не имеют ни начала, ни конца.

При соединении двух полосовых магнитов в один, полюса, существовавшие в области соединения, исчезают, при разделении – появляются вновь (демонстрация). Отдельных магнитных полюсов не существует! Если бы магнитные заряды существовали, то это позволило бы человечеству получить практически неограниченный источник экологически чистой энергии. Аннигиляция только северного и южного монополей дала бы в  $10^{16}$  степени больше энергии, чем распад такой же массы урана.

*Вопрос:* До каких пор можно делить магнит?

**В природе нет источников магнитного поля** (коренное различие между электричеством и магнетизмом)!

**Магнитный поток ( $\Phi$ )** – свойство магнитного поля пронизывать тела (ввести, как число линий магнитной индукции через площадь контура, ограничивающего тело), измеряемое скалярным произведением магнитной индукции и площади контура, ограничивающего тело:



$$\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cos \alpha = \vec{B} \cdot \vec{S}.$$

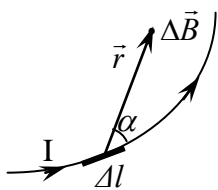
Единица магнитного потока в СИ:  $[\Phi] = [\text{Вб}] = [\text{Тл} \cdot \text{м}^2]$ .

Магнитный поток, как и электрический заряд, квантуется, то есть можно принимать лишь значения, кратные величине  $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$  Вб, называемой квантом потока:  $\Phi = N \cdot \Phi_0$ .

*Пример:* Поток естественного магнитного поля Земли через площадь  $1 \text{ мм}^2$  равен приблизительно 25000 квантов.

**Магнитное поле полосового и дугообразного магнитов** (демонстрация).

Фарадею магнит рисовался окруженным множеством невидимых и пронизывающих все пространство шупалец, с помощью которых полюса этого магнита и притягивают к себе магнитную стрелку.

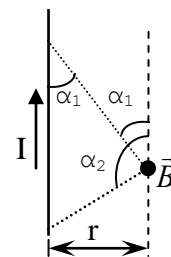


**Дополнительный материал:** Закон Био-Савара-Лапласа (вычисление вектора индукции поля в заданной точке):  $\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta l \sin \theta}{4\pi r^2}$ ,

где  $\theta$  – угол между направлением элемента тока в проводнике и радиус-вектором. Пользуясь этим законом,

покажите, что в прямом проводнике длины  $l$ , по которому течет ток силой  $I$  в точке, удаленной от проводника на расстояние  $r$ , модуль вектора магнитной

индукции равен:  $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$



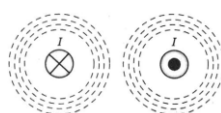
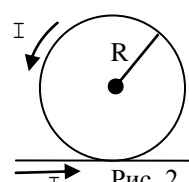
**Дополнительный материал:** (явление магниторезистивности): Если на проводник с током действует внешнее магнитное поле, линии которого идут в том же направлении, что и ток, то его сопротивление уменьшается, а если перпендикулярно току – то увеличивается (явление магниторезистивности открыл в 1857 году лорд Кельвин). Благодаря этому эффекту считывается информация с дисков. Считывающая головка с текущим через нее током проходит над намагниченным диском, каждая ячейка которого играет для головки роль внешнего магнитного поля. Поскольку от одной ячейки к другой направление этого поля меняется (нули и единицы), то будет изменяться и ее электрическое сопротивление, а, следовательно, и ток.

#### IV. Задачи:

1. По тонкой трубе радиусом 5 см течет ток 100 А. Определите индукцию магнитного поля в центре трубы и вне трубы на расстоянии 5 см от ее поверхности (закон Ампера).
2. Длинный соленоид намотан в один слой из проволоки диаметром 1 мм. Максимально допустимое значение силы тока, который можно пропустить по этому проводу, равно 5 А. Какой может быть индукция магнитного поля внутри такого соленоида?
3. Определите величину тока в кольцевом проводнике радиусом 20 см, который содержит 8 витков проволоки, если помещенная в центре на острие магнитная стрелка отклонилась на угол  $30^\circ$ . Плоскость кольцевого тока совпадает с плоскостью магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли  $18 \text{ мкТл}$ .

- В однородное магнитное поле с индукцией  $2 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции помещен прямолинейный проводник с током силой 50 А. Найти совокупность точек, в которых результирующая магнитная индукция равна нулю.
- По двум длинным параллельным проводам протекают токи  $I_1$  и  $I_2$  в одном направлении. Расстояние между проводами равно  $r$ . Найти точку в плоскости рисунка, в которой индукция магнитного поля равна нулю.





*Вопросы:*

- Из куска изолированной проволоки сделан виток радиусом  $R$  и подключен к источнику постоянного тока. Как изменится магнитная индукция в центре круга, если из того же куска проволоки сделать два прилегающих друг к другу витка радиусом  $R/2$ ? 
- Как направлены линии магнитной индукции вокруг провода с током (Рис. 1)?
- Что и как необходимо сделать, чтобы в соленоиде без сердечника индукция магнитного поля выросла в два раза, при уменьшении силы тока вдвое?
- По двум параллельным проводникам в одном направлении текут одинаковые токи. Определите направление вектора магнитной индукции в точке между проводниками.
- Бесконечно длинный тонкий проводник, по которому течет ток  $I$ , переходит в окружность радиуса  $R$ . Определите индукцию магнитного поля в центре окружности (Рис. 2). 
- Как будет вести себя магнитная стрелка в неоднородном магнитном поле?
- Докажите, что в центре длинного соленоида на его оси индукция магнитного поля в два раза больше, чем возле его края?
- В центре вертикальной плоской катушки находится магнитная стрелка. Один раз плоскость катушки устанавливается перпендикулярно стрелке, а другой раз – вдоль стрелки. Как будет вести себя стрелка при включении тока в катушке в том и другом случае?

*Я не позволю, чтобы хождение в школу мешало моему образованию.*

*Гекльберри Финн*

## V. § 61.

- Изобразите графически результирующее поле двух проводников с током  
а)   б)  
- Как изменится модуль вектора магнитной индукции поля в центре кругового витка с током, если: а) увеличить радиус витка; б) виток слегка перегнуть по диаметру?
- Как можно ускорить железный шарик с помощью катушки, подключенной к источнику постоянного напряжения через ключ (пушка Гаусса)?
- Чему равна магнитная индукция поля в центре проволочного кольца, к двум произвольным точкам которого подведены радиально идущие провода, соединенные с удаленным источником тока?
- Сверхпроводящее кольцо с током перекручивают, превращая его в «восьмерку» из двух одинаковых колец. Затем «восьмерку» складывают так, что получается одно двойное кольцо. Как изменится индукция магнитного поля в центре кольца по сравнению с

первоначальной индукцией?

- Почему при разгоне электрички метрополитена стрелка компаса устанавливается перпендикулярно направлению движения вагона? Почему этот эффект особенно заметен, если компас положить на сиденье?
- В одной плоскости лежат два взаимно перпендикулярных проводника с токами  $I_1$  и  $I_2$ . Найдите геометрическое место точек, в которых индукция магнитного поля равна нулю.
- Предложите проект амперметра, через который не проходит ток.

*Требуются очень глубокие знания, чтобы заметить простейшие, но подлинные отношения вещей между собой.*

*Г.К. Лихтенберг*

Урок 33/15.

## СИЛА АМПЕРА

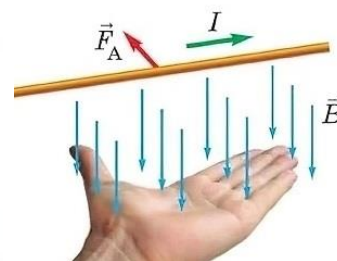
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Научить учащихся рассчитывать модуль и определять направление силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** проводник из фольги, блок питания, два дугообразных магнита, магнит из набора "Вихревые токи".

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Линии магнитной индукции. 2. Магнитный поток.

**Задачи:**

1. Молния ударила в железную мачту высотой 7 м и диаметром 10 см, причем электроны движутся вниз по мачте. Если разность потенциалов между вершиной и основанием мачты равна 20 кВ, то какую величину и направление имеет индукция магнитного поля на расстоянии 50 см к северу от мачты?
2. По двум параллельным проводникам бесконечной длины, находящимся на расстоянии 5 см друг от друга, текут токи по 10 А. Определить модуль и направление вектора магнитной индукции в точке, находящейся на расстоянии 3 см от первого проводника и 4 см от второго. Направление токов выбирается произвольно.
3. Проволочный контур в виде квадрата со стороной 20 см расположен в магнитном поле так, что его плоскость перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. Индукция магнитного поля 0,2 Тл. Контур повернули на угол  $60^\circ$ . Насколько и как изменился магнитный поток, пронизывающий контур?
4. По кольцу радиуса  $R$  течет ток  $I$ . Определите индукцию магнитного поля в центре кольца

и на его оси, на расстоянии  $h$  от центра кольца. Индукция магнитного поля Земли вблизи магнитных полюсов примерно равна  $10^{-4}$  Тл. Предположим, что такое поле создается кольцевым током радиуса 5000 км, протекающим в плоскости экватора. Чему должна равняться сила такого тока?  $8,0 \cdot 10^5$  А.

**Вопросы:**

1. По медной трубе, в направлении ее продольной оси, течет ток. Намагнитится ли стальной стержень, помещенный в эту трубу?
2. Какова магнитная индукция в центре проволочного ромба, если батарейку подключить к вершинам ромба, лежащим на одной диагонали?
3. К двум произвольным точкам проволочного кольца подведены идущие радиально провода, соединенные с весьма удаленным источником тока. Чему равна индукция магнитного поля в центре кольца?

4. Контур с током имеет вид, показанный на рисунке. Сила тока равна  $I$ . Найти величину магнитной индукции в центре полуокружности радиуса  $R$ .

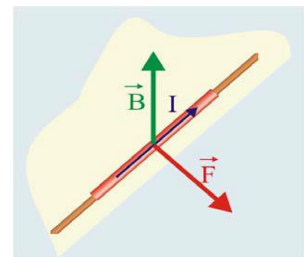


5. По двум прямым очень длинным и параллельным проводам текут токи одинаковой силы. Во сколько раз изменится величина вектора магнитной индукции в точке пространства, удаленной от каждого из проводов на расстояние, равное расстоянию между проводами, если изменить направление одного из токов на противоположное направление?

6. Почему стрелка компаса, находящегося в магнитном поле, совершает колебания?

7. Какие у вас есть гипотезы на природу земного магнетизма?

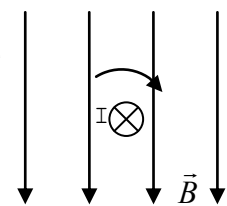
8. По четырем параллельным проводникам текут одинаковые токи. Как направлен вектор магнитной индукции в центре квадрата? Направление токов выбирается произвольно.



**III. Демонстрация действия магнитного поля на проводник с током (рисунок на доске). Сила Ампера (демонстрация).** Эта сила перпендикулярна как индукции магнитного поля, так и проводнику с током. Правило левой руки для определения направления силы Ампера: «Если левую руку (в шутку «... правой ноги...»). Почему так пишешь? Тренировки с дугообразным магнитом и проводником: определение направления тока в проводнике, полюсов магнита, направления действующей на проводник с током силы.

**Анекдот:** Через неделю после стипендии у студента вступает в действие правило левой руки: он закрывает левой рукой название блюд, выбирает низкие цены и ест. В дни перед стипендией действует правило буравчика: студент входит в столовую, вертится около меню и уходит.

**Дополнительная информация.** Альтернативный способ определения направления силы Ампера: Круговые линии индукции магнитного поля вокруг проводника с током усиливают линии внешнего магнитного поля по одну сторону проводника и ослабляют по другую его сторону. Проводник с током выталкивается в область более слабого поля. Позже мы узнаем, что при движении участка замкнутого



проводника в магнитном поле, в нем возникает ток такого направления, что этот участок будет выталкиваться из магнитного поля (чтобы получить индукционный ток, надо совершать работу).

*Краб, живущий на мелководье, - настоящий политик. Когда опасность угрожает ему сверху, он смотрит прямо перед собой и убегает вбок.*

*Автор неизвестен*

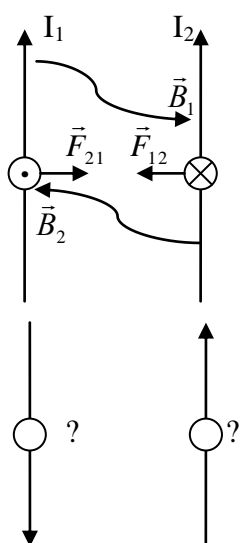
*Настоящий политик думает одно, говорит другое, а делает третье. Политика – дело тонкое. Видел ли кто, как писает комар? Так политика еще тоньше (анекдот от Ступки)!*

Количественное исследование зависимости силы Ампера от модуля вектора магнитной индукции, силы тока в проводнике, длины активной части проводника, угла между направлением магнитной индукции и направлением тока:

$$F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha.$$

**Взаимодействие параллельных токов** (последовательные рассуждения с

выводом формулы):  $F_{12} = F_{21} = F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi \cdot r} \Delta l.$



**Взаимодействие токов противоположного направления** (рисуют и рассуждают ученики).

"Токовые весы": Один ампер (1 А) равен силе постоянного тока, который, протекая по двум длинным прямолинейным параллельным проводникам, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, создает на участке проводника длиной 1 м силу  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

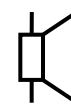
**Применения:**

- С помощью сильного магнита можно установить, постоянный или переменный ток течет по проводу.
- **Громкоговоритель** (демонстрация на модели).

Обозначение на схемах:

- **Магнитная индукция ( $\vec{B}$ )** – свойство магнитного поля действовать на проводник с током с некоторой

**силой, измеряемое в данной точке отношением максимальной силы, действующей на проводник, к его длине и силе тока в нем.**



**Историческая справка:** Лаплас присутствовал на первой публичной демонстрации опыта Ампера. Публика уже расходилась, и Лаплас у выхода стал ждать ассистента ..., хлопнув его по плечу и, пристально глядя на него, спросил: «А не вы ли это, молодой человек, подталкивали провод?»

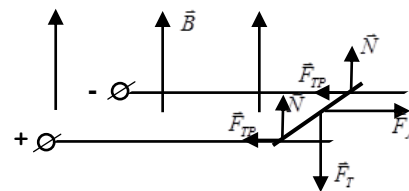
**Историческая справка:** Близорукостью Ампера безжалостно пользовались школьники, которых он учил. Видя, что их преподаватель пишет крупнее, чтобы было видно всем, дети стали прикидываться близорукими и просить, чтобы он писал еще крупнее. Ничего не подозревавший Ампер дошел до того, что на большой доске писал всего одно слово.

#### IV. Задачи:

1. В одном из больших ускорителей заряженных частиц медные шины обмотки электромагнита имеют длину 25 м, находятся на расстоянии 10 см (от оси до оси) друг от друга и проводят импульсный ток, достигающий 7000 А. Какая сила действует между этими шинами?



2. Горизонтальные рельсы находятся на расстоянии 0,3 м друг от друга. На них лежит стержень, перпендикулярный рельсам. Какой должна быть минимальная индукция магнитного поля для того, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропустить ток силой 50 А? Коэффициент трения стержня о рельсы равен 0,2, а его масса 0,5 кг.



3. По горизонтально расположенному проводнику длиной 20 см и массой 4 г течет ток 10 А. Найти магнитную индукцию (модуль и направление) поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась силой Ампера.

4. По прямому горизонтально расположенному проводу течет ток 5 А. Под ним находится второй параллельный ему алюминиевый провод с током 1 А. Расстояние между проводами 1 см. Какова должна быть площадь поперечного сечения второго провода, чтобы он находился в равновесии незакрепленным? Ответ:  $S = 3,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$ .

**Вопросы:**

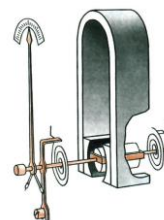
1. В магнитное поле, направленное в доску, помещен провод, по которому течет ток справа налево. Определите направление силы Ампера.
2. Как будут взаимодействовать между собой витки соленоида, если по ним потечет: а) постоянный ток; б) переменный ток?
3. Ток в горизонтальном проводе течет с юга на север. Куда направлена сила, действующая на провод со стороны магнитного поля Земли в Томске?
4. Прямолинейный ток  $I_1$  проходит по оси кругового тока  $I_2$ . С какой силой взаимодействуют эти токи?
5. Почему «гудят» провода в линиях электропередачи?
6. Почему замкнутый подвижный проводник, по которому идет ток, стремится принять форму кольца, даже если он не находится в магнитном поле?

**V. § 62. Упр. 11, № 1-3.**

1. Докажите, что сила Ампера, действующая на проводник в однородном магнитном поле, не зависит от формы проводника.
2. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Ампера.
3. Докажите, что сила Ампера, действующая на замкнутый проводник с током в магнитном поле, равна нулю?

*Измеряй все, что можешь измерить, и сделай таковым все, не подлежащее измерению.*

*Галилей*



Урок 34/16

**ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с принципом действия электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы и другими практическим применениями основного свойства магнитного поля.

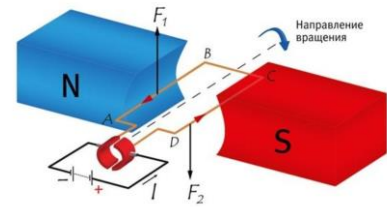
**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы, громкоговоритель, звуковой генератор, электродвигатель постоянного

тока, диафильм "Электроизмерительные приборы".

**ПЛАН УРОКА:**

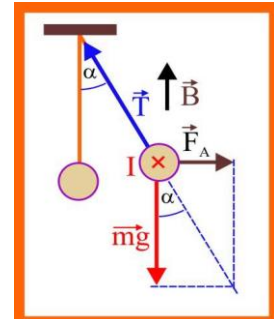
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Сила Ампера. 2. Взаимодействие токов.

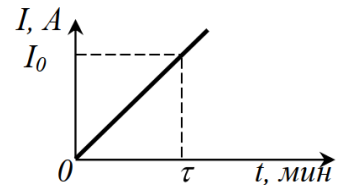
**Задачи:**

1. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,25 Тл и направлена вертикально вверх, находится подвешенный на тонких проволочках горизонтально проводник массой 10 г и длиной 20 см. На какой угол от вертикали отклоняются проволочки, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток силой 2 А?



2. Прямой проводник, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции на гладком горизонтальном столе, при пропускании по нему тока силой 1 А приобрел ускорение 2 м/с<sup>2</sup>. Площадь поперечного сечения проводника 1 мм<sup>2</sup>, плотность материала проводника 2500 кг/м<sup>3</sup>. Чему равна индукция магнитного поля (в мТл)?

3. На горизонтальном столе лежит прямолинейный проводник массой  $m$  и длиной  $\ell$ . Линии однородного магнитного поля направлены перпендикулярно проводнику под углом  $\alpha$  к поверхности стола. Ток в проводнике медленно изменяется по закону, приведённому на рисунке. В какой момент времени проводник начнёт двигаться? Коэффициент трения между стержнем и поверхностью стола равен  $\mu$ , модуль магнитной индукции равен  $B$ . Влиянием подводных проводов пренебречь.



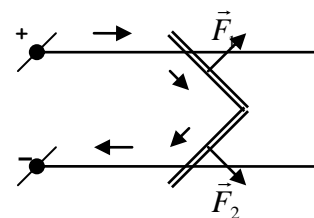
4. Прямолинейный проводник длиной 20 см и массой 25 г лежит на горизонтальной поверхности в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. При протекании тока в течение 1 с проводник подпрыгнул на высоту 5 см. Вычислить прошедший заряд. Силовые линии поля направлены горизонтально и перпендикулярны к проводнику.

**Вопросы:**

1. Громоотвод был соединен с землей при помощи тонкостенной металлической трубки. Почему после удара молнии трубка превратилась в стержень?
2. Действует ли проводник с током на магнитное поле?
3. Почему скрещенные токи стремятся расположиться параллельно друг другу?
4. Объясните принцип действия электромагнитной пушки.



На испытаниях в США электромагнитная пушка за 5 минут накопила в своих аккумуляторах 33 МДж энергии и в мощной вспышке выбросила 10-киллограммовую болванку за 10 секунд со скоростью в пять раз выше скорости звука на расстояние 200 км.

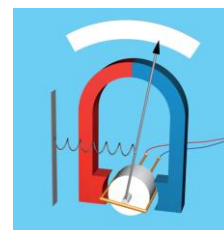


5. Прямолинейный проводник с током находится в магнитном поле. Линии индукции перпендикулярны к проводнику. Как и во сколько раз изменится сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, если его в середине согнуть под прямым углом?

6. Контур в форме окружности закреплен шарнирно на вертикальной оси и помещен в горизонтальное магнитное поле. Опишите его поведение после появления в нем тока.

7. По двум жестким прямолинейным незаряженным проводам, скрещивающимся под прямым углом, пропускают токи  $I_1$  и  $I_2$ . Как будет меняться взаимное расположение проводов сразу после включения токов?

**III. Электроизмерительный прибор, его назначение. Приборы магнитоэлектрической системы** (объяснение по кадрам диафильма). Принцип действия прибора (рисунок в тетрадь).

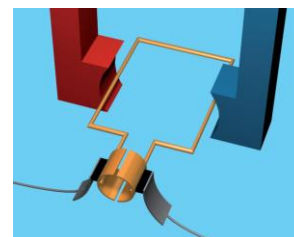


$M_{max} = IBNS$  – максимальный вращающий момент, действующий на рамку током в магнитном поле. Он максимален, если угол между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{n}$  равен  $90^\circ$ , а если угол равен  $0^\circ$ , то и момент равен нулю (демонстрация). Поэтому, в общем случае, момент сил, действующих со стороны магнитного поля на рамку с током, определяется формулой:  $M_{max} = IBNS \rightarrow \vec{M} = \vec{P}_M \times \vec{B}$ .



$\vec{P} = IN\vec{S}$  – магнитный дипольный момент катушки с током или, например, магнитной стрелки.

**Громкоговоритель**, как прибор магнитоэлектрической системы. Принцип его действия. **Электродвигатель** постоянного тока, как прибор магнитоэлектрической системы. Принцип его действия.



Обозначение на электрических схемах: 

**IV. Задачи:**

1. Индукция однородного магнитного поля 0,5 Тл. Найти момент сил, действующих на замкнутый виток площадью  $25 \text{ см}^2$  с током 2 А, если угол между нормалью к витку и магнитной индукцией равен  $30^\circ$ .
2. Для подъема грузов на валу электромотора постоянного тока укреплен барабан радиусом 10 см, на который намотан трос. Определите максимальную массу груза, который можно поднять таким способом, если площадь обмотки якоря  $150 \text{ см}^2$ , число витков в обмотке 20, индукция магнитного поля 1,2 Тл, а максимальная сила тока 20 А.
3. По наклонной плоскости скатывается деревянный цилиндр, масса которого  $m = 0,25 \text{ кг}$ , длина  $l = 0,1 \text{ м}$ . На цилиндр намотали один виток провода так, что плоскость витка проходит через ось и параллельна наклонной плоскости. При какой силе тока в витке I

цилиндр будет находиться в равновесии? Система расположена в магнитном поле, индукция которого  $B = 1$  Тл и направлена вертикально вверх.



**Дополнительная информация:** Никола Тесла и Томас Эдисон.

В 1884 г. 28 летний Никола Тесла приехал в Нью-Йорк без копейки денег. Весной 1885 г. Эдисон пообещал Тесла, который работал в его компании, 50000\$, если тот сумеет конструктивно улучшить электрические машины постоянного тока, придуманные Эдисоном. Никола Тесла активно взялся за работу и вскоре представил 24 модификации этих машин. Одобрив все усовершенствования, Эдисон отказал Тесла в вознаграждении, заметив, что эмигрант плохо понял его условия, поскольку не знает американского юмора. Тесла немедленно уволился. С осени 1886 г. и до весны молодой изобретатель вынужден был перебиваться на подсобных работах – рыл канавы, «спал, где придётся, и ел, что найдет».

**V. §§ 63-64.**

1. Пружина, изготовленная из проводящего материала, имеет длину  $\ell$  и радиус  $r$ . Число ее витков  $N$ , зазор между витками можно считать малым. Коэффициент жесткости пружины  $k$ . Оцените деформацию пружины при пропускании по ней тока силой  $I$ .

*Не слушай учения тех мыслителей, доводы которых не подтверждаются экспериментом.*

*Леонардо да Винчи*

Урок 35/17.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5:

### «НАБЛЮДЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ».

**Почему нельзя включать в сеть свернутый кабель?**

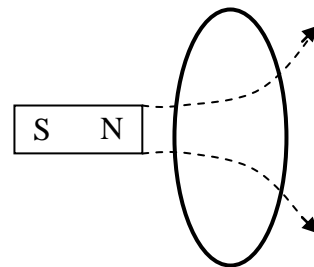
**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Пронаблюдать и описать действие магнитного поля на проводник с током. Рассмотреть возможные практические применения этого свойства магнитного поля.

**ТИП УРОКА:** лабораторная работа.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** магнит полосовой, катушка-виток, сердечник, блок питания, ключ, амперметр, соединительные провода, реостат, штатив с муфтой и лапкой.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
3. Выполнение работы
4. Подведение итогов
5. Задание на дом



**II.** Краткий инструктаж: Определение направления электрического тока в катушке и направления ее магнитного поля. Каков предполагаемый характер взаимодействия (притяжение или отталкивание) катушки с магнитом. Экспериментальная проверка предположения. Зарисовка характерных положений катушки и магнита. Как будет взаимодействовать катушка с магнитом: а) при увеличении силы тока в катушке; б) при увеличении индукции магнитного поля (более "сильный" магнит); в) при изменении угла между направлением нормали к катушке и магнитной индукцией?

**III.** Выполнение работы.

- Обозначить полюса магнита и катушки. Как зависит максимальное расстояние, на котором еще наблюдается действие магнитного поля на катушку, от наличия в ней сердечника?
- Обозначение полюсов магнита и катушки. Как зависит максимальное расстояние, на котором еще наблюдается действие магнита на катушку с сердечником, от силы тока?
- Зарисовка характерных положений магнита и катушки, обозначение полюсов магнита и катушки.

**Дополнительное задание:** определение полюсов у керамического магнита.

**IV. Применения свойства:** 1) приборы для измерения силы тока; 2) приборы для измерения индукции магнитного поля; 4) электродвигатели и громкоговорители.

**V.**

1. По длинному соленоиду, имеющему  $N$  витков и длину  $l$ , идет ток  $I$ . Найти давление  $P$ , действующее на боковую поверхность соленоида.

2. Проволока, по которой идет ток, лежит в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Доказать, что сила, действующая на проволоку, не зависит от ее формы.

*Высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира.*

*А. Эйнштейн*

Урок 36/18.

## ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДВИЖУЩУЮСЯ ЗАРЯЖЕННУЮ ЧАСТИЦУ

**Сила Лоренца и сила Ампера. Кто из них сильнее?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Научить учащихся определять направление и модуль силы, действующей со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу. Рассмотреть возможные практические применения этого явления.

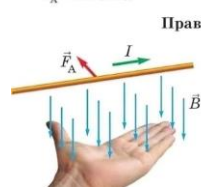
**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** высоковольтный выпрямитель, трубка для изучения свойства катодных лучей, дугообразный магнит, электронный осциллограф.

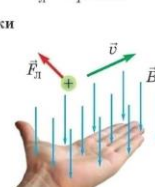
**ПЛАН УРОКА:**

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

Закон Ампера  
 $F_A = BIl \sin \alpha$



Сила Лоренца  
 $F_L = Bqv \sin \alpha$



**II. Опрос фундаментальный:** Электроизмерительные приборы.

**Задачи:**

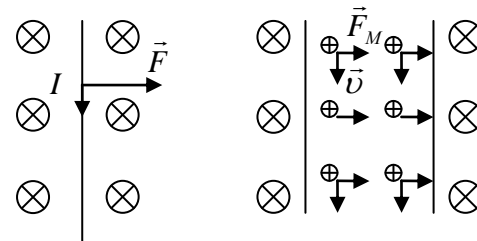
1. По горизонтальному проводу длиной 20 см и массой 2 г течет ток силой 5 А. Определить индукцию магнитного поля, в которое нужно поместить провод, чтобы он висел, не падая (гроб Магомета). Физика не против левитации!
2. Вдоль клина с углом  $\alpha$  при основании проложены рельсы, расстояние между которыми  $\ell$ . По рельсам с трением (коэффициент трения равен  $\mu$ ) скользит проводящий брусок массой  $m$ . Какой минимальный ток  $I$  следует пропустить через брусок, чтобы он не скользил вниз, если вся система находится в магнитном поле, индукция которого  $B$  направлена вертикально?
3. Проводящий стержень длиной 0,1 м и массой 10 г горизонтально висит на двух гибких проводниках в магнитном поле, силовые линии которого направлены вертикально. Какую скорость он приобретет после того, как через него за время 0,01 с пропустят заряд 1 мкКл? Индукция магнитного поля равна 0,12 Тл.
4. Прямой медный провод с током находится в магнитном поле с индукцией  $B = 175$  мТл. При каком минимальном значении напряженности  $E$  электрического поля внутри провода

сила Ампера и сила тяжести, действующие на провод, уравновешены?

**Вопросы:**

1. Объясните, почему прямоугольный проволочный виток с током всегда будет стремиться установиться в магнитном поле так, чтобы плоскость витка была перпендикулярна к полю. Как действуют силы на виток в таком положении? Где это явление можно использовать в технике?
2. Около длинного полосового магнита, установленного вертикально, расположен гибкий свободный проводник. Как расположится проводник, если по нему пропустить ток сверху вниз?
3. Почему без магнитов не было бы движения в электрическом двигателе?
4. Почему не проскакивает «магнитная искра» при приближении двух магнитов друг к другу?
5. Два длинных проводника, по которым течет одинаковый ток, пересекаются, не соприкасаясь, под прямым углом. Опишите магнитные силы, с которыми один проводник действует на другой.
6. Как будет вести себя магнитный диполь (кольцевой ток) у края соленоида?
7. В одном из двух одинаково длинных «черных ящиков» находится постоянный магнит, а в другом – длинная катушка из медной проволоки, подключенная к батарейке. Как определить, в каком из них находится постоянный магнит?

**III.** Действие магнитного поля на проводник с током (демонстрация). На что действует магнитное поле? На ток (упорядоченно движущиеся заряженные частицы)?!



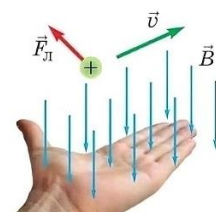
$$I = q_0 n v S; F_A = N \cdot q_0 \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Сила, действующая со стороны магнитного поля на каждую движущуюся заряженную частицу (сила Лоренца):  $F_L = q_0 \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ .

На электроны, движущиеся в магнитном поле, действует сила Лоренца. Электроны не могут покинуть провод, это создает силу, действующую на сам провод (силу Ампера).

**Анализ формулы:**

1. Магнитное поле действует только на движущиеся заряженные частицы. Магнитная сила (сила Лоренца) – относительна!
2. Сила равна нулю, если движение происходит вдоль линий магнитного поля, и максимальна, если скорость частицы перпендикулярна магнитной индукции.
3. Направление силы определяется с помощью правила левой руки.

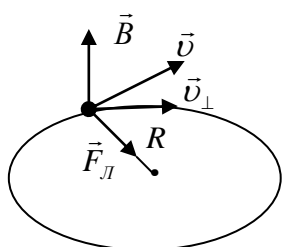


Магнитная индукция ( $\vec{B}$ ) - свойство магнитного поля действовать на движущуюся заряженную частицу с некоторой силой,



измеряемое отношением максимальной силы, действующей в данной точке на частицу, к ее электрическому заряду и скорости.

**Дополнительная информация.** Благодаря магнитной силе мы живем на Земле, вырабатываем электрическую энергию, практически используем термоядерную энергию. Несколько демонстраций (упражнений) на определение направления силы Лоренца. Опыты с катодной трубкой или осциллографом. Почему правило «левой руки» не применимо? Правило «левой руки» для отрицательно заряженной частицы. Открытие позитрона (1932 г). Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле. **Циклотрон.**



$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} \rightarrow R = \frac{P_{\perp}}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$n = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} - \text{циклотронная частота.}$$



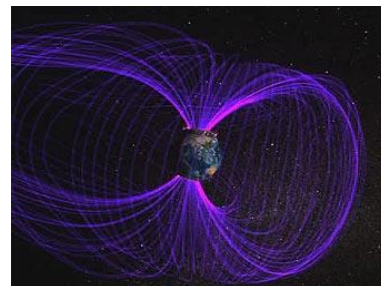
**Дополнительная информация:** Устройство циклотрона и его принцип действия в ознакомительном плане. Первый демонстрационный циклотрон Лоуренса и Ливингстона имел в диаметре около 10 см, второй — 25 см, третий — 69 см (разгонял протоны до энергии 5 МэВ).

В синхрофазотроне с увеличением импульса частиц увеличивается индукция магнитного поля (в циклотроне радиус орбиты), поэтому радиус орбиты остается неизменным.

**Коллайдер – ускоритель на встречных пучках.** Это 27-ми километровое кольцо - самый большой и мощный из когда-либо построенных ускорителей элементарных частиц, в котором сталкиваются протоны с энергией до 14 ТэВ. Протоны в коллайдере летят в виде сгустков, в каждом из которых содержится около  $10^8$  частиц (длина 5 см и толщина сотые доли миллиметра). Место встречи сгустков изменить нельзя!

**Факт.** Когда основателя и первого директора Лаборатории Ферми Роберта Вильсона спросили, поможет ли строительство крупнейшего в мире ускорителя элементарных частиц повысить обороноспособность США, он ответил: «Нет. Но это поможет сохранить за США статус страны, которую стоит защищать».

**Масс-спектрограф. Разделение изотопов урана. Магнитное поле Земли.** Магнитное поле защищает поверхность Земли и часть околоземного пространства от губительной солнечной и космической радиации и не даёт атмосфере рассеиваться в космическом пространстве. Если взять Землю и полностью убрать ее магнитное поле, доза облучения возрастет в два раза – довольно сильно, однако на нас это отразится очень мало или не отразится вообще. Однако, если оставить магнитное поле и уменьшить толщину атмосферы до одной десятой, - доза радиации возрастет на два порядка величин. **Полярные сияния.**



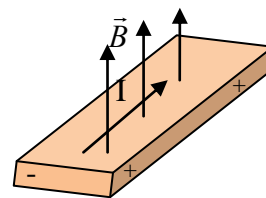
В середине XX века учёные выдвинули предположения о том, что цветные огни полярных сияний являются следствием возбуждения молекул кислорода и азота в верхних слоях атмосферы под воздействием солнечного ветра. Солнечный ветер представляет собой поток заряженных частиц – электронов, который «осыпает» Землю на скорости 300—1200 км/с. В результате столкновения с солнечным ветром молекулы в атмосфере получают излишек энергии, который выделяется в виде красочного свечения. Цвет северного сияния зависит от того, молекулы какого газа получили избыточный запас энергии - зеленоватые сполохи в ночном небе даёт кислород, а фиолетовые - азот.

Ах, как играет этот север!  
 Ах, как пылает надо мной  
 Разнообразных радуг веер  
 В его короне ледяной!  
 Ему, наверно, по натуре  
 Холодной страсти красота,  
 Усилием магнитной бури  
 Преображенная в цвета...  
 М. Дудин



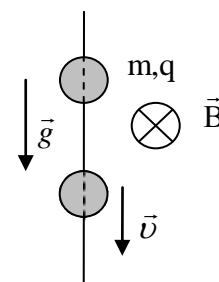
**Дополнительная информация:** Магнитное поле Земли защищает нас от мягких космических лучей. Ускорение протонов в космосе происходит при рассеянии на магнитных полях плазмы, выброшенной при взрывах сверхновых звезд. Электроны высоких энергий, находящиеся в радиационных поясах Земли, также появляются из-за космических лучей, которые возникают при взрыве сверхновых. Протоны, движущиеся перпендикулярно к полю, отражаются обратно и получают энергию, подобно мячу при лобовом столкновении с движущимся автомобилем. Самые высокоэнергичные частицы обладают энергией в сто миллионов раз больше, чем можно достичь в самых крупных ускорителях на Земле. Энергия этих частиц оценивается в  $3 \cdot 10^{20}$  электрон-вольт - до 48 Дж (космические лучи ультравысоких энергий). Откуда они берутся, остается загадкой, однако большинство из этих заряженных частиц – это протоны. Вращение чёрной дыры совместно с движением газа в её центр периодически может создавать вертикальные магнитные поля, которые направляют большое количество газа от чёрной дыры в виде релятивистских струй или джетов.

**Эффект Холла** — явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле. Открыт Эдвином Холлом в 1879 году в тонких пластинках золота.



#### IV. Задачи:

1. В однородное магнитное поле с индукцией 0,085 Тл влетает электрон со скоростью  $4,5 \cdot 10^7$  м/с, направленной перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Определить силу, действующую на электрон в магнитном поле и радиус дуги окружности, по которой он движется.
2. В однородное магнитное поле с индукцией 1,2 Тл перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с кинетической энергией 20 кэВ. Каков радиус кривизны траектории электрона в поле и период его обращения?
3. Перпендикулярно линиям индукции в однородное магнитное поле влетают протон и однозарядный ион атома гелия, ускоренные одной и той же разностью потенциалов. Во сколько раз радиус окружности, по которой движется ион, больше, чем у протона?
4. На длинную вертикальную спицу надета бусинка массы  $m$  и зарядом  $q$ . Перпендикулярно спице приложено магнитное поле с индукцией  $B$ . Если бусинку отпустить, то, падая вниз, она через какое-то время приобретает постоянную скорость  $v$ . Найдите коэффициент трения между бусинкой и спицей.
5. В небольшом циклотроне с максимальным радиусом 0,5 м протоны ускоряются в магнитном поле с индукцией 1,7 Тл, Рассчитайте кинетическую энергию протонов,



покидающих циклотрон.

*Вопросы:*

1. Почему жидкий проводник при пропускании по нему тока стремится уменьшить площадь своего поперечного сечения?
2. В каком случае на заряд, движущийся в магнитном поле, не действует сила Лоренца?
3. В какую сторону отклонится горизонтальный пучок положительных ионов, движущийся справа налево, если к нему сверху поднести магнит?
4. Почему два параллельных проводника, по которым текут токи в одном направлении, притягиваются, а два параллельных пучка электронов – отталкиваются?
5. Может ли сила, действующая на заряженную частицу в магнитном поле, изменить ее энергию?
6. Почему уровень океана может изменяться в данном месте из-за течений?
7. Будет ли устойчивым движение заряженной частицы вдоль линии индукции однородного магнитного поля?
8. Как изменится период обращения заряженной частицы в однородном магнитном поле при увеличении её скорости в два раза?
9. Какую роль играет магнитное поле в ускорителях частиц?
10. От каких свойств частицы зависит форма ее траектории при движении в гравитационном поле, электрическом поле, магнитном поле?

**V. § 65. Упр. 11, № 4.**

1. Ученые установили, что у перелетных птиц и многих животных (даже у коров!) есть «магнитный компас», который регистрирует небольшие изменения величины и направления индукции магнитного поля Земли, что позволяет им определять, таким образом, направление в пространстве. Как, по вашему мнению, он устроен?
2. На плоскости дана дуга окружности. С помощью циркуля и линейки постройте отрезок, равный ее радиусу.
3. Что случилось бы, если бы Земля была внутри пустой?

*Знанию всегда предшествует предположение.*

*А. Гумбольдт*

**Урок 37/19.**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

**Почему мы видим северное полярное сияние?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Развить представления, полученные при изучении магнитной силы. Научить учащихся решать задачи на движение частицы в сложных полях.

**ТИП УРОКА:** решение задач.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** микрокалькулятор.

**ПЛАН УРОКА:**

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





**II. Опрос фундаментальный:** 1. Магнитная сила. 2. Движение заряженной частицы в магнитном поле. 3. Магнитная сила в природе и технике.

*Задачи:*

1. Электрон влетает в область однородного магнитного поля с индукцией 0,001 Тл со скоростью  $10^4$  км/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ ?

Поместите движущийся электрон в магнитное поле — и сможете отклонять его в ту или иную сторону! В электронных микроскопах используются так называемые магнитные линзы, которые отклоняют потоки электронов и могут работать с ним почти так, как обычная оптическая линза работает с простым светом.

2. Две частицы, имеющие отношение зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = 2$  и отношение масс

$\frac{m_1}{m_2} = 4$ , влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям

индукции и движутся по окружностям с отношением радиусов  $\frac{R_1}{R_2} = 2$ .

Определите отношение кинетических энергий  $\frac{W_1}{W_2}$  этих частиц.

3. Положительно заряженный шарик массой  $m = 1$  г подвешен на нити длиной  $L = 1$  м и равномерно движется по окружности в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл (Рис. 1). Заряд шарика  $q = 1$  мКл. Нить образует с вертикалью угол  $60^\circ$ . Найдите угловую скорость равномерного обращения шарика по окружности.

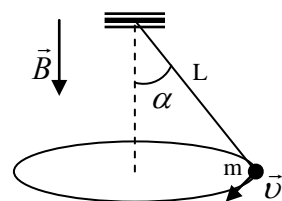


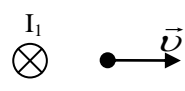
Рис. 1

4. Внутренний диаметр дуантов циклотрона 1000 мм. Индукция магнитного поля 1,2 Тл. Ускоряющее напряжение 100 кВ. Найти: а) максимальную энергию, до которой могут быть ускорены в этом циклотроне протоны, и скорость, приобретаемую протонами к концу ускорения; б) время, в течение которого длится процесс ускорения.

*Вопросы:*

1. Почему в Канаде северные сияния бывают чаще, чем в Сибири, расположенной на той же географической широте?
2. В каких случаях магнитное поле не отклоняет движущуюся в нем частицу?
3. Могут ли ионы разной массы, ускоренные одним и тем же электрическим полем, иметь одинаковые траектории в магнитном поле?
4. В каком направлении нужно двигать в однородном магнитном поле точечный заряд, чтобы действующая на него со стороны магнитного поля сила была максимальна (равна нулю)?
5. Чем объяснить, что кривизна траектории электрона, движущегося в магнитном поле, после прохождения сквозь металлическую фольгу увеличивается?

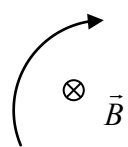
6. В электронном микроскопе для фокусировки электронного пучка используется магнитная линза. Простейшая магнитная линза представляет собой катушку с током. Рассеянный пучок электронов фокусируется, проходя через магнитное поле катушки. Как это объяснить?



7. Вблизи длинного прямого проводника с током пролетает протон со скоростью  $\vec{v}$ . Как направлена сила Лоренца, действующая на протон?

8. Почему на поверхности нейтронной звезды образуются два горячих пятна, называемые полярными шапками (магнитная линза)?

9. На рисунке изображен участок траектории частицы, движущейся в постоянном магнитном поле. Каков знак заряда частицы?

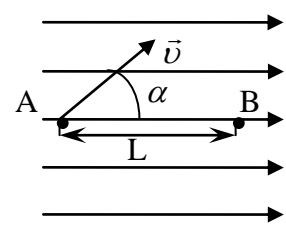


**III. Задачи:**

1. Электрон движется по окружности радиуса 10 см в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл. Параллельно магнитному полю возбуждается однородное электрическое поле с напряженностью 100 В/м. За какой промежуток времени кинетическая энергия электрона возрастет вдвое?

**Сила Лоренца** — сила, с которой электромагнитное поле, согласно классической электродинамике, действует на точечную заряженную частицу.

2. В синхротроне электроны разгоняются электрическим полем до скорости 20,5 Мм/с, после чего влетают в магнитное поле радиусом 4 м. Какова должна быть индукция магнитного поля, чтобы удержать электроны в туннеле синхротрона?



3. Электрон влетает в однородное магнитное поле. В точке А он имеет скорость  $\vec{v}$ , которая составляет с направлением поля угол  $\alpha$ . При каких значениях индукции магнитного поля электрон окажется в точке В. Заряд электрона  $e$ , масса  $m$ , расстояние между точками А и В равно  $L$ .

**Дополнительная информация.** Проблемы удержания горячей плазмы. Токамак (токовая камера с магнитными катушками). На большом токамаке *TFTR* (США) была достигнута температура  $4 \cdot 10^8$  К, время удержания плазмы до 10 с, мощность 10 МВт. Начато строительство международного экспериментального реактора (*ITER*): объем плазмы 2000 л, мощность 500 МВт, стоимость 5 млрд. евро. Почему технически очень сложно осуществить управляемую термоядерную реакцию на установках типа токамак?

**IV.**

1. В сосуде под большим давлением содержится смесь газов (азота и кислорода). Предложите способ разделения этой смеси на отдельные компоненты.

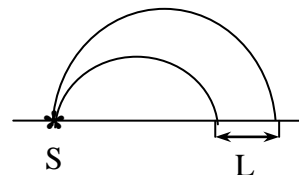
2. Почему даже слабое магнитное поле (магнит объемом до  $1 \text{ см}^3$ ) вызывает появление "картины магнитного поля" на экране телевизора?

3. Что произойдет с листочками электроскопа, заряженными отрицательно, если к его головке не касаясь поднести северный полюс полосового магнита?

4. Один из предложенных путей получения высоких температур, необходимых для осуществления термоядерных реакций, использует так называемую «магнитную термоизоляцию». Уход быстрых частиц из зоны высокой температуры предотвращается магнитным полем. Оценить силу тока в столбе газового разряда радиуса 3 см, необходимую для того, чтобы электроны, обладающие средней скоростью хаотического движения, соответствующей температуре  $10^6$  К, не могли удаляться от поверхности столба на расстояние более чем  $3 \cdot 10^{-3}$  см. **Пинч-эффект** - это эффект сжатия плазменного

образования, несущего электрический ток, под действием магнитного поля, создаваемого этим током.

4. В установке для разделения изотопов  $U^{235}$  и  $U^{238}$  пучок однократно ионизованных ускоренных ионов урана с энергией 5 кэВ попадает от источника через щель в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости рисунка. В магнитном поле ионы разных масс движутся по окружностям разного радиуса и, совершив полуоборот, попадают в приемники. Конструкция последних должна быть такова, чтобы расстояние между пучками изотопов урана на выходе было не меньше 5 мм. Каково должно быть магнитное поле, удовлетворяющее этому условию?



5. Можно ли по знаку холловской разности потенциалов судить о знаке свободных носителей заряда? Будет ли наблюдаться эффект Холла в электролитах, в полупроводниках?
6. На основе эффекта Холла, помимо датчика выключения света в холодильнике, работают приводы дисководов, компас в твоём смартфоне, прибор для измерения заряда аккумулятора или клещи для измерения силы тока бесконтактным путём. Как это все работает? Есть и другие способы воздействовать на объект без прямого контакта много: магнитный, акустический, оптический.
7. Почему магнитное поле нейтронной звезды вытягивает в ниточку электронные орбиты атомов?
8. Измерьте отношение заряда электрона к его массе с помощью телевизора.
9. Две одинаковые частицы с зарядами  $q$  и массами  $m$  вылетают одновременно из одной точки в направлении, перпендикулярном линиям однородного магнитного поля с индукцией  $\vec{B}$ . Вычислите расстояние между частицами как функцию угла поворота, если начальные скорости частиц направлены одинаково и равны  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ .

*Нет ничего позорнее для натуралиста, чем мнение, будто что-либо может произойти без причины.*

*Цицерон*

Урок 38/20.

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭДС ПРИ ДВИЖЕНИИ ПРОВОДНИКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

**Как связаны электричество и магнетизм и как это помогает получать электроэнергию.**

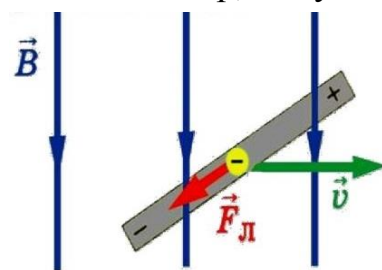
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Изучить явление возникновения ЭДС при движении проводника в магнитном поле и рассмотреть практические применения этого явления.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** магнит дугообразный, проводник, гальванометр, катушки Гельмгольца, прибор "Рамка в магнитном поле".

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** Практические применения свойства магнитного поля действовать на движущуюся заряженную частицу.

**Задачи:**

1.  $\alpha$ -частица, ускоренная напряжением 250 кВ, пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией 0,51 Тл. Толщина области с полем

10 см. Определить угол отклонения  $\alpha$ -частицы от первоначального направления движения.

2. Заряженная частица, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности радиусом 20 см, прошла через свинцовую пластинку, после чего радиус кривизны ее траектории стал равен 1 см. Какая часть первоначальной кинетической энергии частицы пошла на нагревание пластинки?
3. Протоны движутся по окружности радиусом 8,1 см в магнитном поле с индукцией 0,58 Тл. Какое электрическое поле надо наложить, чтобы протоны двигались по прямой линии? Как должен быть направлен вектор  $\vec{B}$ ,  $\vec{E}$ ?

**Селектор скоростей:** Если заряженные частицы движутся во взаимно перпендикулярных электрических и магнитных полях, то прямолинейно будут распространяться частицы, у которых скорость  $v = \frac{E}{B}$ . Их можно выделить, поместив на их пути диафрагму.

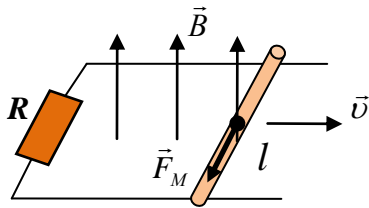
4. К пластинам плоского конденсатора приложена разность потенциалов 100 В. Конденсатор расположен в магнитном поле, силовые линии которого параллельны пластинам. Каким должно быть расстояние между пластинами, чтобы заряженные частицы двигались внутри конденсатора прямолинейно? Индукция магнитного поля равна 0,5 Тл, скорость частиц  $10^5$  м/с.
5. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U=300$  В, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии  $d=4$  см от него. Какая сила действует на электрон, если по проводнику течет ток  $I=5$  А?

*Вопросы:*

1. Увеличение скорости заряженных частиц в циклотроне осуществляется исключительно за счет воздействия на частицы электрического поля. Зачем необходимо еще и магнитное поле?
2. Начальная скорость электрона составляет некоторый угол с совпадающими по направлению векторами напряженности электрического поля и индукции магнитного поля. Каков характер движения электрона?
3. Узкий канал заполнен жидкостью. Если нужным образом создать электрическое и магнитное поля, то жидкость начнет течь. Почему?
4. Почему частица, движущаяся по спирали в неоднородном магнитном поле, «отражается» от области, где магнитная индукция этого поля больше?
5. Утверждают, что при приближении кометы к Солнцу на ее голову налетает солнечный ветер, который захватывает своим магнитным полем ионы кометного газа, и гонит их прочь от Солнца. Так ли это?
6. От чего нас защищает магнитосфера?
7. Электрон пересекает некоторую область пространства, двигаясь прямолинейно и равномерно. Можно ли утверждать, что в этой области нет магнитного поля?
8. Изменяется ли скорость заряженной частицы при ее движении в

неоднородном магнитном поле?

### III. Возникновение ЭДС при движении проводника в магнитном поле (демонстрация).



проводнике при его перемещении в однородном магнитном поле (можно и отрицательно заряженных). Для неподвижного наблюдателя-учителя движение свободных зарядов в проводнике вызывается **силой Лоренца** (сторонняя сила):  $F_M = q \cdot v \cdot B$ .

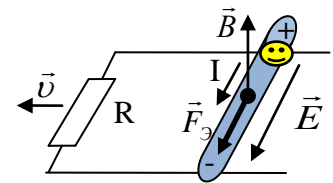
В выражение для магнитной силы входит скорость частицы (относительно чего, какой системы отсчета?). **Проводник, движущийся в магнитном поле, новый источник электрического тока!**

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} = \frac{F_M \cdot \ell}{q} = v \cdot B \cdot \ell. \quad \text{Ток можно генерировать в}$$

**проводе, движущемся в магнитном поле!**

Какова простершая конструкция этого источника тока?

Для наблюдателя, который движется вместе с проводником, силы Лоренца нет (заряды в проводнике покоятся), но перераспределение зарядов происходит (заряд сохраняется). Почему? Это явление похоже на электростатическую индукцию. Вместо магнитной силы на заряженную частицу действует внешнее электрическое поле, которое существует в системе отсчета, связанной с проводником. Тогда можно было бы перемещать и метлу! В ее системе отсчета существовало бы электрическое поле! **В движущейся системе отсчета сторонняя сила - электрическая сила:**



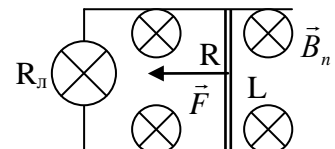
$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} = \frac{F_{\text{Э}} \cdot \ell}{q} = E \cdot \ell, \quad E = v \cdot B.$$

**Если в одной системе отсчета существует только магнитное поле, то в любых других, движущихся относительно данной, будет существовать электрическое поле! Электричество и магнетизм проявляют себя как различные «тени» одной и той же электромагнитной силы!**

**Дополнительная информация.** Если вдвигать магнит в катушку, то магнитное поле не может вызвать ток в ней, поскольку скорость свободных заряженных частиц в ней равна нулю и  $F_M = 0$ , но вызывает (демонстрация). Почему? **Изменяющееся магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле.** Если катушку вдвигать в магнит, то в движущейся ИСО будет существовать электрическое поле, которое и вызывает ток. **Причина тока в двух случаях – электрическое поле!** Развиваемая мною мощность при перемещении проводника:  $N = Fv = IBlv = I\varepsilon = I^2 R$  (модель генератора).

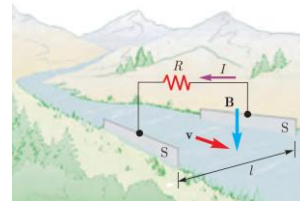
**Дополнительная информация:** Модель генератора постоянного тока.

**Задача:** По горизонтальным рельсам, замкнутым через лампочку сопротивлением  $R_{л}$ , равномерно скользит под действием силы  $\vec{F}$  металлический стержень длиной  $L$ , расположенный перпендикулярно рельсам. Система находится в однородном магнитном поле  $\vec{B}$ , составляющем угол  $\alpha$  с вертикалью.



Сопротивление стержня  $R$ , сопротивлением рельсов можно пренебречь. Равнодействующая сил трения в подвижных контактах  $F_{тр}$ . Определите силу тока в цепи генератора и его КПД.

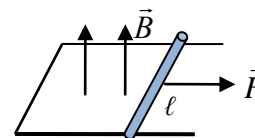
**МГД – генератор** – новый источник электрического тока.



**IV. Задачи:**

1. Коснувшись клемм батареи низкого напряжения языком, можно буквально попробовать электричество на вкус. Например, довольно сильное ощущение вызывает 4,5 В при расстоянии между клеммами 6 см. С какой скоростью нужно трясти головой между полюсами магнита циклотрона ( $B = 2$  Тл), чтобы ощущать то же самое?
2. Поток проводящей жидкости течет по керамической трубе. Для определения скорости течения жидкости трубу помещают в однородное магнитное поле, перпендикулярное оси трубы. В трубе закрепляют два электрода, образующих плоский конденсатор, и измеряют разность потенциалов между электродами. Найти скорость потока, если магнитная индукция поля 0,01 Тл, расстояние между электродами 2 см, измеренное напряжение 0,4 мВ.
3. Самолет летит горизонтально, держа курс строго на север при сильном западном ветре, имеющем скорость 40 м/с. Собственная скорость самолета 720 км/ч. Чему равна разность потенциалов между концами крыльев самолета, если размах крыльев составляет 50 м, а вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл?
4. Прямолинейный проводник длиной 1,2 м с помощью гибких проводов присоединен к источнику электрической энергии с ЭДС 24 В и сопротивлением 0,5 Ом. Этот проводник помещают в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,8 Тл. Сопротивление всей внешней цепи равно 2,5 Ом. Определить силу тока в проводнике в тот момент, когда он движется перпендикулярно к линиям индукции поля со скоростью 12,5 м/с. Во сколько раз изменится сила тока, когда проводник остановится?

5. П-образный контур с пренебрежимо малым сопротивлением находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Индукция магнитного поля  $B = 0,2$  Тл. По контуру с постоянной скоростью передвигают перемычку длиной  $\ell = 20$  см и сопротивлением  $R = 15$  Ом. Сила индукционного тока в контуре  $I = 4$  мА. С какой скоростью движется перемычка? Какую мощность развивают при этом?



6. По горизонтальным параллельным рельсам, расстояние между которыми  $L$ , скользит без трения перемычка массой  $m$ . Рельсы соединены резистором сопротивлением  $R$  и находятся в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Перемычке сообщают скорость  $v_0$ . Какое расстояние она пройдет до остановки?

$$S = \frac{mv_0 R}{(B\ell)^2}$$

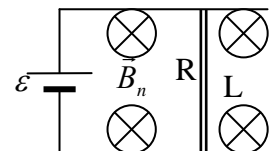
**Вопросы:**

1. Почему во время грозы нельзя ложиться на землю? (Самый лучший способ

защиты: найти овраг или ложбину и сесть, обхватив ноги руками).

2. При каком условии напряжение на концах проводника, который движется перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, равно ЭДС индукции?
3. Предложите проект МГД - двигателя для морского судна.
4. Металлический стержень, не соединенный с другими проводниками, движется в магнитном поле. Почему, не смотря на наличие ЭДС, по стержню не течет ток?
5. По прямолинейному рельсовому пути, изолированному от земли, равномерно идет поезд. В каком-то месте оба рельса замкнуты на гальванометр. Будут ли изменяться показания гальванометра в зависимости от того, приближается поезд к гальванометру или удаляется от него?
6. Между концами крыльев самолета, летящего в магнитном поле Земли, натянута изолированная проволока. Можно ли экспериментально доказать наличие индуцированного электрического поля в этой проволоке?
7. Вблизи электронного пучка магнитная стрелка отклоняется. Как бы вела себя эта стрелка, если бы она двигалась вдоль пучка с той же скоростью и в том же направлении, что и электроны в пучке?
8. Концы сложенной вдвое проволоки присоединены к гальванометру. Почему стрелка прибора остается на нуле, когда проволока пересекает линии индукции магнитного поля?
9. Объясните смысл следующего утверждения: «Электродвигатель работает одновременно как двигатель и как генератор».
10. Какие из перечисленных объектов не создают магнитное поле?
  - Раздробленный на мелкие кусочки полосовой магнит.
  - Люминесцентная лампа
  - Нейтрон.
  - Спираль лампочки накаливания при пропускании по ней тока.
  - Аккумулятор при его зарядке.

**Дополнительный материал** (модель электрического двигателя постоянного тока): *Задача:* По горизонтальным рельсам может перемещаться металлический стержень длиной  $L$ , расположенный перпендикулярно рельсам.



Система находится в однородном магнитном поле  $\vec{B}$ , составляющем угол  $\alpha$  с вертикалью. ЭДС источника тока  $\varepsilon$ , сопротивление стержня  $R$ , сопротивлением источника тока и рельсов можно пренебречь. Равнодействующая сил трения в подвижных контактах  $F_{тр}$ . Определите силу тока в цепи, скорость движения стержня и КПД этого двигателя. Покажите, что работу магнитного поля можно определить по формуле:  $A = I \cdot \Delta\Phi$ .

## V. Конспект

1. Предложите проект МГД - насоса для перекачки жидкого металла (ртути) по трубе.
2. Механические колебания тонкой металлической пластинки между полюсами сильного магнита приводят к появлению индукционного тока (лежачие полицейские). Предложите проект устройства (устройство Биби).
3. Два разноименных заряда, связанные легкой пружиной, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции. Почему увеличивается потенциальная энергия пружины, ведь магнитная сила работу не совершает?



В связи с этим я свел все магнитные явления к чисто электрическим эффектам.

Ампер

Урок 39/21.

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Почему существуют магнитные горы?

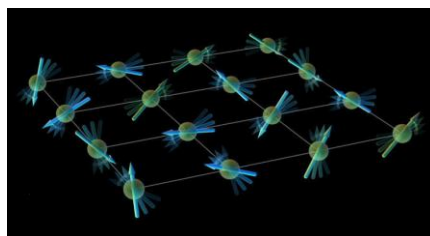
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с классификацией веществ по их магнитным свойствам. Дать представление о гипотезе Ампера и обосновать ее.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** прибор для демонстрации магнитных свойств вещества, универсальный трансформатор с принадлежностями, блок питания.

**ПЛАН УРОКА:**

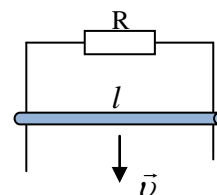
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Возникновение ЭДС при движении проводника в магнитном поле. 2. Генератор переменного тока.

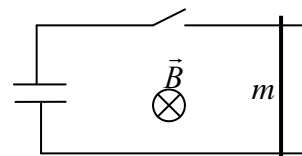
**Задачи:**

1. По двум вертикальным металлическим рейкам, замкнутым в верхней части через резистор с сопротивлением  $0,2 \text{ Ом}$ , без трения скользит стержень длиной  $10 \text{ см}$  и массой  $10 \text{ г}$ . Система находится в однородном магнитном поле, индукция которого перпендикулярна плоскости чертежа и равна  $0,2 \text{ Тл}$ . Определить установившуюся скорость падения стержня.



2. По гладким горизонтальным рельсам, проложенным на расстоянии  $\ell = 1,5 \text{ м}$  друг от друга и замкнутым с одного конца на конденсатор емкостью  $C = 0,3 \text{ Ф}$ , тянут металлическую планку массой  $m = 0,5 \text{ кг}$  горизонтальной силой  $F = 4 \text{ Н}$ . Система находится в вертикальном однородном магнитном поле индукции  $B = 1 \text{ Тл}$ . Найти ускорение  $a$  планки. Начальная скорость планки равна нулю.  $3,4 \text{ м/с}^2$

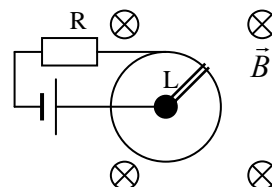
3. Кольцо из медной проволоки площадью сечения  $S = 0,5 \text{ мм}^2$  лежит неподвижно на горизонтальном столе в вертикальном магнитном поле индукции  $B = 0,01 \text{ Тл}$ . По кольцу поступательно скользит перемычка, сопротивление которой мало по сравнению с сопротивлением кольца, и им можно пренебречь. Скорость перемычки постоянна и равна  $v = 40 \text{ см/с}$ . Найти силу тока  $I$  в перемычке в тот момент, когда она проходит через центр кольца.



4. Металлический стержень массой  $m$  лежит на двух проводящих рейках, расположенных в горизонтальной плоскости. Рейки через ключ подсоединены к пластинам конденсатора, а вся система

находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ , направленной вертикально. В начальный момент заряд на конденсаторе равен  $q_0$ , ключ разомкнут, а стержень покоится. Затем ключ замыкают. Определить заряд на конденсаторе в момент, когда скорость стержня достигнет величины  $v$ . Расстояние между рейками  $l$ . Индуктивностью цепи, а также силами трения пренебречь.

5. На рисунке изображена модель двигателя постоянного тока. ЭДС батареи  $\varepsilon$ , индукция магнитного поля  $B$ , сопротивление цепи  $R$ , длина перемычки  $L$ . Определите установившуюся угловую скорость перемычки и ток в цепи, если сила трения в подвижном контакте  $F_{\text{тр}}$ .



6. На горизонтальный вал двигателя радиусом 2 см равномерно наматывается нить с грузом массой 1 кг на конце. Определить частоту вращения вала, если двигатель подключен к источнику постоянного тока с ЭДС 24 В, полное сопротивление цепи 10 Ом, сила тока в цепи 1,5 А.

*Вопросы:*

1. В цепь небольшого электродвигателя последовательно с ним включают электрическую лампочку мощностью примерно равной мощности электродвигателя. В момент включения двигателя лампа загорается, а потом быстро гаснет. Если затормозить ротор, то лампа горит ярко. Объяснит явление.

При работе электромотора сила тока равна 0,25 А. КПД электромотора 90%. Определите, до какого значения увеличится сила тока, если полностью затормозить его ротор? 2,5 А

2. Два одинаковых самолета летят горизонтально с одинаковыми скоростями, один - вблизи экватора, другой - у полюса. У какого из них возникает большая разность потенциалов на концах крыльев?

3. Каким образом электродвигатель превратить в генератор?

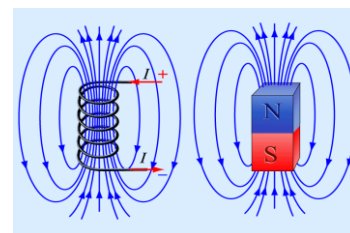
4. При торможении электропоезда двигателя отключают от контактного провода и подключают к специальным реостатам. Объясните такой способ торможения.

При электромагнитном торможении машина начинает работать в режиме генератора, используя запас кинетической энергии. Этот способ торможения активно используется на транспорте (метро, троллейбус), благодаря чему существенно повышается КПД двигателя.

5. Почему мощные двигатели постоянного тока включают через пусковой реостат?

6. С какой скоростью будет лететь прямолинейно электрон во взаимно перпендикулярных электрических и магнитных полях?

**III.** У соленоида много общего с полосовым магнитом (обычные магниты генерируют поле, которое находится и снаружи и внутри них). Должны ли мы из этого заключить, что в магнитах из железа имеются вечные электрические токи (без источника энергии)? Но почему



эти токи существуют не во всех материалах? Почему намагниченность веществ различна? В веществе на самом деле существуют вечные токи. В 1822 году Ампер впервые сформулировал гипотезу, согласно которой любой постоянный магнит состоит из множества маленьких плоских магнитов, которые порождаются внутренними молекулярными микротоками.

*"...из простого сопоставления фактов мне представляется невозможным сомневаться в том, что такие токи действительно текут вокруг оси магнита".*

*Ампер*

**Историческая справка.** Андре Мари Ампер является основателем классической электродинамики. Он ввел в физику многие понятия: «напряжение», «сила тока», «направление тока», «гальванометр». Ему принадлежит и идея самого гальванометра, основанного на действии тока на стрелку. Наиболее точную и емкую характеристику открытий ученого дал основоположник теории электромагнитного поля Джеймс Клерк Максвелл, назвав Ампера «Ньютоном электричества». Его имя внесено в список величайших учёных Франции, помещённый на первом этаже Эйфелевой башни.

*«Экспериментальное исследование, посредством которого Ампер установил закон взаимодействия электрических токов, представляет собой одно из самых блестящих достижений науки. Вся теория и эксперимент словно выскочили из мозга «Ньютона электричества». Его работа совершенна по форме, безупречна по точности и выражена в формуле, из которой можно вывести все явления и которая всегда должна оставаться основной формулой электродинамики».*

*Джеймс Максвелл*

Электроны, мчась по своим орбитам в атомах, генерируют магнитные поля. Источниками индуцированного магнитного поля являются: орбитальное движение электронов вокруг ядер (микротоки Ампера), собственное вращение электронов (спин) и собственное вращение ядер. Эти движения зарядов называют молекулярными токами. Магнитный момент отдельного атома слишком мал. Атомы в обычном материале перемещаются хаотично, поэтому малые моменты компенсируются. Что будет происходить с этими магнитными стрелками во внешнем магнитном поле (демонстрация)? Как изменится магнитное поле в веществе? Как влияет на ориентацию этих "магнитных стрелок" тепловое движение? Магнитная индукция в веществе:  $\vec{B} = \mu\vec{B}_0$

**$\mu$  – магнитная проницаемость вещества.**

**Классификация веществ по их магнитным свойствам.**

**Диамагнетики.** Демонстрация поведения диамагнетика во внешнем поле.

**Парамагнетики.** Демонстрация и объяснение природы парамагнетизма.

**Ферромагнетики.** Почему железо обладает магнетизмом (притягивается к магниту)? Ферромагнетики отличаются тем, что их намагниченность, появляющаяся в очень слабом магнитном поле в сотни тысяч раз больше, чем у парамагнетика. Например, чтобы в парамагнетике получить такую же намагниченность, какая появляется у железного образца в поле 0,01 Тл, необходимо иметь внешнее поле 1000 Тл. Почему? Каждый электрон – маленькая магнитная стрелка (спиновой магнитный момент). У атомов

ферромагнетика спиновые магнитные моменты не компенсируются. Доменная структура ферромагнетика. Размеры доменов порядка  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  см. Миллионы молекул, объединенных в домены, имеющие разные полюса и образующие более крупный магнит. Благодаря доменам, сколько бы мы не ломали магнит, у него всегда будут два разных полюса, даже если разделить его на самые маленькие части.

**Дополнительная информация.** Свободные электроны во внешнем магнитном поле устанавливаются благодаря спину по линиям этого поля или против них (другого не дано). Пролетая мимо атома ферромагнетика (железа) электрон ориентируется в магнитном поле атома и затем может передать свою ориентацию другому атому решетки, в результате ориентировать его магнитное поле параллельно полю первого атома. Обменная сила прочно связывает атомы в кристаллической решетке металла и делает их магнитные поля параллельными и направленными в одну сторону. В результате упорядоченные магнитные поля соседних атомов взаимно усиливаются, а не гасятся. И такой эффект может наблюдаться в объеме вещества порядка  $1 \text{ мм}^3$ , в котором содержится до  $10^{16}$  атомов. Атомы такого магнитного домена выстроены таким образом, что мы имеем чистое магнитное поле. Соседние домены располагаются так, что их общее (среднее) магнитное поле равно нулю. Ориентировать целые домены легче, чем огромное количество отдельных "элементарных магнитов". *Почему не может быть жидких ферромагнетиков?*

**Намагничивание ферромагнетика во внешнем магнитном поле.** Почему ферромагнетики притягиваются к магниту, а парамагнетики не притягиваются?

**Магнетизм Земли.** Решающий опыт Гильберта. Он выточил из куска магнитной руды подобие нашей планеты, поместил на этой модели маленький компас, стрелка которого вела себя как обычно - одним концом указывала на север, а другим – на юг.

**Историческая справка:** После сообщения о результатах своих опытов по взаимодействию параллельных токов Ампер получил вопрос: *«Но что же, собственно, нового в том, что Вы сказали? Само собой, ясно, что если два тока оказывают действие на стрелку, то они оказывают также действие друг на друга»*. Ампер не нашел сразу нужного ответа, но ему на помощь пришел Араго. Он вынул из кармана два железных ключа и сказал: *«Вот каждый из них тоже оказывает действие на стрелку, однако же, они никак не действуют друг на друга»*. Почему это так?

#### **IV. Задачи:**

1. Вычислить магнитную индукцию внутри длинного соленоида с железным сердечником ( $\mu = 183$ ), если на 40 см его длины намотано 400 витков проволоки. Сила тока в соленоиде 8 А.
2. Предполагая, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите радиусом 5,3 нм. Определите период обращения электрона вокруг ядра и индукцию магнитного поля, создаваемого движущимся электроном в центре его орбиты.

**Дополнительный материал** (гигантская магниторезистентность, ГМР – Нобелевская премия 2007 года по физике). В считывающей головке два слоя ферромагнетика (железа) разделены тончайшим слоем неферромагнитного металла, например, хрома. Теперь намагнитим один слой как целое в одном направлении, а другой – в противоположном направлении. Это происходит спонтанно в соседних доменах. Если теперь по этому «сэндвичу» пропустить электрический ток, то входящие в первый слой электроны разделятся на две группы: ориентированные по полю и против него, причем этим двум токам слой оказывает разное сопротивление. При переходе в другой слой токи «обмениваются

сопротивлениями». Если такая головка протягивается над ячейкой жесткого компьютерного диска, то слабое поле намагничивает первый слой и за счет магнитного спаривания (ориентация атомов прошедшими в слой электронами) намагнитится в том же направлении второй слой. Это приведет к огромному изменению суммарного сопротивления и тока. Основываясь на этой технологии, фирма IBM в 1998 году вышла на рынок с новым жестким диском емкостью 16,8 гигабайт.

#### V. § 66.

1. Предложите свою гипотезу земного магнетизма и обоснуйте ее. Попытайтесь объяснить, почему индукция магнитного поля планеты зависит от ее массы и скорости осевого вращения.
2. Если поднести к плотницкому пузырьковому уровню большой магнит, пузырёк сдвинется. Почему? В какую сторону сдвинется пузырек: к магниту или от него?
3. На некотором расстоянии от прямого длинного постоянного магнита находится могущая вращаться магнитная стрелка, которая показывает направление вдоль магнита. При разведении половинок разрезанного магнита стрелка меняет первоначальное направление на противоположное направление. Объясните явление (можно использовать два полосовых магнита).
4. Правда ли, что сделать из железа магнит гораздо дешевле, чем из магнита железо?
5. Притяжение магнитом ферромагнитного шарика сопровождается получением механической работы, но для отрыва его и возвращения в исходное состояние необходимо затратить столько же. Так ли это?
6. Разработайте способы размагничивания намагниченного тела.
7. Можно ли увеличить намагничивание, не усиливая поля, а ослабив тепловое движение, понизив температуру газа?

*... по какому закону природы то происходит, что камень притягивать может железо.*

*Камень же этот по имени месторождения магнитом назван был греками...*

*Лукреций*

Урок 40/22.

## ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

**Может ли магнит потерять свои магнитные свойства?**

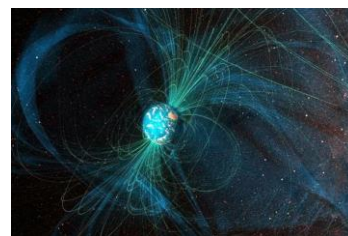
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с природой ферромагнетизма и практическими применениями ферромагнетиков.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** катушка с сердечником, осциллограф, звукосниматель от гитары, штатив с принадлежностями, выпрямитель, кинофильм "Вещество в магнитном поле".

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Гипотеза Ампера. 2. Магнитные свойства вещества.

**Задачи:**

1. Соленоид с железным сердечником длиной 30 см содержит 500 витков. При силе тока в обмотке 48 А индукция магнитного поля равна 2,2 Тл. Чему равна

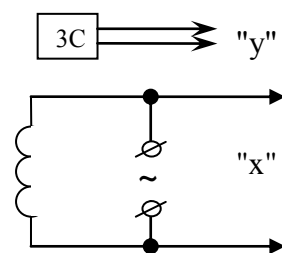
магнитная проницаемость сердечника в столь сильном магнитном поле?

Вопросы:

1. Имеется два одинаковых стальных стержня, один из стержней намагничен. Как узнать, какой из них намагничен, не пользуясь ничем, кроме самих стержней?
2. Нейтрон, не имея электрического заряда, тем не менее, обладает магнитным моментом. Как это объяснить?
3. При длительном хранении качество записи на видеокассетах ухудшается. Почему?
4. Как изменится магнитное поле катушки с током, если в нее ввести сердечник: а) железный; б) алюминиевый; в) медный?
5. Что общего и в чем различия между электростатическим полем и магнитостатическим полем?
6. Шарик, лежащий на стекле, притягивается магнитом по направлению к его полюсу. Каким будет движение шарика?
7. Внутри соленоида с током ввели часть железного сердечника. Почему он втягивается внутрь соленоида?
8. Французский физик Араго в 1820 г сделал открытие, заключающееся в следующем: когда тонкая медная проволока, соединенная с источником тока, погружалась в железные опилки, то они приставали к ней. Почему?
9. Почему ферромагнетик втягивается в область большего значения индукции неоднородного магнитного поля?
10. Используя свойство соленоида втягивать внутрь ферромагнитные сердечники, предложите модель "электропушки". В какой момент нужно выключить ток в соленоиде, чтобы снаряд вылетел с наибольшей скоростью? Каким будет движение снаряда, если ток не выключать?
11. Как работает компас в смартфоне?
12. При исследовании магнитной проницаемости жидкостей их поочередно наливают в сообщающийся сосуд, одно из колен которого помещают между полюсами сильного электромагнита. Отчего одни жидкости поднимаются в этом колене, а другие опускаются?
13. Принципиально ли важно для сна укладываться головой на север или, например, на восток?

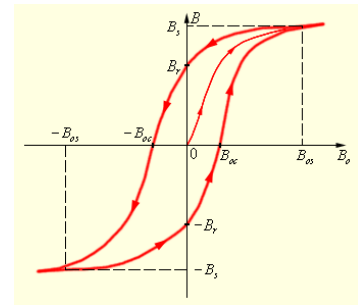
III. Намагниченность вещества:  $\vec{M} = \vec{B} - \vec{B}_0 = (\mu - 1)\vec{B}_0$

Зависимость намагниченности ферромагнетика от величины внешнего магнитного поля (демонстрация). На вход "X" напряжение подается напрямую от источника переменного напряжения, а на вход "У" от звукоснимателя, расположенного над катушкой с сердечником. Петля гистерезиса (рисунок на доске). Остаточная намагниченность.



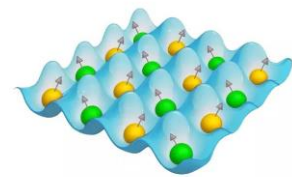


**Коэрцитивная сила – наименьшая величина размагничивающего поля. Петлю гистерезиса зарисовать в тетрадь.**



**Дополнительная информация.** Работа по перемагничиванию ферромагнетика за один цикл пропорциональна площади петли. Ещё одним интересным свойством электромагнита является то, что в некоторых случаях даже у промышленных электромагнитов для подъёма металлолома не всегда удаётся освободить груз, даже когда отключено питание электромагнита. Это связано с явлениями остаточного магнетизма, как в самом сердечнике электромагнита, так и в поднимаемом грузе. Для борьбы с этой проблемой используют способ «перемагничивания» электромагнита, который заключается в пропускании тока через его катушку в обратном направлении, относительно того тока, который вызвал намагничивание. Причём для перемагничивания требуется достаточно небольшой ток, величина которого составляет приблизительно от 12 до 20% от величины рабочего тока.

**Магнитомягкие и магнитожёсткие материалы.** Их применение. Магнитожёсткие материалы с большой остаточной магнитной индукцией ( $\beta \sim 1$  Тл) применяют для изготовления постоянных магнитов. Обычно для этой цели используют углеродистые, хромистые, вольфрамовые или кобальтовые стали. Сплав висмут-марганец обладает коэрцитивной силой  $\sim 5$  Тл. Самое сильное полученное в лаборатории магнитное поле – 85 Тл, выше – магниты просто разрушаются.



*Что польза магнита очень велика и прямо изумительна – это настолько хорошо известно, что нет необходимости произносить по этому поводу длинную речь.*

Э. Райт

**Точка Кюри** у железа  $770^{\circ}\text{C}$ , у кобальта –  $1130^{\circ}\text{C}$ , у никеля  $356^{\circ}\text{C}$ .

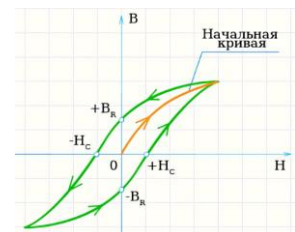
Демонстрация исчезновения ферромагнитных свойств у железа при высокой температуре с лезвием бритвы, которое при нагревании пламенем отпадает от магнита.

Демонстрация фрагмента кинофильма. В кинофильме: а) постоянные магниты; б) электромагниты; в) сердечники трансформаторов, двигателей, генераторов; г) ферриты и ячейка памяти; д) запись информации на магнитную ленту.

**Дополнительная информация** (магнитное экранирование). Линии магнитной индукции всегда замкнуты, поэтому оборвать их нельзя, но ослабить в некоторой области пространства можно. Если магнитная индукция в сверхпроводнике 1-го рода меньше некоторого критического значения, то магнитное поле внутри сверхпроводника не проникает (эффект Мейснера).

**Дополнительная информация.** Постоянный магнит, подходящий для бытового и промышленного применения, должен:

- сохранять высокую остаточную намагниченность  $B_r$  — другими словами, создавать как можно более мощное магнитное поле;
- иметь высокую коэрцитивную силу  $H_c$  — то есть противостоять попыткам размагничивания внешним электромагнитным полем;
- сохранять свои свойства при разных внешних воздействиях — например, иметь как можно более высокую температуру точки Кюри, при которой происходит разрушение структуры, и ферромагнетик превращается в парамагнетик.



Чтобы этого добиться, нужно производить некоторые дополнительные манипуляции с ферромагнитными веществами: создавать из них сплавы, превращать в порошок и спекать, намагничивать очень сильным полем, при высокой температуре и так далее. Проще говоря, подобрать состав и технологию так, чтобы получить идеальную структуру магнитных доменов. **Сплав Альнико**, кроме лежащего в основе железа (53 %) получил своё название по металлам, которые добавляются в сплав: алюминий (10 %), никель (18%), кобальт (19%).



**Неодимовый магнит** состоит из сплава редкоземельного элемента неодима, бора и железа. Необычный магнит размером с втулку от туалетной бумаги и массой 390 грамм заполучил титул самого сильного источника магнитного поля в мире. Магнит производит магнитное поле с рекордной индукцией в 45,5 Тесла. Для сравнения, стандартный магнит аппарата магнитно-резонансной томографии (МРТ) создаёт поле в 2-3 Тесла. Прежний мировой рекордсмен, также созданный в Национальной лаборатории сильных магнитных полей США, был 35-тонным гигантом, генерирующим магнитное поле в 45 Тесла. Этот электромагнит требует мощности тока 30 МВт. Сильные магнитные поля находят применение в самых разных областях: в медицине (МРТ), фармакологии (ядерный магнитный резонанс), при ускорении частиц (Большой адронный коллайдер), в термоядерных реакторах. Антиблокировочной системы (ABS) в автомобиле.

Редкоземельные металлы являются важнейшими компонентами современных гаджетов и электротехники, включая автомобили, ветряные турбины и солнечные батареи, но их добыча из земли стоит немалых денег, энергии и воздействия на окружающую среду.

**Магнетары.** Астрономы установили возраст самого молодого магнетара Млечного пути. Его масса почти в два раза превосходит массу Солнца, он совершает один оборот вокруг своей оси за 1,36 секунды, его возраст составляет всего 240 лет, а индукция магнитного поля в тысячу раз превосходит индукцию магнитного поля типичной нейтронной звезды. Они встречаются редко: в среднем один раз на сто нейтронных звезд.

**Магнитная левитация** – это технология, позволяющая поднимать объекты в воздух с помощью магнитного поля. Существует несколько технологий, которые позволяют добиться эффекта парения: электромагнитная, диамагнитная, сверхпроводниковая, вихретоковая. Что вам известно об этом явлении?

#### **IV. Обобщающее повторение по таблице "Ферромагнетики".**

*Задача:*

1. Пусть концентрация атомов в металлическом сплаве  $8 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ . В среднем на каждые два атома приходится магнитный момент, равный магнитному моменту электрона. Чему равна индукция поля в таком намагниченном сплаве?
2. Можно ли защититься от внешнего магнитного поля с помощью ферромагнитной оболочки, подобно экранировке от электростатических полей?

*Вопросы:*

1. Действительно ли постоянны постоянные магниты?
2. Почему магниты «боятся» ударов и нагревания?
3. Почему два магнита притягиваются разноименными полюсами и отталкиваются одноименными?
4. Как магнит «решает», какой полюс у него северный или южный?
5. Почему в таблицах не указана магнитная проницаемость ферромагнетиков?
6. Шарик, лежащий на столе, притягивается к одному из полюсов магнита. Откуда берется кинетическая энергия шарика?
7. Для обезвреживания мин применялось два способа: магнитное травление мин и нейтрализация магнитного поля корабля. В чем заключались эти способы?
8. Почему электромагнитный кран не применяют для переноса горячего проката?
9. Обычные сверхпроводники формально являются идеальными диамагнетиками. Почему?

10. Можно ли транспортировать раскаленные стальные болванки с помощью электромагнитного крана?
11. Приведите наибольшее количество примеров применения магнитного взаимодействия в технике.
12. Магнитомягкие или магнито жесткие материалы следует использовать в следующих приборах: а) сердечник трансформатора; б) стрелка компаса; в) сердечники электродвигателей и генераторов; г) магнитные носители информации?

#### V. § 66.

1. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с законами постоянного тока.
2. Почему солнечный ветер вытягивает силовые линии магнитного поля наружу, и оно принимает вытянутую форму, видимую на ночной стороне в виде хвоста магнитосферы.
3. Стальной, хорошо отполированный шар имеет идеально круглую форму. Можно ли намагнитить этот шар? Ответ обосновать.
4. Почему большая консервная банка отрывает от сильного магнита притянутую им кнопку?
5. В одном из двух черных ящиков находится полосовой магнит, а в другом – длинная катушка из медной проволоки, подключенная к батарейке. Как, используя только эти ящики, определить, где магнит, а где катушка?
6. Составьте обобщающую таблицу "Ферромагнетики", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
7. Маленький железный предмет подпрыгивает, если к нему поднести сверху магнит. Сколько бы мы ни проводили этот опыт, сила магнита не ослабевает и он вновь и вновь совершает работу. Не противоречит ли это закону сохранения энергии?
8. Известно, что ферромагнетик намагничивается до насыщения, причем:  $B \sim 10$  Тл. Почему тогда на поверхности нейтронной звезды:  $B \sim 10^8$  Тл.
9. Индукция магнитного поля Земли вблизи магнитных полюсов примерно равна  $10^{-4}$  Тл. Предположим, что такое поле создается кольцевым током радиуса 5000 км, протекающим в плоскости экватора. Чему должна равняться сила такого тока?
10. В вашем распоряжении имеется стальной постоянный магнит, никелевая пластинка, пружина, спиртовка или газовая горелка. Предложите конструкцию двигателя, основанного на существовании точки Кюри.
11. Магнитологи сконструировали магнитный микрометр, позволяющий измерять толщину слоя лака или краски, покрывающей железный или стальной предмет. Отрывая магнит прибора от предмета, измеряют силу притяжения при отрыве. Как, зная силу, необходимую для отрыва магнита, определить толщину слоя краски?
12. Мощный магнит притягивает к себе тяжелый кусок железа, который первоначально покоился, а перед ударом о магнит успевает приобрести значительную кинетическую энергию. а) Откуда берется эта кинетическая энергия? б) в результате удара о магнит, часть доменов разупорядочивается. Опишите превращения энергии.
13. К вертушке, сделанной из железных проволок, поднесен сильный электромагнит. Рядом с ним под вертушкой поставлена горелка или свеча, нагревающая одну из проволок вертушки. Почему вертушка вращается?
14. Оцените подъемную силу школьного электромагнита, сердечник которого изготовлен из трансформаторной стали с магнитной проницаемостью  $\mu = 8000$ .
15. Почему при переходе ферромагнетика через точку Кюри скачкообразно изменяется его удельное сопротивление и теплоемкость?
16. Если магнит положить, например, на алюминий (сверхпроводник), а затем его охладить жидким азотом, то магнит взлетит и зависнет в воздухе, практически как «гроб Магомета». Так ли это и почему?

17. Установите зависимость силы притяжения кусочка железо - никелевого сплава к магниту от температуры.

*Как в целом части все послушною толпою  
Сливаясь здесь творят, живут одна другою...*

*В. Гете*

**Урок 41/23. ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО ТЕМЕ: "ПОСТОЯННЫЙ ТОК".**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Обобщить и систематизировать знания учащихся о постоянном электрическом токе.

**ТИП УРОКА:** повторительно-обобщающий.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** обобщающая таблица "Постоянный электрический ток".

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Самостоятельная работа
4. Задание на дом

**II. Раздел электродинамики** - "Постоянный электрический ток". Заполнение обобщающей таблицы в тетради в процессе повторения темы по плану изучения физической теории.

### **ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ**

### **ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**

#### **I. ОСНОВАНИЕ**

1. *Наблюдения:* электроосвещение, электродвигатели, электроприборы.
2. *Эксперименты:* снятие вольтамперной характеристики проводника, изучение замкнутой электрической цепи, магнитное взаимодействие, опыты с катодными лучами, возникновение ЭДС в движущих проводниках.
3. *Основные понятия:* электрический ток, сила электрического тока, электрическое напряжение, электрическое сопротивление, ЭДС, магнитное поле, магнитная индукция, магнитный поток.
4. *Идеализированный объект:* изображение полей с помощью линий.

#### **II. ЯДРО ТЕОРИИ**

1. *Постулаты:*
2. *Законы:* закон Ома для замкнутой электрической цепи, законы электродинамики для постоянных токов, магнитная сила (сила Лоренца).
3. *Константы:*  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

#### **III. СЛЕДСТВИЯ**

1. *Формулы-следствия:* закон Ома для участка электрической цепи, закон Джоуля - Ленца, формулы для работы и мощности электрического тока, сила Ампера.
2. *Экспериментальная проверка:* измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока, наблюдение взаимодействия магнита и тока, изучение явления электромагнитной индукции.

3. *Границы применимости:* только для заряженных частиц, движущихся с постоянной скоростью в стационарных электрических и магнитных полях.
4. *Практические применения:* двигатели, громкоговорители, МГД - генератор, генератор постоянного тока.

**III.** Классификация предложений по структурным элементам теории (самостоятельная работа). Пользуясь планом изучения любой физической теории, выясните, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами.
2. Магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.
3. Электрическое сопротивление - свойство проводника оказывать противодействие протекающему по нему электрическому току, измеряемое при постоянном напряжении на его концах отношением этого напряжения к силе тока.
4. В 1820 году Х. Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку,
5. Движение свободных зарядов в замкнутой электрической цепи с резистором напоминает падение тел в вязкой среде.
6. Законы постоянного тока применимы только для электрических цепей постоянного тока и только для описания движения заряженных частиц в стационарных магнитных полях.
7. В приборах магнитоэлектрической системы используется действие магнитного поля на проводник с током.
8. Напряжение на участке электрической цепи прямо пропорционально произведению силы тока на сопротивление этого участка.
9. Опытным путем было установлено, что магнитное поле действует только на движущиеся заряженные частицы.
10. Линии магнитной индукции дают наглядное представление о магнитном поле.

**IV.** Подготовка к контрольной работе.

1. С какой силой взаимодействуют посредством своих магнитных полей два параллельных тороида радиусами 80 см, расположенные на расстоянии 40 см друг от друга, если сила тока в тороидах 1,6 А?
2. В правую или левую часть экрана кинескопа отклоняются электроны под влиянием магнитного поля Земли? Телевизор находится: а) в г. Томске, б) на экваторе.
3. Проволочное кольцо с током свободно подвешено на мягких подводящих проводах и охватывает посередине магнита. Что произойдет с кольцом, если изменить направление тока в нем на противоположное направление?

*Хочешь сделать доброе дело – отбрось колебания.*

*Персидская пословица*

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6**

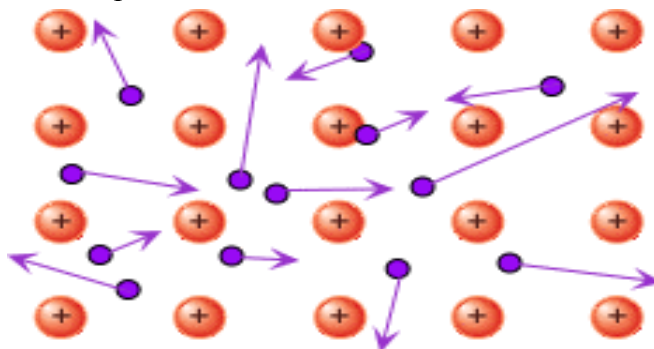
Урок 42/24.

... мы надеемся, что электронная гипотеза, поскольку она принята в различных разделах физики, ведет к общей теории, которая охватит многие области физики и химии. Возможно, что на этом длинном пути сама она полностью перестроится.

Гендрик Лоренц

## ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ТЕМЕ: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Поведение электронов в веществе определяет его свойства в целом - будет это вещество металлом, проводником, магнитом или чем-нибудь еще. Некоторые ученые пытаются изменить коллективное поведение электронов, создав квантовое синтетическое вещество.



*Знание конечно, незнание бесконечно; в интеллектуальном отношении мы стоим на островке посреди бескрайнего океана необъяснимого. Наша задача - с каждым новым поколением отвоевывать еще клочок суши.*

Томас Гексли

*Электрическая материя состоит из частиц крайне малых, так как они могут пронизывать обычные вещества такие плотные, как металл, с такой легкостью и свободой, что не испытывают заметного сопротивления.*

Франклин

Урок 43/25.

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Как можно объяснить нагревание проводника электрическим током?

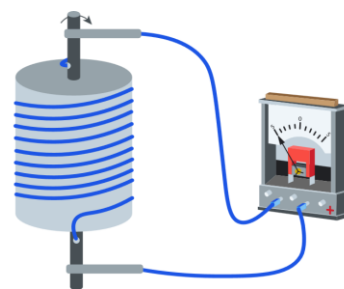
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Выяснить природу носителей свободного заряда в металлах, характер их движения в процессе тока.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** блок питания, амперметр и вольтметр демонстрационные, резисторы на колодке, терморезистор полупроводниковый, стакан с водой и стакан с раствором медного купороса, термопара.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Работа над ошибками
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II.** Работа над ошибками, допущенными при выполнении контрольной работы № 5.

**III. Электрическая проводимость различных веществ. Демонстрация электропроводности металла, полупроводника, изолятора.**

**Проводники - вещества, хорошо проводящие электрический ток (металлы, расплавы металлов, электролиты, все газы при высоких напряжениях или при низком напряжении и сильном разрежении газа).**

**Металлические проводники и их применение:** линии электропередач, обмотки электродвигателей, электронагревательные элементы.

**Диэлектрики (изоляторы)** - вещества, плохо проводящие электрический ток. Как называют тела, изготовленные из диэлектриков? **Изоляторы** обеспечивают нашу безопасность. Примеры: пластмасса (полимеры). Проще всего структуры полимера представить себе в виде тарелки перепутавшейся и слипшейся длинной и тонкой лапши. В таких материалах электроны прочно привязаны к своим сверхдлинным молекулам и не способны покинуть их под воздействием внешнего напряжения. Хорошими изоляционными свойствами обладают и аморфные вещества, такие как стекло, фарфор или резина, не имеющие жесткой кристаллической структуры.

**Полупроводники** - класс веществ, занимающих по электропроводности промежуточное положение между металлами и хорошими диэлектриками. Для них характерна чувствительность к свету, электрическому и магнитному полю, радиационному воздействию, давлению и др. Жидкие и твердые полупроводники. Применение полупроводников в качестве элементов, преобразующих ток.

**Природа носителей свободного заряда в металлах.**

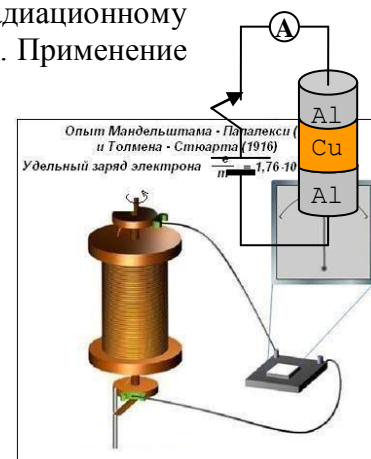
Экспериментальные доказательства существования свободных электронов в металле: опыт Рикке, опыт Мандельштама и Папалекси, опыт Толмена и Стюарта.

**Ионы металла не принимают участие в переносе электрического заряда, поэтому носителями свободного заряда в металлах являются электроны**

(У. Томсон, 1903 г.). Изолированные атомы металла нейтральны, поскольку металлы в газообразном состоянии не проводят электрический ток. Объединение (конденсация) нейтральных атомов металла в жидкое или твердое состояние и взаимодействие между ними приводит к тому, что внешние валентные электроны утрачивают связи со своими атомами и становятся **свободными**. Атомы металла безостановочно обмениваются друг с другом электронами последних оболочек. Последние электроны первого атома переходят ко второму атому, последние электроны второго атома переходят к третьему атому, а электроны третьего отправляются к первому. Таких перестановок происходит миллиарды в секунду, а сам металл в целом продолжает сохранять свой нейтральный заряд. Демонстрация модели атома металла (литий) и модели металлического кристалла (ионная кристаллическая решетка, погруженная в электронный газ из бывших валентных электронов). Главная ее особенность в том, что в металле ядра атомов располагаются в узлах решетки, а электроны все общие и составляют единое электронное облако. Это придает металлам их основные свойства – пластичность (при деформации кристаллической решетки не требуется разрывать химические связи и происходит она существенно легче), электропроводность (общее электронное облако позволяет беспрепятственно течь электрическому току), блеск и некоторые другие.

**У металлов валентные электроны не закреплены за отдельными атомами, а могут свободно перемещаться от одного атома к другому.**

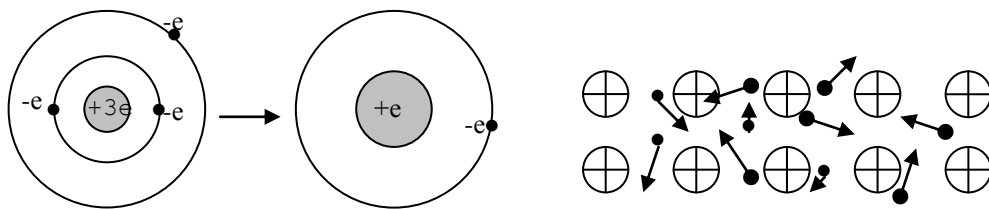
*Появление электропроводности при конденсации металлического пара в твердое или жидкое тело обуславливается явлением, которое может быть названо "обобществлением" электронов, т.е. утратой некоторыми электронами связи с индивидуальными атомами.*



Френкель



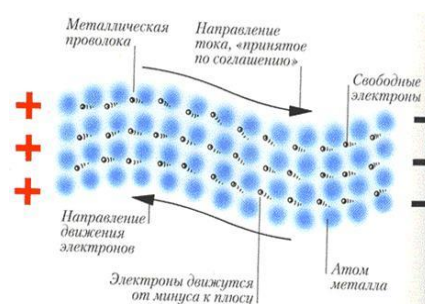
В металле концентрация свободных электронов примерно равна концентрации атомов.



**Дополнительная информация:** При попадании снаряда с сердечником из вольфрама или обедненного урана в броню на крохотном участке создавалось высокое давление, которое ее разрушало. При скорости снаряда более 1200 м/с и его резком торможении, свободные электроны по инерции покидают его, и происходит взрыв материала сердечника. Найдите ошибку в этих объяснениях. (На самом деле дополнительная энергия выделяется при сгорании урана).

**Движение свободных электронов в металле** (ионы и свободные электроны). Движение свободных электронов напоминает рой танцующих комаров. Электронный газ. Тепловое движение

$$\text{электронного газа: } \frac{m_e \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow v_{\text{мен}} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$$



**Электрическое поле внутри металлического проводника. Движение электронов под действием электрического поля (перескакивание от иона к иону) в металле (дрейф - от английского – drift, снос судна). Такое путешествие электронов как раз и называется электрическим током.**

Аналогия с падением снежинок (их падение в среднем равномерное) или с перемещением роя комаров под действием слабого ветра. Оторвавшись от атома, электрон перескакивает к другому иону и, взаимодействуя с ним, теряет энергию. Некоторые электроны перескакивают несколько атомов или взаимодействуют с ионами примеси, что также приводит к выделению тепла.

В современной теории (квантовая физика) движение электронов в решетке описывается как распространение волны, которая рассеивается на дефектах решетки.

**Дополнительная информация. Термоэлектричество.** Если один из краев проволоочки нагревается, электроны в нем начинают двигаться быстрее. Создается поток электронов к холодному краю, что приводит к положительной заряженности горячего конца и к отрицательной холодного. Если параллельно этой проволочке присоединить другую проволочку из другого металла, то возникнет ток (параллельное включение двух разных источников тока)? **Термоэлектрический эффект** заключается в появлении электрического тока при воздействии разности температур на соединение разнородных металлов.

**Термопара - новый источник электрического тока:**  $\varepsilon = K \cdot (T_2 - T_1)$ , где  $T_2 - T_1$  - разность температур спаев термопары. Демонстрация термопары и термостолбика. Объяснение этого явления. Фононы теплового потока в каждой ветви термопары увлекают за собой электроны проводимости, передавая последним направленную энергию теплового потока. Эта переданная электронам направленная энергия теплового потока и есть ЭДС для каждой ветви термопары. Термоэлектрический эффект довольно широко используется в технике и может применяться как для выработки электроэнергии питания потребителей (КПД не более 2 %), так и для измерения температуры.

**Работа выхода ( $A_{\text{вых}}$ ) - минимальная энергия, необходимая для удаления электрона из металла.**



#### IV. Задачи:

1. По медному проводнику диаметром 3,2 мм течет ток силой 5 А. Определите:  
а) скорость дрейфа свободных электронов; б) среднеквадратичную скорость электронов в предположении, что они ведут себя подобно частицам идеального газа при 20<sup>0</sup>С. Считать, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон.

В действительности скорость свободных электронов при 20<sup>0</sup>С для меди около  $1,6 \cdot 10^6$  м/с и слабо зависит от температуры, но об этом мы поговорим подробнее на следующем уроке.

2. Через два последовательно соединенных проводника с одинаковым сечением  $S$ , но разными удельными сопротивлениями  $\rho_1$  и  $\rho_2$  ( $\rho_1 > \rho_2$ ) течет ток  $I$ . Определите напряженность электрического поля в каждом проводнике (и электрический заряд, возникающий на границе раздела проводников).

3. По прямому медному проводу длиной  $\ell = 1000$  м и сечением  $S = 1$  мм<sup>2</sup> проходит ток 4,5 А. Считая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон, найти равнодействующую силу, действующих на свободные электроны в данном проводе, а также время прохождения электрона по проводу.  $t = 3 \cdot 10^6$  с;  $F = 10^6$  Н.

4. Тонкая металлическая пластинка массой  $m$  падает вертикально вниз равноускоренно так, что ее плоскость остается горизонтальной. Падению пластинки противодействует сила сопротивления среды  $F_c$ . Найти напряженность электрического поля  $E$ , возникающего внутри пластинки вследствие инерции свободных электронов. Масса электрона  $m_e$ , его заряд  $e$ .

#### IV.

1. Снимите вольтамперную характеристику термоэлектрической батареи.
2. Исследуйте зависимость полезной мощности и КПД термоэлектрических батарей от сопротивления нагрузки.
3. Спроектируйте и изготовьте термоэлектрическую батарею.
4. Постройте график зависимости удельного сопротивления вольфрамовой проволоки от температуры по данным справочника.

*Перемещение электричества в металлических проводниках осуществляется с помощью обобществленных электронов. Каждый атом легко может отдать (и отдает) нужный ему электрон, так же, как и принять одновременно нужный ему электрон от своего соседа.*

Френкель

Урок 44/26.

## МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ЗАКОНА ОМА.

**Пропорциональность тока напряжению – это фундаментальный закон?**

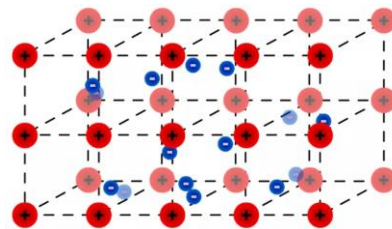
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Обосновать справедливость закона Ома на основе электронной теории проводимости металлов.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** прибор для демонстрации зависимости сопротивления металлов от температуры, выпрямитель ВС-24, кинофильм "Сверхпроводимость", обобщающая таблица "Электрический ток в металлах".

## ПЛАН УРОКА:

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электрическая проводимость различных веществ. 2. Электрический ток в металлах.

### Задачи:

1. Какую скорость направленного движения имеют свободные электроны внутри медного проводника длиной 1 м, к концам которого приложено напряжение 1 В?
2. Через два медных проводника, соединенных последовательно, проходит ток. Сравните дрейфовые скорости электронов в проводниках, если диаметр второго проводника в два раза меньше, чем первого.
3. Найдите минимальную массу медного провода, предназначенного для передачи мощности  $P = 12$  кВт на расстояние  $L = 100$  м от генератора с напряжением  $U = 220$  В, если допустимые потери мощности в линии составляют 2%.  $m = 6,25$  кг

### Вопросы:

1. Пусть у двух незаряженных пластин из разнородных металлов концентрация свободных электронов одинакова. Какая пластина наэлектризуется отрицательно, если их привести в соприкосновение?
2. Прокомментируйте выражение: «Даже если проводник не включен в цепь с внешней ЭДС, мгновенное значение протекающего через него тока не равно нулю» (тепловой шум).
3. Почему не засоряются провода, по которым течет электрический ток?
4. О каких свойствах вещества можно судить по его удельному сопротивлению?
5. Почему сопротивление металлов при освещении практически не изменяется?
6. В металлической трубе переменного сечения движется электрон. Изменится ли его скорость при прохождении сужения?
7. Возникнет ли ток при резком торможении движущегося проводника?
8. Почему возникает разность потенциалов между концами громоотвода?
9. Почему металлический проводник, по которому идет ток, не испытывает никаких механических сил в направлении движения электронов?
10. Явление Пельтье состоит в том, что в месте контакта двух разнородных проводников в зависимости от направления тока происходит выделение или поглощение тепла. Почему?
11. Всегда ли электростатическое поле внутри проводника равно нулю? Только если проводник покоится или движется равномерно. Если же проводник ускоряется,

то электроны внутри проводника тоже движутся с ускорением. Его сообщают электронам силы электростатического поля.

12. При комнатной температуре электроны в металле движутся, как и под действием напряжения 0,04 В. Так ли это?

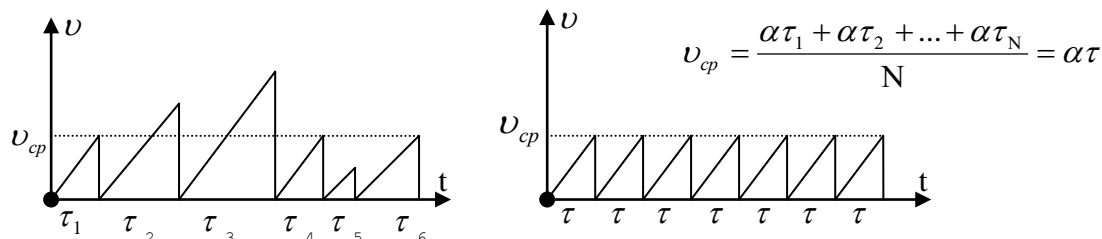
13. Как Георг Симон Ом смог открыть свой закон без батареек и электрических источников тока?

14. Какие из перечисленных ниже свойств не характерны для термопары?

- Неограниченный срок службы.
- Постоянное внутреннее сопротивление.
- Неизменная ЭДС при постоянной разности температур.
- Возможность работать в режиме короткого замыкания.

**III. Ток в металле — это направленное движение электронов под действием электрического поля.** Применим классическую электронную теорию для вывода закона Ома. "Уберем" тепловое движение электронов в металле. Сила, действующая на электрон со стороны электрического поля:

$\vec{F}_e = q\vec{E}$  и его ускорение  $a = \frac{F_e}{m} = \frac{eE}{m}$ . Торможение электрона при его



взаимодействии с ионом кристаллической решетки. График скорости электрона и средняя приобретенная электроном скорость:  $v_{cp} = a\tau$ , где  $\tau$  - средний промежуток времени, в течение которого электрон движется без соударения.

Тогда  $m v_{cp} = F\tau$ , где  $v_{cp} = \frac{F\tau}{m} = \frac{q_e U \tau}{mL}$ . Дрейфовая скорость электронов:  $v_{dp} = \frac{v_{cp}}{2}$ .

Закон Ома:  $I = \frac{q_e^2 n S \tau}{2mL} U = \frac{U}{R}$ , где  $\tau = \frac{\lambda}{v_{менл}}$ .  $\lambda$  - длина свободного пробега

электрона.  $R = \frac{2mL}{q_e^2 n \tau S} = \rho \frac{L}{S}$ . Удельное сопротивление металла известно, поэтому

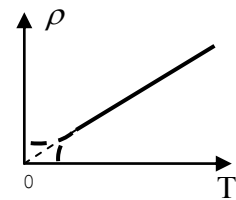
время  $\tau$  оказалось равным  $10^{-14} - 10^{-15}$  секунд. Теперь, посчитав среднюю скорость электронов по кинетической теории газов, можно получить среднюю длину пробега электрона, которая равна 0,1 - 1 нм. Это соответствует типичным расстояниям между атомами в кристаллах. При комнатной температуре (медь):  $\tau \approx 2 \cdot 10^{-14}$  с,  $\lambda \approx 2 \cdot 10^{-6}$  см. Если бы электроны не сталкивались с ионами решетки, длина свободного пробега, а, следовательно, и проводимость были бы бесконечно велики. Таким образом, электрическое сопротивление металлов обусловлено соударениями свободных электронов с ионами.

**Границы применимости закона Ома:**

- $T = \text{const}$ , иначе с увеличением температуры  $\tau$  уменьшается, и удельное сопротивление металлического проводника увеличивается.

Удельное сопротивление металлического проводника с точки зрения электронных представлений:  $\rho = \frac{2m^*}{e^2 n \tau}$ ,  $\tau \sim \frac{1}{\sqrt{T}}$ ,  $\rho \sim \sqrt{T}$ . Концентрация

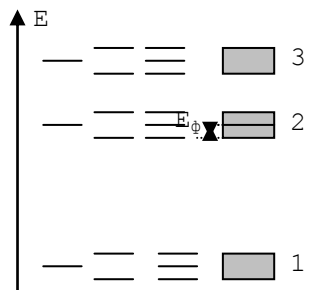
электронов практически не изменяется с температурой. **На самом деле:**  $\rho \sim T$ . Электронная теория проводимости металлов не смогла объяснить температурную зависимость удельного сопротивления металлов (рассеяние волн де Бройля на дефектах решетки:  $\lambda \sim \frac{1}{T}$ ) и явление **сверхпроводимости**



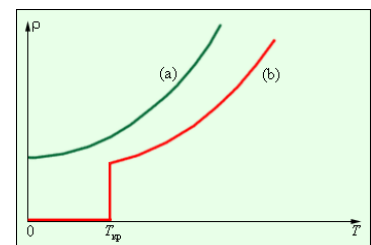
при сверхнизких температурах.

**Дополнительный материал:** Если допустить, что электрическое сопротивление металла обусловлено столкновением свободных электронов с ионами, то теоретически электрическое сопротивление окажется в тысячи раз больше экспериментального. Следовательно, электроны – волны, которые огибают ионы, рассеиваясь на тепловых колебаниях решетки и на дефектах решетки. Электроны не вносят свой вклад и в теплоемкость металла. У ионов в металле 6 степеней свободы и 3 степени свободы у электронов, однако, вклад электронов незначителен.

**Дополнительный материал:** Квантовая теория электропроводности металлов (качественно). Конденсация металлического лития. Выделение энергии при конденсации (удельная теплота парообразования и конденсации). Уровни энергии атома лития. Расщепление уровней энергии при объединении нейтральных атомов металла в кусок (аналогия с колебаниями двух нитяных маятников, связанных легкой пружиной). Зона проводимости. Распределение электронов в зоне проводимости (их суммарная энергия меньше, чем сумма энергий того же количества электронов на том же уровне в свободном состоянии). Почему жидкий гелий - изолятор? Как видим, если некоторое число атомных ядер, включая их свиту из электронов, находится близко друг к другу и образует «систему», то они уже по самому своему существу способны принимать далеко не все те произвольные конфигурации, какие мы можем себе представить. Переход от одной из таких конфигураций к другой - это квантовый скачок!



**Дополнительный материал: Сверхпроводимость - свойство вещества пропускать электрический ток, не оказывая ему ни малейшего сопротивления.** С помощью сверхпроводимости можно поднимать в воздух целые поезда, разгонять самолёты и спутники, защищать электросети от коротких замыканий.



Явление сверхпроводимости открыто Камерлинг - Оннесом в 1911 г. 8 апреля совершенно случайно им было замечено, что при охлаждении проволоки из ртути ниже 4 Кельвинов её электрическое сопротивление скачком падает до абсолютного нуля. Он вовсе не искал "сверхпроводимость", а пытался выяснить, сколь малым можно сделать остаточное сопротивление, очищая образец от примесей. После этого он продемонстрировал обнаруженное им явление очень эффектно, привезя сверхпроводящую катушку с циркулирующим в ней током из своего дома в Лейдене в Кембридж. Соединение лантана и водорода способно обеспечить сверхпроводимость при температуре  $-70^\circ\text{C}$ , гидрид лантана - при температуре



-23°C и давлении в 150–170 ГПа. Это значит, что в теории его уже можно использовать на Северном полюсе со средней зимней температурой -40°C.

Из всех необычных явлений, происходящих при низких температурах - **сверхпроводимость**:

- **наиболее яркое явление и захватывающее** (столкновения между электронами и решеткой становятся невозможными, и ток, однажды возникнув, будет существовать и в отсутствие внешнего источника тока (напряжения) более 100000 лет). Лет тридцать назад был повторен опыт Камерлинг-Оннеса. Около двух с половиной лет не трогали сверхпроводящего кольца, погруженного в жидкий гелий. И никакого затухания тока не обнаружилось. Неудивительно, что многие увидели здесь возможность вечного движения. И в самом деле, свободные электроны, не расходуя энергии - ведь источник тока выключен, - продолжают двигаться вечно! Если электрическое сопротивление сверхпроводника равно нулю, то электроны не встретят никаких препятствий на своем пути, и электрический ток, не убывая, действительно должен течь бесконечно долго. Вещества с нулевым электрическим сопротивлением позволили бы передавать ток на любые расстояния без потерь. Сверхпроводящий провод стал бы отличным хранилищем электроэнергии, а магнитные поля с очень большой магнитной индукцией, поднимающие в воздух целые поезда, стали бы обыденной реальностью;

- **наиболее практически полезное** (становится возможным изготовление сверхпроводящих магнитов, тепловых реле, а также компактных, быстродействующих и не расходующих мощности компьютеров). В настоящее время мировой рекорд для высокотемпературных сверхпроводников принадлежит веществу, представляющему собой сложный оксид меди, кальция, бария, таллия и ртути, которое становится сверхпроводящим при 138 К (-135 °С);

- **наиболее интересное и интригующее** для физиков-теоретиков, которое не удалось объяснить в течение 46 лет после его открытия.

**Дополнительная информация** (качественное объяснение явления сверхпроводимости на основе квантовых представлений): Частицы со спином  $\hbar/2$  (фермионы) взаимодействуют со всеми препятствиями на своем пути (сопротивление, квантовые переходы). Бозоны со спином  $\hbar$  наоборот стремятся перейти в одно квантовое состояние и препятствуют их выводу из этого состояния (сверхпроводимость, сверхтекучесть). Электрон (фермион) деформирует решетку и суммарный заряд области становится больше  $e$ , поэтому в эту область втягивается другой электрон с антипараллельным спином и образуется куперовская пара (бозон). Модель: два заряженных одноименно шарика отталкиваются на гладком столе и притягиваются на резиновой пленке. Бозоны не взаимодействуют с ионами решетки, поскольку для этого необходимо перевести в возбужденное состояние весь коллектив, для чего требуется значительная энергия. Частицы с целыми спинами — это бозоны, которые стремятся образовывать так называемые бозе-эйнштейновские конденсаты. Такие конденсаты — это как раз скопления частиц, которые все сидят в одном квантовом состоянии, все имеют одну скорость. Нетрудно себе представить, что в этом случае пробок не будет: если все машины на шоссе поедут с одинаковой скоростью, то пробке возникнуть негде - возникнет сверхпроводимость. *Вопрос:* Почему переход вещества в сверхпроводящее состояние уменьшает силу трения между ними почти в три раза?

#### IV. Задачи:

1. Металлический круг радиусом  $R$  вращается вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$ . Определите показания вольтметра, соединенного с контактами, один из которых касается круга в центре, а другой - у края. Сопротивление вольтметра считать очень большим.
2. Угольная нить лампы накаливания имеет сопротивление 300 Ом при температуре 273 К. Раскаленная током до 1973 К нить имеет сопротивление 45 Ом. Определите температурный коэффициент сопротивления угля.

3. Оцените, какую мощность имеет 100-ваттная электрическая лампа накаливания в начальный момент ее включения в осветительную сеть напряжением 220 В, если рабочая температура нити накаливания составляет  $2700^{\circ}\text{C}$ , а температурный коэффициент сопротивления вольфрамовой нити накала  $0,004 \text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$ .

*Вопросы:*

1. Назовите известные вам свойства металлов.
2. Почему пусковой ток в лампе накаливания больше рабочего?
3. Лампу, рассчитанную на напряжение 220 В, включили в сеть с напряжением 110 В. Во сколько раз уменьшится потребляемая ею мощность?
4. Почему нить накаливания обычно перегорает при включении лампочки, а не после многочасового горения, когда, казалось бы, эта нить сильнее всего нагрета (назовите хотя бы три причины)?
5. Почему лампочка ярко вспыхивает, если включенный последовательно с ней проволочный резистор поместить в жидкий гелий?
6. По классической электронной теории сопротивление металла прямо пропорционально корню квадратному из их абсолютной температуры. Какие явления противоречат этому выводу?
7. Напряжение на клеммах источника тока равно нулю, а ток в цепи есть. В каком случае это возможно?
8. Электрическая мощность вычисляется, в том числе, по формуле  $P = U^2/R$ . Значит ли это, что если лампу накаливания, рассчитанную на 220 В, включить в сеть напряжением 127 В, то мощность лампы уменьшится в 3 раза?
9. Если нагревать один конец проволочки и одновременно охлаждать другой, то между концами возникает электрическое напряжение. Почему горячий конец заряжается положительно, а холодный – отрицательно?
10. Почему именно электроны проводимости отвечают за поглощение света в металлах?
11. Какими действиями не сопровождается электрический ток в сверхпроводнике?

**V. §§ 69,70. Упр. № 3.**

1. Проведите и опишите эксперимент по выяснению зависимости сопротивления металлического проводника от температуры, используя кусочек спирали от перегоревшей лампы накаливания, батарейку и лампочку от карманного фонаря.
2. Сравните скорость упорядоченного движения электронов в нити накала горячей лампочки и в подводящих проводах.
3. Каким образом вообще кристаллическая решетка, подобная арматуре, может повлиять на такие свойства, как теплопроводность или электрическая проводимость?
4. Как объяснить, что чем меньше теплоёмкость металла, тем лучше он проводит ток?
5. Когда в 1854 году появился проект подводного телефонного кабеля, королевский

астроном Дж. Бидделл заявил: «Это предприятие обречено на неудачу, так как огромное давление воды просто выдавит электричество из кабеля!» Почему этого не произошло?

6. В 1854 У.Томсон (Кельвин) обнаружил, что если металлический проводник нагревать в одной точке и одновременно пропускать по нему электрический ток, то на концах проводника, равноудаленных от точки нагрева возникает разность температур. Почему? На каком конце температура понижается, а на каком – повышается?
7. Опишите применения сверхпроводников, работающих при комнатной температуре.
8. Предложите проект термоэлектрического генератора для питания автомобильного кондиционера за счет разницы температур выхлопной трубы и кузова.
9. Составить обобщающую таблицу "Электрический ток в металлах", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

*Изобретение правдоподобных гипотез, не связанных с опытными исследованиями, может принести весьма малую пользу для познания природы...*

Т. Юнг

Старый анекдот.

*Учитель: Я опускаю золотую монету в азотную кислоту — растворится ли она?*

*Ученик: Конечно, нет, господин учитель! Ведь если бы она растворилась, вы бы ее ни за что туда не опустили!*

Урок 45/27.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Почему при низких температурах электролита снижается эффективная емкость и максимальный ток отдачи аккумулятора?

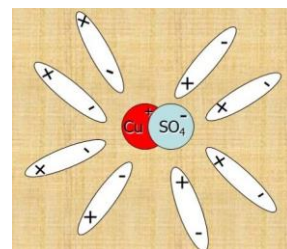
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Выяснить с учащимися природу электрического тока в электролитах и показать технические применения электролиза.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** ванна электролитическая, выпрямитель ВС-24, раствор медного купороса, поваренная соль, модель электролизера.

**ПЛАН УРОКА:**

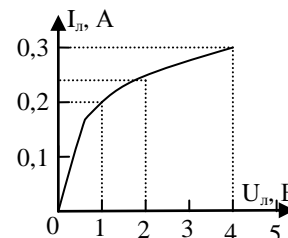
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Молекулярно-кинетическое объяснение закона Ома. 2. Зависимость сопротивления металлов от температуры.

**Задачи:**

1. Номинальное напряжение лампочки накаливания, вольтамперная характеристика которой приведена на рисунке, равно 3,5 В. Лампочка подключена последовательно с резистором сопротивлением 10 Ом к источнику тока с ЭДС 5 В, внутренним сопротивлением которого можно пренебречь. Найти ток в лампе и напряжение на ней. В задаче переменные не пропорциональны друг другу.



- У вас график должен иметь вид корня, а я вижу линейную зависимость. Как так?
- У нас так по точкам получается. Я что, подогнуть должен?
- Не подогнуть, а аппроксимировать!

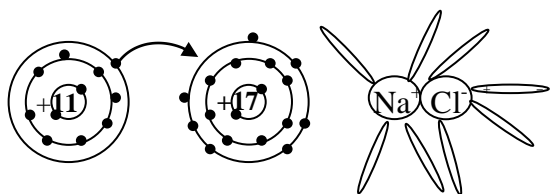


2. Лампочку для карманного фонаря подключают к источнику напряжения длинными проводами. При длине проводов 10 м ток через лампочку оказался равным 0,17 А, при 20 м – 0,13 А. Каким будет ток через лампочку при длине проводов 40 м? Каким станет этот ток, если лампочку подключить прямо к источнику? Внутреннее сопротивление источника пренебрежимо мало. Зависимость тока через лампочку от напряжения на ней приведена на рисунке.

*Вопросы:*

1. Почему закон Ома не распространяется на сверхпроводники?
2. Какой из атомов лития, гелия, цезия легче ионизируется и почему?
3. Чем отличаются свойства «электронного газа» в металле от свойств идеального газа?
4. Как вы думаете, почему зависимость сопротивления металла от температуры очень слабо проявляется в сплавах?
5. Тепло в металле переносят в основном электроны, но плотность тока в любом сечении металла при этом равна нулю. Почему?
6. Почему лампочка от карманного фонаря не перегорает при включении её последовательно с горячей лампой накаливания в городскую осветительную сеть?
7. Какое свойство не характерно для металла?
  - Высокая электропроводность.
  - Рост электрического сопротивления при повышении температуры.
  - Блеск.
  - Высокая теплопроводность.
8. Незаряженное металлическое кольцо охладили до сверхпроводящего состояния и начали быстро вращать. Возникнет ли вокруг этого кольца магнитное поле?
9. Электрический ток в проводнике обусловлен направленным движением электронов. Почему он не возникает при поступательном движении проводника?
10. Почему серебро и медь, при их охлаждении до низких температур, не становятся сверхпроводниками?
11. В чем, по вашему мнению, суть теории "нелинейного" мышления Л.И. Мандельштама?

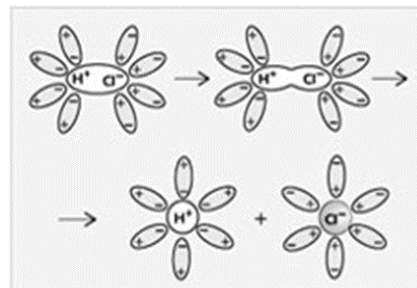
**III. Жидкости: проводники, диэлектрики, полупроводники. Жидкости - проводники:** расплавы металлов, электролиты. Демонстрация электропроводности дистиллированной воды и сухой поваренной соли.



Демонстрация электропроводности раствора поваренной соли в воде. Почему соль не проводит электрический ток, а ее водный раствор проводит?

Распад молекул поваренной соли на ионы (моделирование на магнитной доске). Ион - атом, имеющий недостаток или избыток электронов. Вода ослабляет взаимодействие между ионами молекулы соли в 81 раз! На самом деле химия - это раздел физики, а конкретно - физики валентных электронов, которые обращаются вокруг ядра на самых удалённых орбитах!

**Растворяемое вещество + растворитель = раствор. Электролитическая диссоциация - распад молекул электролита на ионы под влиянием электрического поля молекул растворителя. Рекомбинация.** Рекомбинации препятствует сольватная оболочка, образованная окружающими ионы дипольными молекулами воды.



Вода, нагретая до 2000 К, распадается на ионы водорода и кислорода. Перед сжиганием каменный уголь часто смачивают водой. Почему?

**Носителями свободного заряда в электролитах являются положительно заряженные и отрицательно заряженные ионы.**

Движение ионов в электрическом поле (моделирование на магнитной доске). Катод и анод. Окислительно-восстановительные реакции на электродах.

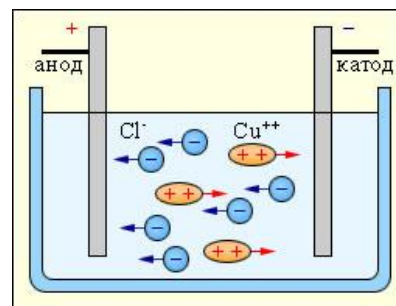
Перенос элементарного заряда через электролитическую ванну предполагает окисление отрицательного однозарядного иона на аноде и восстановление положительного однозарядного иона на катоде.

Как и в металлах:  $v_{др} \sim E \rightarrow v_{др} = \mu E$ , где  $\mu$  - подвижность ионов. Поскольку

$$v_{др} = \mu \frac{U}{\ell}, \quad \text{а} \quad I = qn v_{др} S, \quad \text{то} \quad I = \frac{\mu q n S U}{\ell} \rightarrow$$

$$I \sim U. \quad R = \frac{\ell}{\mu q n S} \rightarrow \rho = \frac{1}{\mu q n}.$$

Обсудить, почему у электролитов с повышением температуры удельное сопротивление уменьшается. Измерение удельного сопротивления растворов позволяет определять концентрации растворов электролитов. Вольтамперная характеристика электролита. По ГОСТу проводимость питьевой воды не больше  $5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ . Можно ли превратить воду из проводника в диэлектрик?



**Электролиз - процесс выделения на электродах в свободном виде веществ, входящих в состав электролита.**

**Технические применения электролиза: рафинирование металлов (демонстрация модели электролизера), никелирование, гальванопластика, гальваностегия.** Тяжело представить современный мир без меди. Диэлектрические, магнитные, оптические, антимикробные и каталитические свойства позволяют применять медь во множестве отраслей, от солнечных элементов до антимикробных покрытий.

**Гальваностегия** - нанесение защитных или декоративных металлических покрытий на

изделия электролитическим насаждением.

Знаменитый немецкий электротехник Вернер Сименс в начале сороковых годов XIX века, отбывая пятилетнее тюремное заключение за участие в дуэли, изобрел способ гальванического серебрения и золочения и позолотил свою тюремную ложку, перенеся на нее золото с завалявшейся в кармане монеты.

**Гальванопластика** – получение точных металлических копий методом электролитического осаждения на металлическом и неметаллическом оригинале.

**Полировка цветных металлов.** В качестве электролита использовать 60-80% водный раствор ортофосфорной кислоты, в качестве катода - свинец, в качестве анода - латунь.

В 1876 г за открытие периодического закона химических элементов, высоко оценивая вклад ученого в мировую науку, 1-ый физико-химический съезд наградил Д.И. Менделеева драгоценным кубком из ... алюминия. Почему в наше время алюминий перестал быть драгоценным металлом?

**Дополнительная информация. Ионные каналы мембраны** - это маленькие белковые трубочки разного диаметра, вставленные в клеточную мембрану, через которые внутрь клетки или наружу могут перемещаться ионы. Перемещение ионов через ионные каналы приводит к изменению концентрации ионов внутри и снаружи клетки, а также к изменению электрического потенциала мембраны. Ионные каналы (ИК) клеточной мембраны имеют огромное значение для жизни клеток. Они обеспечивают обмен клетки с окружающей средой веществом, энергией и информацией, с них начинаются и ими поддерживаются процессы возбуждения и торможения в нервной системе и мышцах, именно они (вместе и другими молекулярными рецепторами) обеспечивают восприятие клеткой внешних сигналов. С помощью ИК происходит передача в клетку управляющих сигналов из окружающей её среды. Именно ИК обеспечивают синаптическую передачу возбуждения от возбуждённого нейрона на другие клетки. Способность читать и понимать написанное, видеть и слышать, думать и говорить, шевелить руками и ногами и даже осознавать собственное «Я» обусловлена электрической активностью клеток, которая инициируется ионными каналами. Они регулируют наши жизненные процессы с момента зачатия и до последнего вздоха.

#### **IV. Задача:**

1. Какова скорость движения однозарядных ионов в электролите, если их концентрация в растворе  $10^{24} \text{ м}^{-3}$ , площадь сечения каждого электрода  $50 \text{ см}^2$ , сила тока 1 А?
2. Стеклянная трубка длиной 40 см и площадью поперечного сечения канала  $100 \text{ мм}^2$  наполнена 10% раствором серной кислоты. Найдите сопротивление раствора. Удельное сопротивление электролита  $25 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

#### **Вопросы:**

1. Проводит ли расплавленный металл электрический ток?
2. Выделяется ли тепло при прохождении электрического тока через электролит?
3. Электролиты проводят электрический ток. Почему же электролитические конденсаторы не проводят ток?
4. Почему безводная серная кислота может храниться даже в железной посуде, а разведенная - только в стеклянной посуде?
5. Почему опасно выкручивать из патрона лампочку накаливания мокрыми руками?
6. До каких пор будет продолжаться электролиз медного купороса, если взять

угольные электроды; медные электроды?

- Почему повышение температуры и влажности воздуха уменьшает электрическое сопротивление тела человека?
- Вследствие короткого замыкания загорелись провода. Почему их нельзя гасить водой, пока загоревшийся участок не будет отключен от сети?
- Горящий магний способен успешно извлекать необходимый для горения кислород из воды или углекислого газа. Как ему это удается?
- Чтобы избавиться от анемии, необходимо класть кусок железа в кастрюлю при варке супа или в чайник. Зачем?
- Почему вода почти всё растворяет?

#### IV. § 79.

- Проведите и опишите эксперимент по выяснению зависимости сопротивления электролита от температуры, используя водный раствор соли, батарейку и лампочку от карманного фонаря.
- Предложите способ рафинирования меди с помощью удаления примесей. Влияет ли магнитное поле на скорость электролиза?
- Если какая-либо кислота подвергается электролизу при алюминиевом аноде, то выделяющийся на аноде кислород окисляет алюминий, образуя на поверхности тончайшую стеклообразную пленку, обладающую высокой механической и диэлектрической прочностью (анодирование алюминия). Получите пленку и изучите ее свойства.
- Полярность немаркированного источника постоянного напряжения можно определить с помощью сырой картошки. Сделайте это и объясните суть метода.
- Построить график зависимости силы тока, протекающего через раствор медного купороса, в зависимости от напряжения на электродах. Исследуйте поведение кривых при различных концентрациях раствора.

*Красота – сияние истины.*

*Платон*

*Количество вещества, находящегося на токопроводящих пластинках (электродах), погруженных в жидкость, зависит от силы тока и времени его прохождения.*

*Фарадей*

Урок 46/28

## ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Как устроен аккумулятор и где он применяется?

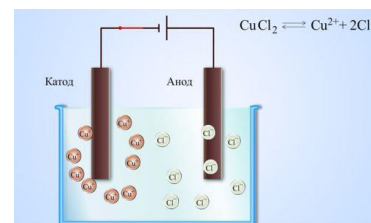
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с законами электролиза и научить применять их в конкретных ситуациях.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** электролитическая ванна с принадлежностями, блок питания, обобщающая таблица "Электрический ток в жидкостях".

**ПЛАН УРОКА:**

- Вступительная часть
- Опрос
- Объяснение
- Закрепление
- Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электрический ток в электролитах. 2.

## Электролиз и его техническое применение.

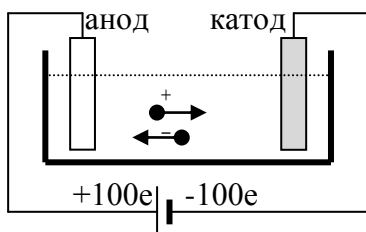
### Задачи:

1. Стеклоанная трубка длиной 40 см и площадью поперечного сечения канала  $100 \text{ мм}^2$  наполнена 10% раствором серной кислоты. Найдите сопротивление раствора. Удельное сопротивление электролита  $25 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
2. Найдите электрическое сопротивление  $R$  газоразрядной трубки длиной  $\ell = 84$  см и площадью поперечного сечения  $S = 5 \text{ мм}^2$ . Трубка наполнена воздухом, ионизация которого соответствует концентрации  $10^7$  пар однозарядных ионов в  $1 \text{ см}^3$ . Подвижности положительных и отрицательных ионов соответственно равны  $\mu_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  и  $\mu_- = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .
3. В школьной лабораторной установке по электролизу среднее расстояние между катодом и анодом равно  $d = 30 \text{ мм}$ . При подаче напряжения  $U = 3 \text{ В}$  на катоде выделяется медь, а на аноде радикалы  $\text{SO}_4$ . Вычислить за какой промежуток времени ион  $\text{SO}_4^-$ , образовавшийся вблизи катода, дрейфует до анода. Подвижность ионов  $\text{SO}_4^-$  равна  $\mu = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

### Вопросы:

1. Как определить знаки полюсов аккумуляторной батареи, если в вашем распоряжении имеется лишь два провода и стакан с водой?
2. Почему степень диссоциации вещества зависит от диэлектрической проницаемости растворителя?
3. Диссоциация молекул при растворении в воде кристаллов поваренной соли ведет к росту потенциальной энергии взаимодействия ионов. За счет чего это происходит?
4. Дэви впервые выделил элемент калий, пропуская электрический ток через твердый электролит - едкое кали (KOH). Почему это ему удалось?
5. Сталь во влажном морском воздухе ржавеет очень быстро, а в сухом воздухе пустынь может сохраняться веками. Почему?
6. Почему дуть на раскаленный уголь, мы увеличиваем скорость его сгорания?
7. Почему, когда зимой тротуары и мостовые покрываются льдом, их посыпают солью?
8. Какие вещества выделяются на угольных электродах при электролизе раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ ?
9. Почему в электролитах не наблюдается эффект Холла?

**III.** Электрический ток в электролитах. Окислительно-восстановительные реакции на электродах. Пара одновалентных ионов переносит через электролит заряд  $q_0 = e$ , двухвалентных  $2e$ , в общем случае  $q_0 = Ze$ . Металл всегда выделяется на катоде!



$$q = q_0 \cdot N; m = m_0 \cdot N;$$
$$m = \frac{m_0}{q_0} q; m = k \cdot I \cdot t; k = \frac{m_0}{q_0} = \frac{M_B}{N_A Z e}$$



## Законы электролиза (1833 г.):

**1. Масса вещества, выделившегося на электроде при электролизе прямо пропорциональна произведению силы тока и времени его протекания:  $m = kIt$ .**

**2. Отношение электрохимического эквивалента данного вещества к его химическому эквиваленту есть величина постоянная:  $\frac{k}{\left(\frac{M_B}{Z}\right)} = \frac{1}{N_A e} = \frac{1}{F}$ , где  $F = 96485$  Кл/моль.**

Постоянная Фарадея  $F$  имеет смысл «заряд одного моля элементарных зарядов». Чтобы выделить на электроде 1 моль любого одновалентного вещества, требуется пропустить один и тот заряд, равный 96485 Кл (докажите это). На долю каждого иона приходится электрический заряд  $e = F/N_A \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Измерение опытным путем постоянной Фарадея, позволило в 1874 г. впервые получить числовую оценку элементарного заряда.

**1. Электролитическое рафинирование меди** преследует две основные цели:

- получение меди высокой чистоты (99,90—99,97% меди), удовлетворяющей требованиям электротехнической промышленности и промышленности производства чистых сплавов;
- извлечение драгоценных и редких металлов, которые присутствуют в большинстве сортов черновой меди.

**2. Электролиз** является одним из способов промышленного получения алюминия, меди, водорода, диоксида марганца, пероксида водорода. Большое количество металлов извлекается из руд и подвергается переработке с помощью электролиза (электроэкстракция, электрорафинирование).

**3. Электролиз** находит применение в очистке сточных вод (процессы электрокоагуляции, электроэкстракции, электрофлотации).

**4. Химические источники тока.** При погружении, например, цинкового электрода в воду (в водный раствор соли цинка или серной кислоты) под действием полярных молекул воды ионы цинка  $Zn^{++}$  начнут переходить из цинка в воду. Вода (раствор) при этом заряжается положительно, а цинк – отрицательно. Медный электрод при погружении в раствор медного купороса наоборот заряжается положительно. Два электрода из разных металлов образуют гальваническую пару. В элементе Вольта потенциал цинкового электрода  $-0,763$  В, медного  $+0,337$  В, ЭДС элемента  $1,1$  В.

**5. Свинцовые (кислотные) аккумуляторы.** Электроды аккумулятора изготавливаются из двух решетчатых свинцовых пластин, заполненных пастой из окиси свинца  $PbO$ . В аккумулятор заливают 30% раствор серной кислоты с плотностью  $1,2$  г/см<sup>3</sup>. На поверхностях пластин образуется слой сернокислого свинца  $PbSO_4$ . При зарядке на аноде аккумулятора отрицательные ионы  $SO_4^{--}$  нейтрализуются и при соединении с сернокислым цинком и водой образуют перекись свинца:  $PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O = PbO_2 + 2H_2SO_4$ . Положительные ионы  $H^+$  движутся к катоду и нейтрализуются на нем:  $PbSO_4 + 2H = Pb + H_2SO_4$ . В процессе зарядки образуется гальваническая пара, а в растворе повышается концентрация серной кислоты. В спецификациях аккумулятора производитель сообщает циклический ресурс — количество циклов до потери 80% от первоначальной емкости. Как правило, такая величина выше 500 циклов, а иногда выше 1000 циклов. Литиевые аккумуляторы. Удельная плотность современных литиевых аккумуляторных батарей составляет  $150-200$  Вт × ч/кг.

**Дополнительная информация.** Исследования нацелены на повышении производительности гальванических элементов, постоянно двигаясь к более высокой плотности энергии и мощности, более высокой скорости зарядки и улучшенной стабильности работы. Достигается это посредством применения нестандартных материалов. Такая тактика может быть применена и для создания биоразлагаемых батарей. В металло-воздушном

аккумуляторе анод выполнен из металла, а катод - из воздуха. Металлический электрод окисляется воздухом, за счёт чего и возникает электричество.

*Всякий из знавших его — я твердо убеждён — желал бы только приблизиться к тому нравственному совершенству, которое, по-видимому, было дано Фарадею от рождения. Это была какая-то, на него одного сошедшая, благодать, в которой он почерпал силы для своей кипучей деятельности, будучи одновременно горячим проповедником истины, неутомимым художником, человеком, исполненным радушия и веселости, в высшей степени гуманным и мягким в частной жизни... Я не знал человека, который был бы более достоин любви и уважения, чем он, и утрата которого стоила бы более искреннего сожаления.*

*Жан Батист Дюма, известный химик и политик*

#### **IV. Задачи:**

1. При проведении опыта по определению электрохимического эквивалента меди были получены следующие данные: время прохождения тока 20 мин, сила тока 0,5 А, масса катода до опыта 70,4 г, после опыта 70,58 г. Какое значение электрохимического эквивалента и элементарного электрического заряда были получены по данным опыта?
2. При силе тока 2,5 А за 20 мин в электролитической ванне выделилось 380 мг двухвалентного металла. Какова его молярная масса?
3. При получении алюминия электролизом раствора  $Al_2O_3$  в расплавленном криолите проходил ток 20 кА при напряжении на электродах 5 В. Найдите время, в течение которого будет выделена 1 т алюминия. Сколько электрической энергии будет при этом затрачено? Производство стали не из руды, а из металлолома, экономит до 70% энергии, алюминия – 95%, меди – 80%.
4. Какой ток должен проходить через электролит, чтобы хлористую медь массой 100 г разложить за время 10 ч?
5. Сколько электроэнергии надо затратить для получения 2,5 л водорода при температуре 27<sup>0</sup>С и давлении 100 кПа, если электролиз ведется при напряжении 5 В и КПД установки 75%?
6. Слой меди какой толщины выделится на одном из электродов, опущенных в водный раствор хлорной меди  $CuCl_2$ , за время  $t = 1$  ч, если мощность электролитической установки  $P = 20$  кВт, подводимое напряжение  $U = 500$  В? Площадь электродов  $S = 0,5$  м<sup>2</sup>.
7. Какой заряд нужно пропустить через электролитическую ванну с подкисленной водой, чтобы получить 1 дм<sup>3</sup> гремучего газа при температуре 27<sup>0</sup>С и давлении 10<sup>5</sup> Па? (На аноде  $4 OH \rightarrow 2H_2O + O_2$ )

#### **Поражение электрическим током (биологический аспект).**

*Не всякий ток убивает, но всякий ток может убить.*

*Еллинек*

Фактор внимания при поражении электрическим током.

*С тем, кто находится в состоянии сосредоточенного внимания, обыкновенно ничего не случается... Он противопоставляет свое внимание, как щит, страшному моменту, который может произойти.*

*Еллинек*

*Человек, ум которого подготовлен, стоит двоих.*

*Английская пословица*



V. § 80. Упр. 12, № 4-6.

1. Положив в основу химическое действие электрического тока, предложите конструкцию и рассчитайте параметры амперметра.
2. Если бросить кусок натрия в воду, то он внезапно загорается и горит ослепительно желтым пламенем, извергая снопы искр и облака белого дыма. Почему?
3. Химические источники тока и аккумуляторы обеспечивают прямое и эффективное преобразование химической энергии в электрическую энергию. Вопрос? Можно ли и как напрямую преобразовать химическую потенциальную энергию для выполнения механической работы в инженерных устройствах?
4. Природа выполняет прямое преобразование химической энергии в механическую энергию с помощью каталитических моторных белков. Как?

*Наконец природа одарила нас в явлениях электролиза вполне определенным количеством электричества, не зависимым от тел, с которыми оно связано.*

*Стоней*

Урок 47/29.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6: «ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА МЕДИ».

**Что будет, если проводник заморозить в жидком азоте?**

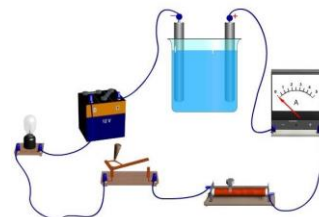
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Научить учеников измерять электрохимический эквивалент и заряд одновалентного иона. Показать, что электрический заряд квантуется.

**ТИП УРОКА:** лабораторная работа.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** Электролитическая ванна, амперметр лабораторный, секундомер, ванна с раствором медного купороса, реостат, источник тока, ключ.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
3. Выполнение работы
4. Задание на дом



**II.** Каким образом можно измерить электрохимический эквивалент вещества? Какие приборы для этого необходимы? Нарисуйте электрическую схему подключения электролитической ванны к источнику тока. Как измерить массу меди, выделившуюся на катоде? Как рассчитать заряд одновалентного иона? Предложите форму отчетной таблицы для записи результатов измерений и конечного результата.

Как оценить погрешность результата измерения?  $k = \frac{m}{It}$ ;  $\varepsilon = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}$ .

- Вы оценили заряд электрона?

- Да.

- Ну и какая оценка?

- Удовлетворительная.

Ход работы:

**III.** Выполнение работы:

№	I, А	t, с	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m, кг	k, кг/Кл	e, Кл	ε
1.								

**IV.** Упр. 12, № 7.

1. Приведите наибольшее количество примеров технического применения электролиза (полезного и вредного проявлений электролиза).
2. Фарадей предложил абсолютную единицу заряда – градус электричества. Это заряд, при прохождении которого через электролит выделяется 0,164 см<sup>3</sup> водорода. Сколько это Кл?
3. Постройте график зависимости удельного сопротивления раствора соды в воде от массы растворенной соды.
4. Какие вещества выделяются на угольных электродах при электролизе нитрата серебра?

**Дополнительная информация:** В 1 км<sup>3</sup> морской воды содержится: 27 · 10<sup>6</sup> поваренной соли, 1,3 · 10<sup>6</sup> т магния, 0,9 · 10<sup>6</sup> т серы, 65 · 10<sup>3</sup> т брома, 20 - 50 кг золота.

*Пора бы знать, что в мирозданье  
Куда не обратись - вопрос.*

*Шекспир*

Урок 48/30.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Почему пламя свечи отклоняется в электрическом поле?

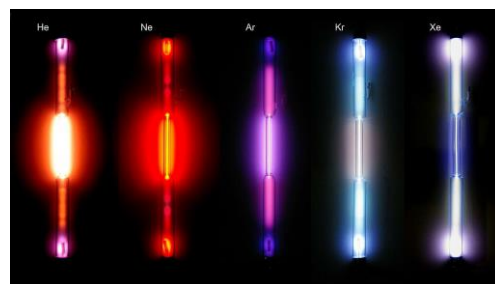
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Выяснить с учащимися природу носителей свободного заряда в газах, характер их движения при газовом разряде. Построить на основе экспериментальных данных вольтамперную характеристику газового промежутка и объяснить ее особенности.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** выпрямитель "Разряд", электромметр с принадлежностями разборный конденсатор, неоновая лампа на подставке, свеча, соединительные провода, кинофильм "Электрический ток в газах".

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** Измерение электрохимического эквивалента вещества и заряда одновалентного иона.

**Задачи:**

1. Электроды, опущенные в раствор медного купороса, соединены с источником тока, ЭДС которого 2 В и внутреннее сопротивление 0,1 Ом. Сопротивление раствора между электродами равно 0,3 Ом. Сколько меди выделится на катоде за 10 мин?
2. При никелировании детали в течение 2 ч на ней отложился слой никеля толщиной 0,03 мм. Электрохимический эквивалент никеля  $3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл. Плотность никеля  $8900 \text{ кг/м}^3$ . Определите плотность тока при электролизе.
3. Для рафинирования электролитическим способом 1980 кг меди через ванну пропускают ток. Напряжение на клеммах равно 3 В. Определите стоимость израсходованной энергии при тарифе 3 руб. за 1 кВт · ч.
4. Какая мощность расходуется на нагревание раствора азотнокислого серебра, если за 6 ч в процессе электролиза из него выделилось серебро массой 120 г? Сопротивление раствора 1,2 Ом.
5. При электролизе раствора серной кислоты расходуется мощность 37 Вт. Определите сопротивление электролита, если за 500 минут выделяется 0,3 г водорода. Электрохимический эквивалент водорода  $10^{-8}$  кг/Кл.

**Вопросы:**

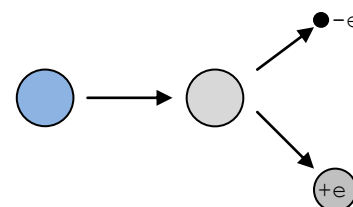
1. В двух электролитических ваннах, соединенных последовательно, находится раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$  и раствор хлористой меди

$\text{CuCl}_2$ . Одинаковое ли количество меди выделится в обеих ваннах при прохождении через них тока?

2. Для чего в гальванотехнике применяют реверсирование, то есть изменение направления тока?
3. Можно ли было бы в лабораторной работе по измерению электрохимического эквивалента меди измерить число Авогадро?
4. Каким образом явление электролиза можно использовать для создания счетчика расхода электрической энергии в сети постоянного тока?
5. При тушении пожаров в центрах обработки данных или на электростанциях используется газ (обычно углекислый) или порошок. Зачем?
6. Почему растворение сахара или соли в воде замедляет ее испарение?
7. Почему при электролизе раствора медного купороса на положительном электроде остаток  $\text{SO}_4$  не обнаруживается?
8. Почему при включении электролитического конденсатора необходимо строго соблюдать полярность?
9. Трамвайная линия питается постоянным током, причем воздушный провод присоединен к положительному полюсу генератора, а рельсы - к отрицательному. Почему не наоборот?
10. Можно ли время измерить с помощью весов?
11. Почему в помещении, где заряжают аккумуляторы, запрещено курить?
12. Будут ли выделяться ртуть на катоде при пропускании тока через ртуть, находящуюся в жидком состоянии?
13. Предложите способ разделения золота и серебра в сплаве.
14. Почему растения (кроме галофитов) не растут на соленой воде?

**III. Проводимость газов (воздуха) в обычных условиях. Если бы воздух был проводником электрического тока, то какие явления мы бы наблюдали?**

Почему не разряжается заряженный электрометр? Нагревание воздуха пламенем свечи. Разрядка электрометра в том случае, если он заряжен и положительно, и отрицательно (образование в газе положительно заряженных и отрицательно заряженных частиц).



**Энергия ионизации атома ( $E_i$ ) - наименьшая энергия, необходимая для удаления электрона от свободного атома в основном**

**состоянии на бесконечность. Ионизация газа:  $E_k = \frac{mv^2}{2} \geq E_i$ .**

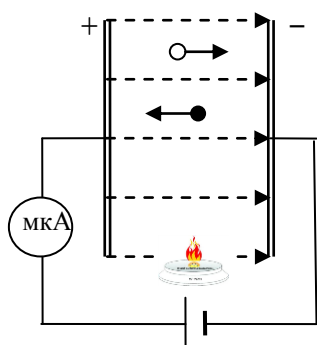
Чтобы ионизация состоялась, суммарная кинетическая энергия сталкивающихся частиц в системе отсчета их центра масс должна быть больше энергии ионизации.

**Плазма – это частично или полностью ионизованный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают. В состоянии плазмы находится около 99,9% вещества Вселенной!**



**Носители свободного заряда в газе - ионы и электроны.** Установка для исследования разряда в газе (газового разряда). Демонстрация несамостоятельного разряда.

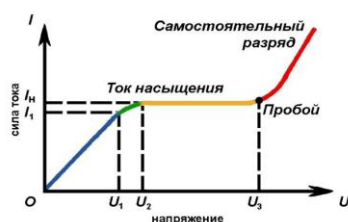
При увеличении напряжения растет скорость движения ионов под действием поля, а вероятность их рекомбинации уменьшается. Поэтому за единицу времени все больше ионов успевает дойти до пластин и нейтрализоваться на них. Ток усиливается до насыщения!



**Несамостоятельный разряд происходит только при вызывающем и поддерживающем ионизации внешнем воздействии.**

Увеличение напряжения между обкладками воздушного конденсатора до предела и последующее уменьшение расстояния между ними. Пробой газового промежутка.

**Самостоятельный разряд** в газе продолжается и после прекращения действия ионизатора. Объяснение природы самостоятельного разряда в газе (моделирование на магнитной доске). Условия возникновения самостоятельного разряда в газе:



$$A' = qEl = \frac{m\bar{v}^2}{2} \geq E_i$$

Ионосфера - это плазменная оболочка Земли, которая поглощает основную часть жёсткой космической радиации. Это поглощение и приводит к ионизации атомов и молекул, то есть, собственно, и создаёт ионосферу.

**Ионизация электронным ударом и вторичная электронная эмиссия поддерживают самостоятельный разряд в газе!**

Механическая аналогия с лавиной (цепная реакция: частицы – электроны, ионы - камни, летящие к вершине).

При какой напряженности электрического поля возникает самостоятельный разряд в воздухе? Можно ли ее измерить? Как? Вольтамперная характеристика газового промежутка.

#### IV. Задачи:

1. Какой наименьшей скоростью должен обладать электрон для ионизации атома неона? Энергия ионизации атомов неона 21,5 эВ.
2. Электрон проходит путь 20 см в поле напряженностью 10 МВ/м. Сколько атомов кислорода может ионизовать он на своем пути?  $E_i = 13,6$  эВ.
3. Аргон, находящийся между пластинами конденсатора площадью  $300 \text{ см}^2$  каждая и расстоянием между ними 5 см, ионизируется внешним ионизатором. Найти число пар ионов, которые образуются за 1 с в аргоне объемом  $1 \text{ см}^3$ , если сила тока насыщения между пластинами  $4 \cdot 10^{-12} \text{ А}$ .
4. На неподвижный невозбужденный атом водорода налетает другой невозбужденный атом водорода. Какова должна быть минимальная кинетическая энергия налетающего атома, чтобы произошла ионизация атома? Энергия ионизации атома водорода 13,6 эВ.

**Дополнительная информация.** Несамостоятельный разряд между землей и грозовым облаком (закручивание восходящего потока положительных ионов магнитным полем Земли, сжатие потока параллельных токов, образование вихря). Закручивание тайфуна пассатами по часовой стрелке в Северном полушарии и его смещение в северном направлении.

*Вопросы:*

1. У. Гильберт обнаружил, что пламя уничтожает электрические свойства тел, приобретенные ими при трении. Почему?
2. Чем отличается образование ионов в электролитах от ионизации газа?
3. Почему в пустынях, степных и горных местностях, образуются пыльные вихри?
4. Почему закручивается пламя костра? В какую сторону?
5. Где в технике используются изолирующие свойства воздуха?
6. Почему иногда происходит самостоятельный разряд при приближении пальца к металлической поверхности?
7. При каких условиях протекает самостоятельный разряд?
8. Как сила тока при самостоятельном разряде зависит от приложенного напряжения?
9. Почему при самостоятельном разряде в газе наибольшую роль играют электроны, а не ионы?
10. Может ли ток достигать насыщения при самостоятельном разряде в газе?
11. При охлаждении газа его проводимость уменьшается. Как объяснить это явление? Куда деваются ионы?
12. Почему газ светится при самостоятельном разряде?
13. Каковы возможные причины образования ионов в воздухе (аэроионы)?

**V. §§ 81-82**

1. Определите энергию, которую необходимо затратить для ионизации всего водорода в атмосфере Земли.

*Теории представляют собой не ответы на загадки, а ответы, на которых мы можем успокоиться.*

*Уильям Джеймс (1842–1910) — американский философ*

*Чем больше мы познаем неизменные законы природы, тем все более невероятными становятся для нас чудеса.*

*Ч. Дарвин*

**Урок 50/31.**

## **ТИПЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В ГАЗЕ**

**Из чего сделана молния и что такое огонь?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с типами самостоятельного разряда в газе. Выяснить, как влияет степень разрежения газа и другие внешние условия на характер возникающего самостоятельного разряда.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** высоковольтный выпрямитель, насос вакуумный, трубка с двумя электродами, штатив универсальный с принадлежностями, дуговая лампа, кинофильм "Электрический ток в газах".



## ПЛАН УРОКА:

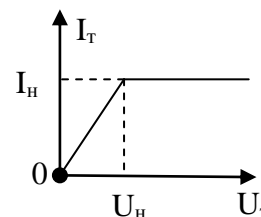
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II.** Опрос фундаментальный: 1. Несамостоятельный разряд в газе. 2. Самостоятельный разряд в газе.

### Задачи:

1. В атмосферном воздухе у поверхности Земли из-за радиоактивности почвы и ионизации космическими лучами в среднем образуется 5 пар ионов в  $1 \text{ см}^3$  в одну секунду. Определить ток насыщения, текущий благодаря этой естественной ионизации в плоском воздушном конденсаторе с площадью каждой обкладки  $100 \text{ см}^2$  и расстоянием между обкладками 5 см. Определить также время разрядки конденсатора, если он первоначально был заряжен до разности потенциалов 300 В.
2. При какой напряженности поля между пластинами воздушного конденсатора начнется самостоятельный разряд, если энергия ионизации молекул равна  $2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ , а длина свободного пробега электрона 5 мкм? Какова скорость электронов при ударе о молекулы?
3. В газоразрядной трубке (вольтамперная характеристика приведена на рисунке) напряжение насыщения 1 кВ, ток насыщения 10 мкА. Трубка с последовательно соединенным балластным резистором, имеющим сопротивление 300 МОм, подключена к источнику ЭДС 6 кВ. Какой ток установится через трубку и каково будет напряжение на трубке? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



**III.** Каким образом можно получить самостоятельный разряд в трубке с двумя электродами? Увеличить напряжение?! Напряжение можно увеличивать только до определенного предела. Уменьшить расстояние между электродами? Как?!

$$A' = qEl = q \frac{U}{d} \ell = \frac{mv^2}{2} = E_i$$

Увеличить длину свободного пробега электрона?! Как это сделать? Уменьшить давление газа в трубке? **Тлеющий разряд** (демонстрация). Свечение газа в трубке и объяснение причин этого явления (неупругое взаимодействие электронов с нейтральными атомами газа и частично рекомбинация). Характерные особенности тлеющего разряда (темное катодное пространство). Свет более голубого оттенка дают ртутные лампы, натриевые лампы светят ярко желтым светом. Природный тлеющий разряд – полярное сияние.



**Разряд, протекающий при низком напряжении и сильном разряжении газа, называют тлеющим.**

**Коронный разряд.** Демонстрация коронного разряда (огни святого Эльма). Во время грозы, сильной метели, шторма или извержения вулкана происходит сильная электризация. Наибольшая напряжённость поля будет на краях острых предметов – например, у мачт корабля или вокруг креплений линий электропередач – в среднем её величина составляет около 500 В/м или выше. Это приводит к возникновению коронного разряда. Прохождение разряда запускает своего рода ионизационную лавину, а образуемая при этом энергия выделяется в виде быстрых частиц – фотонов. Ввиду преобладания в атмосфере Земли азота и кислорода, световые частицы излучают синее или фиолетовое свечение. Коронный разряд применяется в электростатических очистителях воздуха, для отыскания дефектов (трещин) в готовых изделиях, в копировальной технике и печатной технике.

**Коронный разряд - разряд, происходящий при атмосферном давлении вблизи острия, при напряженности поля меньше пробивной.**

**Искровой разряд,** демонстрация искрового разряда. Основные особенности искрового разряда. При холодном катоде и нормальном давлении вторичная эмиссия в газе возникает только при высоком напряжении. Природным искровым разрядом является молния, а искусственным, - например, разряд в свече зажигания двигателя внутреннего сгорания.



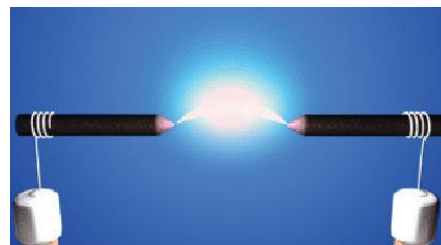
**Искровой разряд - разряд между электродами, приводящий к пробое газа.**

Демонстрация "бегущего" дугового разряда. Почему разряд "бежит"?

**Дуговой разряд и его особенности** (демонстрация с дуговой лампой).

**Электрическая дуга представляет собой электрический разряд в среде с**

**большим током, низким напряжением, высокой температурой.** Это явление как электрическое, так и тепловое. За счет электрической дуги (большой силы тока), выделяется тепло, достаточное для плавления металла электрода. Этот расплавленный металл капает с электрода на поверхность другого



металла, который тоже из-за высокой температуры плавится. Сопротивление металлов с ростом температуры также увеличивается, причём, чем ближе к точке плавления, тем больше. Соответственно, растёт количество выделенной теплоты, а значит, и температура газового промежутка. При некотором напряжении в газе возникает самостоятельный разряд. После поджига устойчивое горение дуги обеспечивается термоэлектронной эмиссией с катода, разогреваемого током и ионной бомбардировкой. Работы В.В. Петрова.

**Дополнительная информация:** Только в апреле 1887 года, созданная на деньги знакомых



Н. Тесла в Нью-Йорке небольшая компания, начала заниматься обустройством уличного освещения новыми дуговыми лампами (проект Н. Тесла). Вскоре перспективность компании была доказана большими заказами из многих городов США. Электродуговые печи расходуют на тонну стали в 10 раз меньше энергии, в 8 раз меньше воды и в 40 раз меньше других материалов, чем мартены или кислородные конвертеры.

Академик С.И. Вавилов писал в своем очерке, что труды В.В. Петрова, "... напечатанные на русском языке, оставались неизвестными за границей потому, что там не понимали русского языка, а в России - по тому, что не понимали сути дела ..."

**Дополнительная информация.** Инженеры предложили заряжать капли пара и притягивать их к сетке с помощью электрического поля. Для этого они решили установить перед электрически заземленной сеткой по направлению к ней острый электрод, на который подается большое напряжение. Из-за этого возле электрода возникает коронный разряд, благодаря которому воздух вокруг ионизируется. Образованные ионы притягиваются электрическим полем к заземленной сетке и по пути сталкиваются с каплями, придавая им заряд. В результате большая часть капель не огибает сетку, а наоборот стремится к ней, за счет чего эффективность сбора воды значительно повышается.

#### IV. Задачи:

1. При каком напряжении между электродами зажигается неоновая лампа, если энергия ионизации неона  $21,5 \text{ эВ}$ , а среднее расстояние между двумя последовательными столкновениями электрона с атомами газа равно  $0,4 \text{ мм}$ ? Электроды имеют форму больших пластин, расположенных на расстоянии  $3 \text{ мм}$  друг от друга.
2. Электрон со скоростью  $1,83 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  влетает в однородное электрическое поле в направлении, противоположном направлению напряженности поля. Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы ионизовать атом водорода, если его энергия ионизации  $2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ ?

#### Вопросы:

1. Назовите характерные признаки различных типов самостоятельного разряда.
2. Почему для поддержания электрического тока в горячей дуге достаточно невысокого напряжения?
3. Как будет изменяться пробивное напряжение газового промежутка при уменьшении давления газа?
4. Люминесцентная лампа может служить индикатором электрического поля. Так ли это?
5. Почему заряженный проводник, покрытый пылью, быстро теряет свой заряд?
6. Почему при дуговом разряде сильно разогревается именно катод, хотя заряженные частицы бомбардируют оба электрода?
7. Почему стержень электроскопа заканчивается шариком, а не острием?
8. Почему сварочную дугу называют «дугой»?
9. Почему громоотвод защищает здание от удара молнии?
10. Возможен ли электролиз в газах?

## 11. Как изменяется напряжение пробоя при уменьшении давления газа?

### V. § 83

1. Приведите наибольшее количество примеров технического применения электрического разряда в газе.
2. В основе ионных двигателей лежит принцип ионизации частиц газа и их разгон с помощью электростатического поля. Как это происходит? Каковы достоинства и недостатки ионных двигателей?
3. Попробуй изобразить примерную вольтамперную характеристику дугового разряда.
4. Создает ли газовый разряд магнитное поле? Ответ обосновать и проверить экспериментально.

*Дело науки - служить людям.*

*Л.Н. Толстой*

## Урок .

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

### Почему громоотвод снижает риск попадания молний в дом?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Детально познакомить учащихся с использованием газового разряда в технике (на базовом предприятии), работами отечественных ученых в области изучения и использования газового разряда в технике и быту.

**ТИП УРОКА:** урок-лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** высоковольтный выпрямитель, насос вакуумный, трубка с двумя электродами, газоразрядные трубки, неоновая лампа, цифровая неоновая лампа, два изолирующих штатива, гальванометр от амперметра. Прибор для демонстрации принципа действия электрофильтра, дуговая лампа, объектив с оборотной призмой на подставке, проекционный аппарат с принадлежностями, выпрямитель ВУП-2, люминесцентная лампа, соединительные провода.

**ПЛАН УРОКА:**

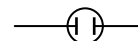
1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Закрепление
4. Задание на дом



### II. Что называют тлеющим разрядом? Каким образом

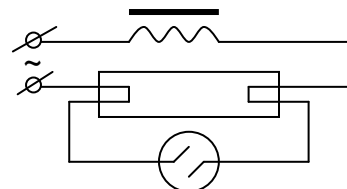
можно получить тлеющий разряд в трубке, заполненной воздухом? Демонстрация тлеющего разряда в трубке с двумя электродами. Демонстрация свечения газоразрядных трубок, наполненными различными газами. Где в технике используется тлеющий разряд?

**Неоновая лампа.** Обозначение неоновой лампы на электрических схемах:



**Лампа дневного света.** В баллоне лампы находится небольшое количество

газа аргона и капля ртути. В торцах лампы установлены электроды, которые при нагревании испускают электроны. Электроны ионизируют газ в баллоне. В результате атомы ртути переходят в возбужденное состояние. При возвращении из этого состояния они испускают ультрафиолетовые лучи. Ультрафиолетовое излучение взаимодействует с люминофором



на стенках лампы, который испускает видимый свет. Демонстрация свечения электродов лампы при постоянном и переменном напряжении. Назначение гасящего резистора. Цифровые неоновые лампы. Демонстрация лампы и ее зажигания, схема подключения. Стабилитрон и тиратрон. **Ртутная и люминесцентная лампы.** Схема подключения люминесцентной лампы. Полярные сияния. Свечение газа в атмосфере. **Коронный разряд** (огни святого Эльма). Условия наблюдения коронного разряда.

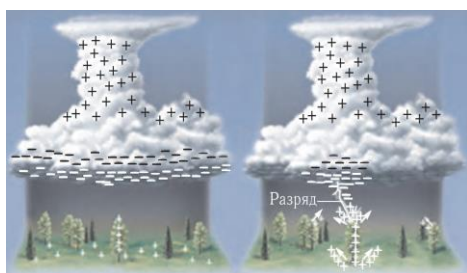
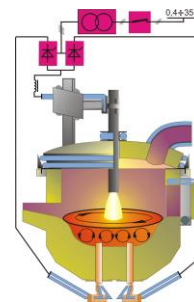
Демонстрация потерь в линии электропередачи "на корону". Почему не гибнут птицы, сидящие на высоковольтных проводах? В каком случае они будут погибать? Как лучше выжить, когда по полу растекаются тысячи вольт?

Демонстрация устройства и принципа действия электрофилтра. Электрофилтры на ТЭС. Проблемы охраны окружающей среды. Работы по повышению КПД электрофилтров.

**Дуговой разряд.** При каких условиях наблюдается дуговой разряд? Применения дугового разряда.

**Электродуговой нагрев** (прямой и косвенный). Опыты Петрова, дуга Яблочкова. **Дуговая сварка** (метод Н.Н. Бенардоса 1882 г и метод Н.Г. Славянова 1891 г). **Источники света: ртутные и ксеноновые лампы.**

**Искровой разряд. Условия наблюдения искрового разряда.** Демонстрация пробивания искрой отверстия в бумаге, воспламенения смоченной авиабензином ваты (свеча), электроискровой обработки металла. Молния. Зажигалка с кнопкой создает молнию, которая и поджигает газ. Существуют молнии, которые проявляют себя во время землетрясений (трении слоев пород). Ломоносов о природе молнии.



*Молния, как бы созревши,  
Вдруг разорвет облака и пронесится пламенем ярким.  
Быстро сверканье ее, заливая окрестности светом.  
Следует тяжкий удар, как будто бы, лопнув внезапно,  
Рушится весь небосвод и грозит обвалиться на землю.*

*Лукреций*

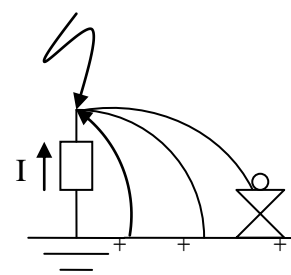
Электрический потенциал грозового облака достигает миллиарда вольт. Высокое напряжение зажигает молнию. Из нижней части грозового облака к земле начинают проскальзывать завитки отрицательно ионизированного воздуха, называемые лидерами. В то же время на земле гроза выбивает из атомов электроны, чтобы создать положительно заряженные ионы, которые также постепенно прокладывают себе путь вверх, начиная с высоких мест, таких как деревья, телеграфные столбы - и люди. Когда лидер из облака и лидер с земли встречаются, возникает электрический ток и ударяет молния. Электрическая мощность грозовой бури в тропиках - около 2 миллиардов ватт. Ученые до сих пор не знают, как появляется молния.

#### Основные параметры молнии:

- |  |                   |
|--|-------------------|
| • Напряженность электрического поля между облаком и землей | $10^5 - 10^6$ В/м |
| • Сила тока разряда  | $10^5 - 10^6$ А   |
| • Скорость протекания разряда                              | $10^8$ м/с        |
| • Длительность единичного разряда                          | 0,001 с           |
| • Число разрядов в одном канале                            | 30 - 50           |
| • Температура в канале                                     | 10000 К           |
| • Диаметр канала   | 1 м               |
| • Диаметр разряда  | 40 см             |
| • Время между разрядами                                    | 0,01 с            |

Рихман и его громоотвод. Изобретение громоотвода Бенджамином Франклином. Король Англии Георг III требовал от королевского общества, чтобы оно отказалось от своего решения в пользу острия на громоотводе, на что президент общества сэр Джон Прингль ответил: *"И по своему долгу, и по своим склонностям, он по мере сил всегда будет исполнять желания его величества, но он не в состоянии ни изменить законов природы, ни изменить действия их сил"*.

Франклин впервые доказал связь молнии с электричеством. Когда он изобрел громоотвод, то вскоре в моду вошли шляпы с булавками – громоотводиками. Защищала ли такая шляпа от удара молнии?



**Дополнительная информация.** Если отрицательный заряд передается от тучи на землю, то молния распространяется сверху вниз. Почему? Молния развивается обычно не непрерывно, а ступенчато. То есть она не может непрерывно двигаться к земле. Она должна останавливаться, потом двигаться дальше. Причем это обязательно наблюдается для

отрицательной молнии, которая переносит отрицательный заряд на землю. Бывает, что молния бьет из земли (положительная молния в 5% случаев)? Положительные молнии, бьющие из земли в тучу, отличаются особо высокой мощностью. Самая протяженная молния, сверкнувшая над южными районами Америки в апреле 2020 года, распласталась по небу почти на 800 км. Самой же продолжительной оказалась вспышка в июне того же года. Она случилась над Уругваем и северными районами Аргентины и длилась чуть более 17 секунд. Огненные фонтаны и эльфы. Шаровая молния.

**Дополнительная информация. Прямое поражение молнией** и поражение от наведенного напряжения. Удар молнии очень опасен для здоровья. Он может привести к параличу рук и ног, остановке дыхания и сердца, может повредить мозг, вызвать нарушения зрения и ходьбы. А на тех местах, где молния вошла в тело и вышла из него, могут быть сильные ожоги. По-прежнему молнии являются большой опасностью и ежегодно уносят сотни человеческих жизней. Самое большое количество жертв от одной молнии было зафиксировано в Зимбабве в 1975 году. Сразу тогда погибли 21 человек.

6 августа 1753 года во время грозы, когда Рихман стоял на расстоянии около 30 см от прибора, от последнего направился к его лбу бледно-синеватый огненный шар. Раздался удар, подобный пушечному выстрелу, и Рихман упал мёртвый, а находившийся тут же гравер Соколов был повален на пол и временно оглушён.

**Дополнительная информация. Как защититься от удара молнии?**

- Изоляция тела (войлок, высушенные тюленьи шкуры, резина).
- Молниеотвод (громоотвод).
- Экранирование помещения.



Не используйте во время грозы электроприборы — в большинстве случаев, когда молния наносила вред людям, находившимся в доме, это происходило в тот момент, когда они разговаривали по телефону.

**Дополнительная информация. Сколько стоит молния** (расчеты можно произвести дома)? Обычная молния производит всего около 25 киловатт-часов электрического тока — столько расходует один нагреватель воздуха (тепловентилятор) за 12 часов работы. За год более четырёх миллионов молний бьют в Землю, пополняя её электрический заряд и поддерживая её электрическое поле. Энергия, "расходуемая" всеми молниями за год более чем втрое превышает годовую мировую выработку электроэнергии.

**Дополнительная информация.** Молекула атмосферного азота ( $N_2$ ) очень стабильна, но у молнии достаточно энергии, чтобы разорвать эту связь, позволив атомам азота прореагировать с кислородом, образуя оксиды ( $NO$  и  $NO_2$ ). В год молнии могут приводить к образованию до 8,6 миллионов тонн оксидов азота.

**Дополнительная информация (Какими бывают молнии?)** Ежеминутно на Земле ударяет около 6000 молний, большая часть которых появляется в экваториальной зоне. Белые вспышки, электрическим разрядом простирающиеся по небу во время летней грозы, уже давно нам привычны, а вот молнии других цветов и форм удивляют многих. Настолько, что некоторые принимают их за аномалии, а в особых случаях за НЛО и сверхъестественные явления. Так давайте же разберёмся, какими бывают молнии. На самом деле существуют десятки разновидностей этого явления, но мы поговорим лишь о некоторых из них.

1. **Перевёрнутые.** Мы привыкли, что молния всегда бьёт сверху вниз, однако это не всегда так. Обычно облака накапливают отрицательный заряд, а земля положительный, поэтому электроны, формирующие молнию, движутся сверху вниз. Но иногда бывает так, что облака могут быть заряжены положительно, и тогда молния может ударить из земли в небо. Такой феномен редкость, но никак не аномалия. Молнии, бьющие из земли в небо, наблюдаются во всех уголках планеты. На видео и фотоснимках эти молнии выглядят, как самые обычные, только разветвления разряда идут не сверху вниз, а снизу вверх.
2. **Гигантские джеты или гигантские струи.** Эти струи возникают в стратосфере, гораздо выше привычных нам молний. К тому же их форма совсем не похожа на электрические разряды. Визуально эта молния выглядит как большая распыляемая струя синего или

фиолетового цвета, бьющая вверх, и сверху окрашенная в красный цвет. Длина такой молнии составляет около 50-70 км. Самую мощную гигантскую струю зафиксировали 14 мая 2018 года над Оклахомой (США), её длина составляла 80 км.

3. Красные спрайты. Технически это явление – не молнии, а электрические разряды холодной плазмы, бьющие в мезосфере и термосфере. Возникают спрайты высоко над грозовыми облаками. Внешне это явление похоже на красную медузу, зависшую высоко в небе, и длится оно менее 100 миллисекунд. Спрайты возникают довольно часто, однако из-за плотных облаков зафиксировать их можно только в большом отдалении от грозовых туч.
4. Эльфы. Точнее Эльвы – ELVES (Emission of Light and Very Low Frequency perturbations due to Electromagnetic Pulse Sources). Эльвы часто проявляются в виде тусклого, плоского, расширяющегося свечения диаметром около 400 км, которое длится, как правило, всего 1 миллисекунду. Они возникают в ионосфере на высоте 100 км над землёй во время грозы. Некоторые используют снимки этого явления как неопровержимое «доказательство» существования НЛО.
5. Тролли – TROLLs (Transient Red Optical Luminous Lineaments). Эти явления возникают после ярких спрайтов и выглядят как красные пятна со слабыми хвостами, а на высокоскоростных камерах видны как быстрая серия событий, начиная с красного свечения, которое формируется после усика спрайта, который позже создаёт красную полосу ниже себя.
6. Голубые струи или голубые джеты. Малые братья гигантских струй, образующиеся в стратосфере. Как следует из названия, эти струи имеют синий или голубой цвет. Несмотря на свой не экзотический вид, голубые струи встречаются реже, чем красные спрайты. Обычно длина таких струй в 2-3 раза меньше гигантских струй. Впервые они были зафиксированы 21 октября 1989 года на чёрно-белом видео грозы на горизонте, снятом с Шаттла, когда он пролетал над Австралией.
7. Шаровые молнии. Это самый загадочный и неизученный вид молний. До сих пор в научном сообществе нет единого мнения относительно природы их возникновения, а в лабораторных условиях воспроизвести это явление таким, каким его в точности описывают очевидцы, так и не удалось (пока). Внешне шаровая молния представляет собой круглый (белый, жёлтый, голубой) светящийся объект, перемещающийся по непредсказуемой траектории. Очевидцы сообщали о самых разных последствиях столкновения с шаровой молнией: от прожжённых стен и стёкол до взрывов и даже летальных исходов. Некоторым даже удавалось отразить молнию, отбив её в сторону каким-либо предметом. А какие виды молний наблюдали лично вы?

#### *Вопросы:*

1. Почему облака называют фабрикой по производству электрических зарядов?
2. Почему молниевый канал светится?
3. Капли дождя при падении на Землю электризуются. Можно ли говорить, что во время дождя существует электрический ток между дождевым облаком и Землёй?
4. Почему, как правило, молния сопровождается громом?  
Примером природного звукового удара может служить обычный гром, возникающий, когда молния ионизирует воздух, и тот расширяется со сверхзвуковой скоростью.
5. Почему во время грозы нельзя находиться возле костра?
6. Как рассчитать длину свободного пробега электронов в канале молнии?
7. Почему грозы случаются чаще над сушей, чем над морем?
8. Отчего молния чаще ударяет в землю в сырых местах, например, у берегов

рек и озер?

9. Почему зимой грозы очень редки?

10. Почему интенсивность галактических космических лучей влияет на образование облаков?

11. Почему в минимуме солнечной активности грозовая активность повышается и наоборот?

12. Каждую тысячу часов полёта самолет поражает молния, и никто не замечает. Почему?

13. Оцените энергию и мощность молнии.

14. Как вызвать молнию своими руками?

**III.** Обобщающее повторение по таблице "Электрический ток в газах"

**IV.** §§ 83-84.

1. Почему плазменный шнур при пропускании по нему электрического тока сжимается и за миллионные доли секунды разрушается (неустойчивость)?

2. Зависит ли длина свободного пробега молекул от температуры газа? Почему?

3. Предложите конструкцию и опишите электрическую схему электрофильтра.

4. Предложите проект молниевой электростанции.

5. Шаровая молния имеет сферическую форму (диаметр 10 – 15 см), почти не излучает тепла, светит как лампочка мощностью 100 Вт, почти безопасна, внутри нее все время происходит перемещение вещества (подобно кипению), существует 10 – 20 с, распадается после этого с треском на куски, которые тут же гаснут. Основываясь на этих показаниях очевидцев, предложите свою модель шаровой молнии.

*Великая поэзия нашего века - это наука с удивительным расцветом своих открытий.*

*Э. Золя*

Урок 50/32.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

Цель урока: Познакомить учащихся со способами создания электрического тока в вакууме и некоторыми техническими применениями этого явления.

ТИП УРОКА: комбинированный.

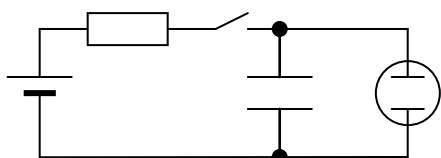
ОБОРУДОВАНИЕ: выпрямитель ВУП-2, вакуумный демонстрационный диод, амперметр демонстрационный.

ПЛАН УРОКА:

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

**II. Задачи:**

1. Поджог неоновой лампы осуществляется с помощью схемы, показанной на рисунке. После замыкания ключа (К) конденсатор начинает заряжаться.



Когда напряжение на конденсаторе достигнет некоторого значения  $U_1$ , лампочка загорается ( $U_1 < \epsilon$ ). При каких значениях сопротивления  $R$



лампочка будет стационарно гореть? Минимальное напряжение на лампе, при котором она еще горит, 80 В, при этом ток через лампу 1 мА. ЭДС батареи 120 В, ее внутренним сопротивлением можно пренебречь.

2. Сварочный аппарат подключен к генератору постоянного напряжения  $U = 37$  В через сопротивление  $R = 0,08$  Ом. Дуга возникает при  $U_0 = 25$  В. Найдите мощность дуги.

*Вопросы:*

1. Что произойдет с горящей электрической дугой, если сильно охладить отрицательный электрод? А если положительный?
2. Какие явления наблюдаются при включении в сеть лампы дневного света?
3. Отчего молнию мы видим короткое время, а гром от нее слышен долго?
4. Почему птицы слетают с провода высокого напряжения, когда включают ток?
5. Газовая горелка хорошо горит, однако при поднесении к ней электрошокера газовая горелка тухнет. Почему?
6. Почему темное пространство у катода растет по мере выкачивания газа из трубки?
7. Почему после удара молнии дождь обыкновенно усиливается (гремучий газ)?
8. Как при помощи неоновой лампы определить знаки полюсов источника?
9. Почему потери электрической энергии на коронный разряд резко возрастают при плохой погоде - сильных туманах, дождях и снегопадах?
10. Для стекания тока молнии и другого атмосферного электричества с корпуса летательные аппараты оборудуются разрядниками. Как это происходит?
11. Во время грозы разряд в атмосфере (молния) происходит по ионизированным каналам, которые образуются там, где больше всего разность потенциалов и меньше сопротивление. Почему это так?
12. Плазма переносит электроны, ионы, молекулы и другие примеси, так и плазма крови переносит красные и белые кровяные тельца, и микробы. Так ли это?
13. К каким полюсам источника тока нужно присоединить электроды в форме диска и острия, расположенные на некотором расстоянии друг от друга, чтобы воздушный пробой произошел при меньшей разности потенциалов между электродами?
14. Попробуйте процесс получения самостоятельного газового разряда объяснить с помощью общих философских законов (закон единства и борьбы противоположностей, закон перехода количественных изменений в качественные, закон отрицания отрицания).
15. Напряжение 40-50 В поддерживает дуговой разряд в газовом промежутке.



Искровой разряд в том же промежутке требует напряжения в несколько тысяч вольт. Почему?

16. Как объяснить, что при выключении люминесцентные лампы, как правило, несколько раз мигают?

**III.** Какие частицы являются свободными носителями заряда в металлах; в электролитах; в газах? При каком условии возможен электрический ток в вакууме?

Понятие вакуума. В технике и прикладной физике **под вакуумом понимают среду, содержащую газ при давлениях, значительно ниже атмосферного.** Вакуум характеризуется соотношением между длиной свободного пробега молекул газа  $\lambda$  и характерным размером среды  $d$  (**низкий** ( $\lambda < d$ ), **средний** ( $\lambda \approx d$ ) и **высокий** ( $\lambda \gg d$ ) вакуум). Рене Декарт даже будто бы сказал: «Если вакуум где-нибудь и существует, так это — в голове Торричелли». Что он имел в виду?

В далеком космосе в 10 миллион раз большая пустота, чем то, что мы можем создать на Земле! Как это понимать?

Проводит ли вакуум электрический ток (демонстрация с электрометром)?

Почему вакуум не проводит электрический ток? А если в вакуум внести источник свободных заряженных частиц? Из всех частиц электрон легче всего поддается высвобождению. 90 лет назад экспериментаторы были заинтригованы тем, как при самом умеренном воздействии электроны "выскакивают" из вещества. В случае некоторых металлов это можно сделать нагреванием всей системы, что приводит к испарению электронов.

**Работа выхода электрона из металла.**

Составляющие работы выхода: 1) Силы зеркального изображения". 2) Преодоление двойного задерживающего слоя (задерживающего поля). Условие "испарения" электрона

(моделирование на магнитной доске):  $\frac{mv^2}{2} \geq A_{\text{вых}}$ .

**Демонстрация явления термоэлектронной эмиссии.**

**Дополнительная информация.** Термоэлектронная эмиссия и Солнце; его положительный заряд. Когда в 1963 г из глубин Исландского моря поднялся вулкан, образовав небольшой остров, в темных облаках над вулканом сверкали яркие молнии. Почему? (Дело было в том, что раскаленная лава, заряженная положительно, поднимала вверх облака положительно заряженного пара, а накопление заряда приводило к разряду, причем электроны двигались вверх по каналу ствола (положительные молнии)).

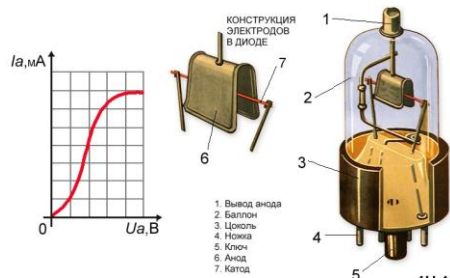
**Электроны могут быть удалены из металла следующими способами: а) термоэлектронная эмиссия – испускание электронов нагретым телом; б) вторичная эмиссия – выбивание электронов из катода ионами; в) автоэлектронная эмиссия (электрическое поле большой напряженности); г) фотоэлектрический эффект.**

**Историческая справка:** Электронная лампа возникла из электрической лампы. Произошло это так. Электрический свет получали, сильно разогревая угольную нить, помещенную в стеклянную колбу, из которой был откачан воздух. Но внутри на колбе быстро появлялся темный налет. Почему? Эдисон (изобрел фонограф и электрический стул) предположил, что на стенки летят заряженные угольные пылинки. В 1883 г он впаял в колбу металлическую пластинку и попробовал подать на нее напряжение. Зачем? Баллоны все равно темнели, но Эдисон обнаружил, что при положительном потенциале на пластине, в ее цепи появляется ток. Почему? Когда угольную нить не разогревали, тока в цепи пластины тоже не было. Почему? Какие два явления открыл Эдисон? Выпрямительный эффект диода открыли только

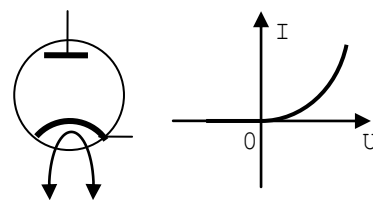
через 21 год! Дальнейшие эксперименты показали, что если нить покрыть оксидом кальция (то есть просто негашеной известью), то при той же температуре катода ток заметно возрастает. Почему? Так в 1904 году А. Вепельт изобрел оксидный катод, а Дж. А. Флеминг обнаружил свойство диода выпрямлять переменный ток.

### Вакуумный диод прямого накала.

Обозначение диода на электрических схемах. Вольтамперная характеристика вакуумного диода (демонстрация). Если мы не будем подавать напряжение на анод, над нагретым катодом возникнет облако электронов, называемое пространственным зарядом. Как только мы подключаем напряжение, пространственный заряд начинает течь к аноду, превращаясь в анодный ток. Далее мы видим, что анодный ток выходит в насыщение. Природа этого участка очень проста — все испущенные с катода электроны долетают до анода. На этом участке уже нет пространственного заряда над катодом, он весь перешёл на анод.



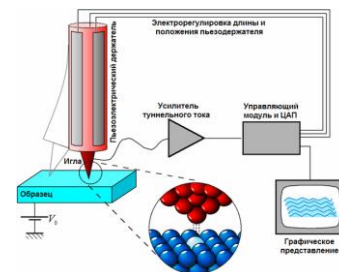
Односторонняя проводимость диода. Диод косвенного накала. Технические применения вакуумного диода. Вакуумные диоды (кенотроны) способны выдерживать довольно большие токи и напряжения.



Диод — электронный элемент, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока.

Дополнительный материал (туннельный микроскоп):

IV. Демонстрация кинофильма. Задачи:



Задачи:

1. При какой скорости электрон может вылететь из серебра, если работа выхода  $6,9 \cdot 10^{-19}$  Дж?

2. В диоде электрон подходит к аноду со скоростью  $8 \cdot 10^6$  м/с. Найти анодное напряжение.

3. Расстояние между катодом и анодом вакуумного диода  $\ell = 1$  см. Сколько времени движется электрон от катода к аноду при анодном напряжении  $U = 440$  В? Движение электрона считать равноускоренным. Начальной скоростью электрона пренебречь.

...мы освободили понятие графика от всего случайного.

Андрей Колмогоров

V. § 77. Упр. 12, № 8.

1. Приведите наибольшее количество примеров термоэлектронной эмиссии и вторичной электронной эмиссии.
2. На куске картона, установленном над горящей свечой, образуется пятно копоти. Как зависит диаметр пятна от расстояния между свечой и картоном?
3. Оказывает ли влияние магнитное поле на силу электрического тока в вакууме?

Обязательно подтвердите ваш ответ экспериментально.

4. Способствует ли нагревание металла автоэлектронной эмиссии?
5. Попробуйте доказать, что анодный ток вакуумного диода обратно пропорционален квадрату ширины межэлектродного зазора и пропорционален анодному напряжению в степени  $3/2$  (закон "трех вторых").

*Как наша прожила б планета,  
Как люди жили бы на ней  
Без теплоты, магнита, света  
И электрических лучей?*

*Адам Мицкевич*

Урок 51/31.

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУЧКИ И ИХ СВОЙСТВА. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА.**

**Шершень ударил прямо в лоб, и я упал!**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся со свойствами электронных пучков и практическими применениями этих свойств.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** Электронно-лучевая трубка, выпрямитель ВУП-2, прибор для изучения свойств катодных лучей, выпрямитель высоковольтный, палочки из эбонита из стекла, магнит дугообразный, осциллограф.

**ПЛАН УРОКА:**

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

**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электрический ток в вакууме. 2. Вакуумный диод.

*Задачи:*

1. В диоде электроны ускоряются до энергии  $W = 100$  эВ. Какова их скорость у анода лампы?
2. Максимальный анодный ток в ламповом диоде  $I = 50$  мА. Сколько электронов вылетает из катода каждую секунду?
3. Напряжение между анодом и катодом вакуумного диода равно  $U$ , анодный ток равен  $I$ . Найти среднее давление электронов на анод площадью  $S$ .
4. На аноде электронной лампы выделяется 20 Дж тепла за 20 минут. Определите среднюю скорость движения электрона в лампе, если анодный ток 8 мА.

*Вопросы:*

1. Возможен ли искровой разряд в вакуумной лампе?
2. Почему, когда горит солома, нагретый воздух поднимается не по прямой линии, а по спирали и начинает кружиться?
3. При отсутствии внешнего электрического поля электроны, вылетающие из катода вакуумного диода, не рассеиваются в окружающем пространстве, а

большей частью возвращаются на поверхность катода? Как это можно объяснить?

4. Как с помощью свечи определить знаки зарядов пластин раздвижного конденсатора, соединенных с полюсами действующей электрофорной машины?
5. Почему катод электронной лампы быстро разрушается, если внутри лампы находится небольшое количество воздуха?
6. Способствует ли нагревание металла автоэлектронной эмиссии?
7. Почему в вакуумном фотодиоде при обрыве внешней цепи после освещения катода электроны через некоторое время перестанут переходить на анод?
8. Скорость движения электронов между электродами вакуумного диода достигает тысяч километров в секунду, а в металлических проводниках анодной цепи – миллиметров в секунду. Почему же сила тока в диоде и в проводниках одинакова?

**III. Получение электронных пучков** (объяснение по кадрам диафильма). Впервые электронные пучки наблюдал У. Крукс в 1879 г. Получив в разрядной трубке вакуум со степенью разрежения ниже одного миллиметра, заметил, что темное катодное пространство быстро распространяется по всей поверхности трубки, вследствие чего стенки трубки начинают сильно флуоресцировать (светиться). Он также подметил, что свечения трубки смещаются под действием магнита.

- *При пропускании тока высокого напряжения через трубку с очень сильно разряженным газом из катода вырывался поток частичек, несущихся с огромной скоростью.*
- *Эти частички движутся строго прямолинейно.*
- *Эта лучистая энергия может производить механическое действие, например, вращать маленькую вертушку, поставленную на ее пути.*
- *Лучистая энергия отклоняется магнитом.*
- *В местах, на которые падает лучистая энергия, развивается тепло. Если катоду придать форму вогнутого зеркала, то в фокусе этого зеркала могут быть расплавлены даже такие тугоплавкие сплавы, как, например, сплав иридия и платины.*
- *Катодные лучи - поток материальных телец меньше атома, а именно частиц отрицательного электричества.*

*Уильямс Крукс*

Томсон пытался выяснить, состоят ли светящиеся лучи, которые он и другие видели в стеклянных трубках, называемых «электронно-лучевыми трубками», из частиц или света.

**Дж. Томсону удалось доказать, что этот пучок состоит из электронов (30 апреля 1897 г.).** Метод, предложенный Томсоном, был весьма прост. Сначала пучок катодных лучей отклонялся с помощью электрического поля, а затем с помощью магнитного поля он отклонялся на равную величину в противоположную сторону, так что в итоге пучок вновь выпрямлялся. При использовании такой методики стало возможным вывести простые уравнения, из которых определялась скорость частиц и отношение заряда к массе.

После открытия рентгеновских лучей Рентгеном, Томсон очень заинтересовался этой темой, и стал изучать другие свойства катодных лучей. Оказалось, что удельный заряд частиц катодных лучей  $e/m$  не зависит от природы газа и от материала катода. Удельный заряд оказался в 1000 раз больше, чем у водородного иона.

**Вот что выяснил Томсон:**

- **атомы не являются неделимыми, так как они могут излучать заряженные частицы;**

- эти частицы имеют одинаковый заряд, и не отличаются от частиц, излучающихся другими атомами (электричество имеет атомистическую структуру);
- масса этих частиц одинакова, и она примерно равна тысячной массе атома водорода.

**Томсон назвал эти частицы «электронами».** Измерение электрического заряда электрона — заслуга Роберта Милликена. Открытие электрона – результат работы и других ученых: В. Крукса, Г. Гельмгольца, Ф. Ленарда. Демонстрация некоторых свойств пучков (отклонение в электрических и магнитных полях, перенос энергии).

*Так как катодные лучи несут заряд отрицательного электричества, они отклоняются электростатической силой, как если бы они были отрицательно наэлектризованы, и на них действует магнитная сила, таким образом, как эта сила действовала бы на отрицательно наэлектризованное тело, движущееся по траектории этих лучей.*

*Джозеф Джон Томсон*

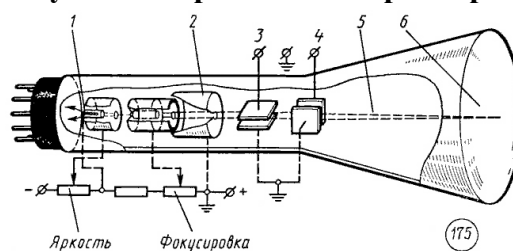
Открытие оказалось тем знанием, которое было необходимо для создания вакуумных клапанов, усилителей, электронных устройств. Оно породило всю электронную промышленность, радио, телекоммуникации и компьютеры.

**Историческая справка.** В 1884 году лорд Рэлей (Нобелевский лауреат 1904 года) ушел в отставку с поста руководителя кавендишской лаборатории физики Кембриджского университета — одного из самых престижных научных подразделений того времени. В своей записке об уходе на пенсию он рекомендовал, чтобы молодой 28-летний человек Томсон стал его заменой. Томсон оправдал этот выбор сполна, когда в серии блестяще разработанных экспериментов с электронно-лучевой трубкой (в 1897 году) дал доказательство существования электронов. Это разрушило миф о том, что атом не делим, и положило начало новой науке — физике субатомных частиц. Томсон смог изменить историю науки не только благодаря индивидуальному таланту, но и благодаря тщательному воспитанию выдающихся умов. Было ли это просто причудой судьбы, что некоторые из лучших умов в области физики собрались в Кавендише в то время, или это была его способность заставлять умных людей выполнять блестящую работу? Однажды, когда Томсон был совсем маленьким, кто-то из родственников спросил его, чем бы он хотел заниматься, когда вырастет, и Джозеф ответил, что хотел бы заниматься «оригинальными исследованиями». К 50 годам Джозеф Томсон достиг всего, к чему может стремиться физик, — руководил лучшей в мире физической лабораторией, получил мировое признание за свою работу и Нобелевскую премию по физике. Но есть одно достижение Джозефа, о котором не так часто вспоминают. Он был выдающимся педагогом. Ряд первоклассных ученых получили свое раннее образование у Томсона — 75 его учеников занимали профессорские должности примерно в 55 университетах по всему миру, 27 были избраны членами королевского общества, а 7 его учеников стали Нобелевскими лауреатами.

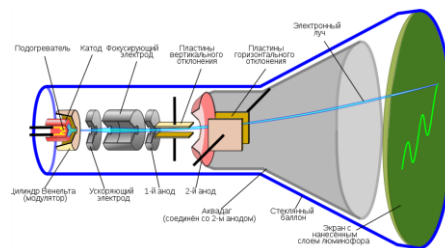
**Технические применения:** плавка металлов (электронный нагрев) в вакууме.

**Электронно-лучевая трубка.** Назначение анодов и управляющего электрод (модулятора). Способы управления электронным пучком (демонстрация). **Электронный осциллограф** (демонстрация) - прибор, предназначенный для исследования (наблюдения, записи, измерения) амплитудных и временных параметров электрического сигнала, подаваемого на его вход, либо непосредственно на экране, либо записываемого на фотоленте.

15.02.1895 немецкий физик, лауреат Нобелевской премии Фердинанд Браун опубликовал схему осциллографа. С тех пор физики на всех картинках сидят у осциллографа с умным лицом. Как осуществляется развертка сигнала при снятии кардиограммы?



**Кинескоп телевизионного приемника (демонстрация)** – электронно-лучевая трубка, в которой электроны, ударяясь об экран, создают иллюзию формы и движения. Электроны формируют на экране 25 кадров в секунду. Однако, благодаря скорости, с которой один кадр сменяет другой, возникает обман зрения, и мы думаем, что видим непрерывное и движущееся изображение.



#### IV. Демонстрация кинофильма.

*Задачи:*

1. В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение равно 16 кВ, а расстояние от анода до экрана составляет 30 см. За какое время электрон проходит это расстояние?
2. Мощность тока в электронно-лучевой трубке 0,5 Вт. Энергия электрона в луче  $8,0 \cdot 10^{-16}$  Дж. Определите силу анодного тока.
3. Определить концентрацию электронов в пучке электронно-лучевой трубки осциллографа вблизи экрана. Сечение пучка  $1 \text{ мм}^2$ , сила тока 1,6 мкА. Электроны вылетают из катода без начальной скорости и ускоряются между и анодом электрическим полем с разностью потенциалов 28,5 кВ.
4. В электронно-лучевой трубке поток электронов с кинетической энергией 8 кэВ, движется между отклоняющими пластинами плоского конденсатора длиной 4 см. Расстояние между пластинами 2 см. Какое напряжение надо подать на пластины конденсатора, чтобы смещение электронного пучка на выходе из конденсатора было 0,8 см?
5. Электрон влетает в область магнитного поля ширины  $\ell$ . Скорость электрона  $\vec{v}$  перпендикулярна как индукции поля  $\vec{B}$ , так и границам области. Под каким углом к границе области электрон вылетит из магнитного поля?

*Вопросы:*

1. Как узнать, отклоняется ли движущийся электрон в определенной области пространства электрическим или магнитным полем?
2. Какую траекторию опишет электрон, пролетая между пластинами плоского конденсатора, на которые подано: а) постоянное напряжение; б) переменное напряжение достаточно высокой частоты?
3. Зачем в электронно-лучевой трубке создается высокий вакуум?

§ 78. Упр. 12, № 9.

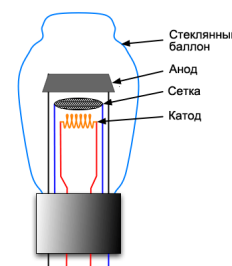
1. Составить обобщающую таблицу "Электрический ток в вакууме", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

*Тот, кто не хочет прибегать к новым средствам, должен ожидать новых бед.*

*Бэкон*

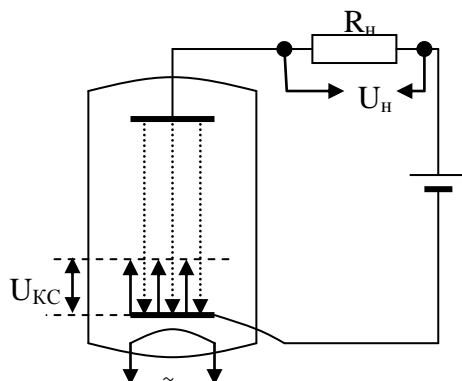
#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ: ТРИОД

Электронная лампа (триод) была спроектирована физиком Флемингом в 1904-м и представляла собой устройство в форме герметичной стеклянной трубки для управления электрическим током. Её использовали как современные транзисторы: как переключатель, усилитель, генератор и выпрямитель тока. Она стала неотъемлемым компонентом электроники



первой половины прошлого столетия и повлияла на развитие радио, телевидения и компьютеров.

Пусть анод и катод вакуумного диода имеют форму больших пластин, напряжение между ними (анодное напряжение)  $U_{AK}$ . Напряженность электрического поля в пространстве



между пластинами:  $E_1 = \frac{U_{AK}}{d_{AK}}$ , где  $d_{AK}$  - расстояние

между анодом и катодом. На электроны, "испаряющиеся" с нагретого катода, будет действовать сила и, через диод будет течь ток (анодный ток). Можно ли управлять анодным током? Вакуумный триод.

Напряженность электрического поля между катодом и сеткой:  $E_2 = \frac{U_{KC}}{d_{KC}}$ , где  $d_{KC}$  - расстояние между катодом

и сеткой. Если  $E_1 = E_2$  ( $U_{KC} = \frac{d_{KC}}{d_{AK}} U_{AK}$ ), то анодный

ток будет равен нулю. Числовой пример:  $U_{AK} = 200$  В,  $d_{KC} = 1$  мм,  $d_{AK} = 50$  мм,  $U_{KC} = 4$  В =  $\varphi_K - \varphi_C$ .

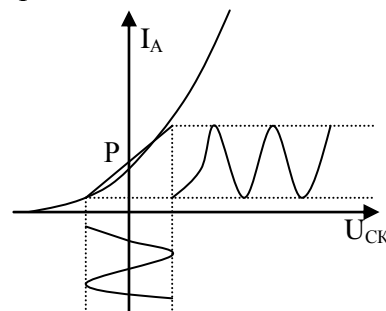
### Триод - как электронный ключ.

При прохождении сетки эмиссионные электроны уже практически не ощущают её влияния (т.к. расстояние становится большим). Подавая на сетку отрицательное напряжение, меньшее по модулю, чем анодное, мы можем управлять анодным током от некоторого минимального значения до тока как в диоде, когда сеточное напряжение равно нулю (задерживающий режим). Если мы подаём на сетку положительное напряжение, мы хоть часть тока и теряем на сеточный, но в целом анодный ток увеличиваем (режим усиления).

### Изменяя потенциал сетки по отношению к катоду, можно управлять анодным током и даже прекращать его совсем!

Сеточная характеристика триода. Характеристики вакуумного триода:

- Рабочая точка (Р).
- Крутизна  $S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_C}$  при  $U_A = \text{пост.}$
- Внутреннее сопротивление  $R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}$  при  $U_C = \text{пост.}$
- Коэффициент усиления  $K = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_C}$  при  $I_A = \text{пост.}$



*Пример.* В лампе, в которой для изменения анодного тока на 2 мА необходимо либо изменить анодное напряжение на 18 В, либо сеточное напряжение на 0,3 В. Определить коэффициент усиления. У триодов коэффициент усиления лежит в пределах от 4 до 100!

Усилитель низкой частоты на триоде:  $U_n = I \cdot R_n$ .

Вакуумные приборы имеют огромное преимущество в том, что они выдерживают довольно большие напряжения и генерируют большие мощности, при которых ультрасовременные и суперкрутые твердотельные чипы просто бы сгорели, поэтому незаменимы в радиоаппаратуре, рентгене и телевидении.

*Задачи:*

1. Электронная лампа триод имеет внутреннее сопротивление 3 кОм и крутизну характеристики 3 мА/В. Найти коэффициент усиления этой лампы.

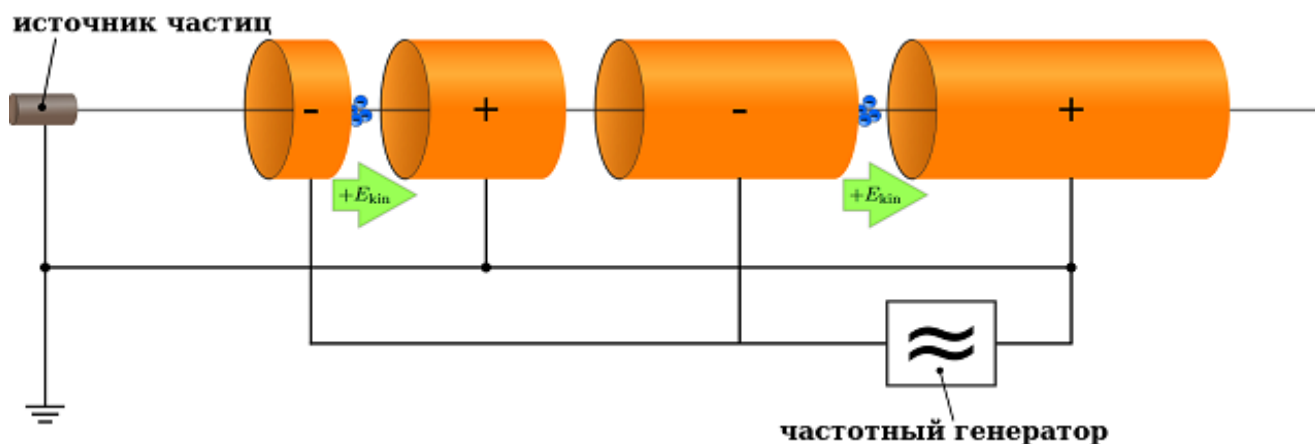
*Вопросы:*

1. Если соединить проводником анод с сеткой триода, то сила тока резко возрастает. Почему?



2. Почему возрастает сила тока, если соединить катод с сеткой?
3. Если коснуться пальцем сетки, то сила тока убывает. Почему?
4. Что произойдет, если коснуться сетки лампы наэлектризованной палочкой?

**Дополнительная информация. Линейный ускоритель** — ускоритель заряженных частиц, в котором, в отличие от циклических ускорителей, частицы проходят ускоряющую структуру однократно. В таком ускорителе пучок частиц ускоряется высоким напряжением, которое может быть постоянным, или импульсным. Ускорители позволяют достичь наибольших скоростей лёгких заряженных частиц (преимущественно электронов) и выдают



чрезвычайно интенсивный пучок излучения, которое можно использовать не только для изучения фундаментальных свойств природы, но и для решения прикладных задач ядерной медицины: получения радиоактивных изотопов для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) или, например, протонной терапии, а также для других отраслей. В линейных ускорителях пучок частиц попадает на некую фиксированную макроскопическую мишень. В качестве такой мишени могут выступать металлический образец, печатная плата, клеточные культуры и т.д., то есть объект, за которым можно наблюдать и который мы можем контролировать.

В мире работает около 40 тыс. ускорителей частиц. При этом лишь примерно 5% из них используются для решения фундаментальных задач физики, все остальное — это прикладные вопросы, связанные в основном с электроникой и ядерной медициной. В целом в решение медицинских задач вовлечены около 30% всех существующих в мире ускорителей. Они широко используются для стерилизации медицинского оборудования и как основной элемент рентгеновских или электронных аппаратов для радиотерапии и радиохирургии.

Такая же доля, около 30%, приходится на так называемую ионную имплантацию, позволяющую создавать полупроводниковые материалы, благодаря чему существует вся наша современная микроэлектроника. Кроме того, внушительную часть всех ускорителей составляют машины, используемые для чисто прикладных задач, таких как, например, электронно-лучевая сварка или для изготовления различных изотопов химических элементов.

Линейный ускоритель также является составной частью (т. н. инжектором) ускорительной системы коллайдеров, ускоряющей протоны на начальном этапе.

*Полупроводниками ... будут называться проводники ... сопротивление которых очень сильно уменьшается с температурой.*

*И. Кенигсбергер*

Урок 52/3.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

**Почему все живое состоит из углерода?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с полупроводниками, выяснить природу свободных носителей заряда в них, характер собственной и примесной

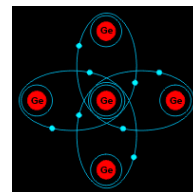
проводимости.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: набор полупроводников, выпрямитель ВС-24, гальванометр от амперметра, кинофильм "Полупроводниковые диоды и стабилитроны" ч. 1.

ПЛАН УРОКА:

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электронные пучки и их свойства. 2. Электронно-лучевая трубка.

*Задачи:*

1. Определить ускорение, время движения и конечную скорость электронов у анода вакуумного диода, если их скорость у катода равна нулю, напряжение между катодом и анодом 300 В, а расстояние между ними 1 см. Электрическое поле считать однородным.
2. В телевизионной трубке горизонтально летящий пучок электронов имеет энергию 12 кэВ. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна  $5,5 \cdot 10^{-5}$  Тл. На какое расстояние сместится пучок электронов, пролетев внутри трубки 20 см?

**III.** Пусть нам удалось твердый диэлектрик «набить» дополнительными свободными электронами. Неохотно и лениво, они «рассядутся» по свободным местам на самом верху, а продвигаться глубже в структуру вещества не смогут, как и в любых диэлектриках. **Диэлектрик можно наэлектризовать, но проводить электрический ток он не сможет.**

К **полупроводникам** относятся многие химические элементы и химические соединения, например, германий, кремний, селен, теллур, сурьма, мышьяк. Место полупроводников в периодической таблице. Сравнение удельных сопротивлений металлов, полупроводников (при комнатной температуре лежит в диапазоне:  $10^{-3}$  -  $10^7$  Ом·м) и изоляторов (Справочник по физике и технике). На сколько порядков отличаются удельные сопротивления германия и парафина? кремния и резины? Полупроводники – «ни рыба, ни мясо», проводят ток много хуже проводников, но лучше изоляторов. Концентрация германия в золе каменных углей достигает нескольких десятков килограмм на тонну.

Существуют ли еще способы отличить твердый полупроводник от металла?

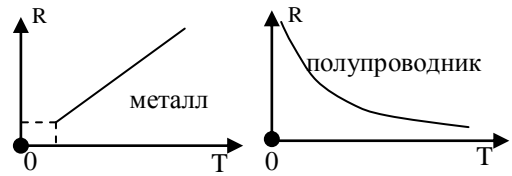
*Недавно я наткнулся на необычный случай, ... который находится в прямом противоречии с влиянием тепла на обычные металлы ...*

*Фарадей*

Демонстрация зависимости сопротивления полупроводника от температуры и освещенности.

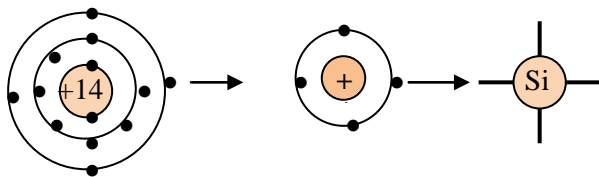
**Внутренний фотоэффект** - явление возрастания электропроводности и уменьшения сопротивления, вызванное облучением. Основным свойством

полупроводников является увеличение электрической проводимости с ростом температуры. Поэтому полупроводники и называют полупроводниками, что **при достаточно высоких температурах они являются проводниками, а при низких - диэлектриками.**



В кремнии при комнатной температуре порядка двух свободных электронов на 10 миллиардов атомов. Это примерно такое соотношение, как если бы на все население земного шара приходился только один свободный человек. Поэтому полупроводники в нормальном состоянии плохо проводят электрический ток или не проводят вообще, но с ростом температуры или под действием света начинают лучше проводить. Есть такое понятие — температура удвоения концентрации собственных носителей зарядов. Для кремния это примерно 9 градусов. При температуре 300<sup>0</sup>С кремний фактически превращается в проводник. Для сравнения в нитриде галлия при комнатной температуре концентрация собственных электронов и дырок на несколько порядков ниже, а температура удвоения числа собственных носителей заряда около 25 градусов.

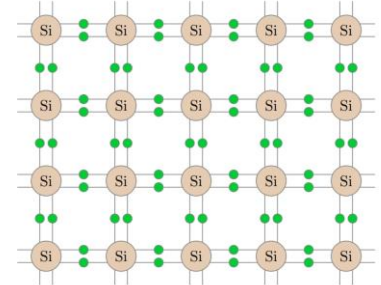
Внутреннее строение полупроводника на примере кремния. **Атом кремния.**



Атомы кремния похожи на висящие в пустоте шарики, каждый из которых наподобие индусских богов протягивает свои соседям четыре руки. Ковалентная связь.

**Энергетическая щель диэлектрика ( $W_g$ ) - минимальная энергия, необходимая для того, чтобы оторвать электрон от атома диэлектрика и превратить его в свободный электрон.**

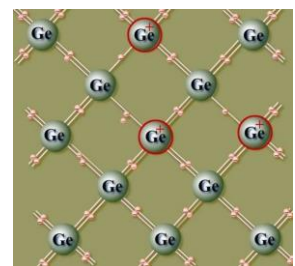
Примеры: у алмаза  $W_g = 7$  эВ, у германия  $W_g = 0,72$  эВ, у кремния 1,1 эВ, у арсенида индия - 0,35 эВ. У графита валентная зона и зона проводимости перекрываются. Значение энергетической щели зависит от структуры решетки и свойств атомов; **лежит в пределах от нуля (металлы) до десятков электрон-вольт (диэлектрики).**



По ширине запрещенной зоны к полупроводникам относят вещества, ширина запрещенной зоны которых лежит в диапазоне 0,1 – 3,0 эВ. Энергия квантов видимого света 1,6 – 3 эВ. Почему стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи? Зависимость

электропроводности диэлектрика от температуры.  $\sigma = \sigma_0 e^{\frac{W_g}{2kT}}$ .

Германий — блестящий, серебристо-серый, твердосплавный металлоид, который обладает любопытным свойством. Он прозрачен в инфракрасном диапазоне 1,8–23 мкм. Благодаря такой особенности его используют для изготовления «стекел» и «линз», которые применяются в приборах ночного видения, в военной промышленности и даже в автомобилях класса «люкс».



**Электроны и дырки.** Рекомбинация дырок и излучение света. Характер теплового движения электронов и дырок, зависимость их концентрации от температуры и освещенности.

Электрическое поле в полупроводнике (рисунок на доске). Дрейф электронов и

дырок. Дырка тоже может перемещаться из одного конца кристалла на другой и переносить электрический заряд. Ток электронов и ток дырок (аналогия с перемещением пустых мест в кинотеатре, если зрители с первого ряда переходят на сцену, а их места занимают зрители следующего ряда):  $I = I_e + I_d$ . Собственная проводимость полупроводников. Вольтамперная характеристика чистого полупроводника. Собственная проводимость обязана своим существованием тепловому движению атомов.

Проводимость полупроводников меняется и при введении примеси — этот процесс называется «легирование». Полупроводники, как принцессы на горошине, очень чувствительны к примесям. Примесная проводимость. Способы легирования полупроводника примесью. Если в кусок кремния (рисунок на доске), содержащий 20 электронов и 20 дырок, добавить 1000000 атомов мышьяка (донорная примесь), то в полупроводнике с такой примесью (*n* – типа) будет 1000020 электронов и 20 дырок (на самом деле дырок будет гораздо меньше из-за рекомбинации с электронами). Демонстрации с полупроводником ***n*-типа** (от лат. *negativus* - отрицательный).

Если в кусок кремния, содержащий 20 электронов и 20 дырок, добавить 1000000 атомов индия (акцепторная примесь), то в полупроводнике с такой примесью (***p* - типа**) будет 20 электронов и 1000020 дырок (электронов будет гораздо меньше из-за рекомбинации с дырками).

Индий - металл известный своей мягкостью, благодаря которой его можно легко согнуть, разорвать или даже раскусить.

**Полупроводники** - материалы, занимающие по проводимости промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающиеся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.

#### **IV. Вопросы:**

1. Почему, несмотря на равенство концентрации электронов и дырок в полупроводнике с собственной проводимостью, электронный ток всё же больше дырочного?
2. Какого типа будет проводимость германия, если к нему добавить в качестве примеси фосфор (цинк, калий)?
3. Один конец полупроводникового стержня нагрели, другой – охладили. При этом горячий конец зарядился отрицательно, холодный – положительно. Полупроводником какого типа является этот стержень?

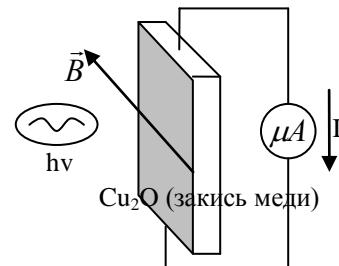
#### **Задачи:**

1. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре  $3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Какую часть составляет число электронов проводимости от общего числа атомов? Плотность германия  $5360 \text{ кг/м}^3$ , молярная масса  $0,073 \text{ кг/моль}$ .

## V. §§ 71,72.

**Дополнительная информация:** Схема работы ксерокса такова: слою полупроводника сообщается электрический заряд, и тут же на него проецируют изображение. Проводимость освещенных участков возрастает, и заряд с них стекает на металлическую подложку. Порошку сообщается заряд противоположного знака, и он прилипает к тем участкам полупроводникового слоя, где сохранился электрический заряд. Остается перенести изображение на бумагу и закрепить его, что достигается нагреванием.

**Фотоэлектромагнитный эффект.** При падении света на пластинку из закиси меди в цепи возникает электрический ток. На освещаемой поверхности под действием света образуются электроны и дырки, их концентрация увеличивается, и они диффундируют вглубь полупроводника. Перемещаясь в магнитном поле, они отклоняются соответственно вниз и вверх, при этом возникает фотоэлектрическая ЭДС порядка 20 – 30 В.



... научный прогресс похож на гигантскую лестницу, каждая ступень которой соответствует одному из великих открытий, внезапно поднимающих человечество на более высокий уровень.

Дж. Сартон

## Урок 53/35.

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Различаются ли чем-нибудь «дырка» и положительный ион в полупроводниках?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с особенностями электрического тока через контакт двух полупроводников с разными типами проводимости и практическими применениями этого явления.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** полупроводниковый диод, амперметр демонстрационный, выпрямитель, осциллограф, соединительные провода.

**ПЛАН УРОКА:**

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



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Электрический ток в полупроводниках. 2. Проводимость полупроводников при наличии примесей.

**Задачи:**

1. В кристалл германия введена примесь фосфора в количестве  $10^{-4}$  % по массе. Как изменится электропроводность кристалла, и какого типа проводимость он приобретет? Считая, что все атомы фосфора в германии ионизированы, определите концентрацию носителей заряда, обусловленную введением фосфора. Молярная масса фосфора 0,031 кг/моль. Плотность германия  $5360 \text{ кг/м}^3$ .
2. Сколько процентов (по массе) индия необходимо ввести в германий, чтобы концентрация дырок была  $10^{22} \text{ м}^{-3}$ ? Концентрацию собственных носителей заряда в германии считать пренебрежимо малой. Молярная масса индия

0,115 кг/моль. Плотность германия  $5400 \text{ кг/м}^3$ .

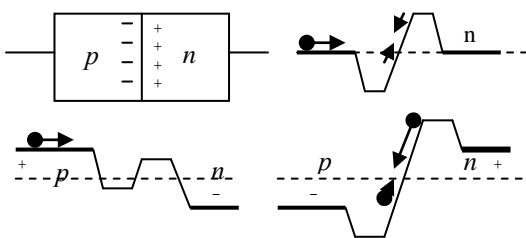
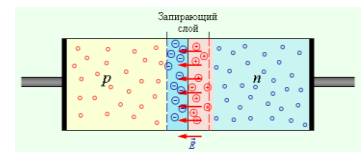
3. Концентрация носителей в кремнии равна  $n = 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ , подвижность электронов  $b_n = 0,15 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , дырок  $b_p = 0,05 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Определить сопротивление кремниевого стержня длиной  $\ell = 5 \text{ см}$  и сечением  $S = 2 \text{ мм}^2$ .

*Вопросы:*

1. Почему измерения электропроводности полупроводников проводят при очень слабом освещении или в темноте?
2. Почему сопротивление металлов при изменении освещенности практически не изменяется, а сопротивление полупроводников изменяется заметно?
3. К концам графитового стержня, сопротивление которого падает с повышением температуры, приложена постоянная разность потенциалов. Когда выделяемое стержнем тепло будет больше: когда он ничем не покрыт или, когда он покрыт асбестом?
4. Что надо сделать, чтобы электропроводность германия и кремния стала такой же, как электропроводность металла (диэлектрика)?
5. Назовите главные отличия между полупроводниками и металлами.
6. Перейдет ли кремний в сверхпроводящее состояние, если его охладить до температуры, близкой к абсолютному нулю?
7. В полупроводниках концентрация заряженных частиц много меньше, чем в металлах. Отчего же при последовательном соединении полупроводника и металлического проводника с равными поперечными сечениями сила тока в них одинакова?

**III. Образование  $p$  -  $n$  -перехода** при контакте двух полупроводников с разными типами проводимости.

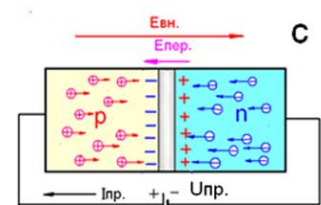
Толщина  $p$ - $n$  перехода порядка  $0,3 \text{ мкм}$ . Контактная



область обладает большим электрическим сопротивлением, так как концентрация свободных носителей заряда в ней очень мала.

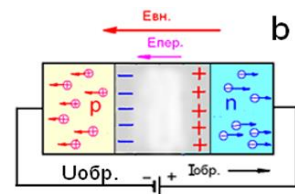
Почему? Механическая аналогия  $p$  -  $n$  -перехода. Контактная разность потенциалов

( $U_K$ ) и высота потенциального барьера:  $A = e \cdot U_K$ . Для кремния напряжение такого внутреннего поля – примерно  $0,5 \text{ Вольт}$ . Динамическое равновесие между потоками основных носителей заряда через  $p$  -  $n$  -переход, энергия которых превышает высоту потенциального барьера, и потоками неосновных носителей заряда. Кроме появления электрического поля на границе, происходит снижение концентрации свободных электронов и дырок. Непосредственно на границе слоев до нуля. Отсюда и второе название — «обедненная область».

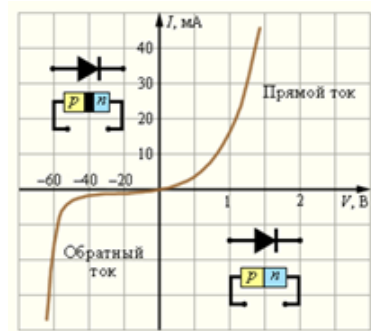




Если подать внешнее напряжение, то электрическое поле векторно складывается с внутренним полем. Подаем небольшое прямое напряжение на переход, т.е. плюс (+) к р-слою, минус (-) к n-слою. Внешнее и внутреннее поля направлены в разные стороны и начинают компенсировать друг друга. Напряжение на переходе и ширина барьера снижается. Когда напряжение внешнего поля становится выше внутреннего, барьер исчезает, р-n переход полностью открывается. Для полупроводниковых диодов есть даже такой параметр – пороговое напряжение. Это прямое напряжение, при котором диод полностью открывается. Изменение высоты потенциального барьера внешним напряжением. Объяснение на основе механической аналогии особенностей протекания электрического тока через р-n - переход. Обратный ток через р-n - переход.



**Полупроводниковый диод**, его устройство и принцип действия. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода. Основные характеристики диода: **допустимое обратное напряжение, максимальный выпрямленный ток.** Выпрямление переменного тока с помощью диода (К. Браун, 1874 г.)



**Маркировка диодов:** 1-ая буква (Г – германиевый, К – кремневый, А – соединения галлия); 2-ая буква (Д – выпрямительный, С – стабилитрон, В – варикап); 3-ья цифра – значение прямого тока (1 – ток до 0,3 А, 2 – от 0,3 А до 10 А).

**Преимущества** полупроводниковых диодов: малые габариты, не потребляют энергию на накал катода. **Недостатки:** обратный ток, ограниченный интервал напряжений и токов, разбросанность параметров. Увеличение обратного тока при нагревании диода.

**Светодиод** – полупроводниковый прибор, преобразующий электрическую энергию в энергию светового излучения определенной длины волны.



Светодиод



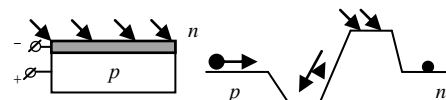
Фотодиод

На опыте выяснить, является ли светодиод - диодом и объяснить природу его свечения. Обозначение светодиода на электрических схемах. Сопротивление светодиода резко падает при увеличении напряжения, поэтому его подключают к источнику через ограничительный резистор. Чтобы подключить светодиод к сети 220 В, нам потребовался резистор сопротивлением 4 кОм. Способность светодиодов излучать свет почти без выделения тепла делает их намного более эффективными и долговечными.



Сопротивление светодиода резко падает при увеличении напряжения, поэтому его подключают к источнику через ограничительный резистор. Чтобы подключить светодиод к сети 220 В, нам потребовался резистор сопротивлением 4 кОм. Способность светодиодов излучать свет почти без выделения тепла делает их намного более эффективными и долговечными.

**Фотодиод (фотоэлемент)**, его обозначение на электрических схемах. На опыте выяснить, является ли фотодиод - диодом. Зависимость обратного тока от освещенности (демонстрация). Принцип действия фотодиода. Энергетическая диаграмма для дырок. Равновесие между потоками основных и неосновных носителей свободного заряда через р - n-переход при данной освещенности.





**Дополнительная информация.** Современная электротехника немыслима без диодов. Это и светодиоды, которые мы используем для освещения. Это и лазерные диоды, которые используют как источники света в оптико-волоконных кабелях, а также используются в компьютерных мышках и при считывании штрих-кодов. Даже солнечные батареи и те содержат в себе диоды, которые называются солнечными элементами.

Кремниевые фотодиоды (КПД 10 - 12%).

**Фотоячейки. Солнечные батареи (день рождения солнечных батарей 25 апреля 1954 года).** В дневное время фотоэлемент солнечной панели работает как тепловой двигатель, используя Солнце в качестве источника тепла и окружающую среду Земли в качестве поглотителя холода, преобразовывая солнечное излучение в электрическую энергию. Началась солнечная энергетика с открытия в 1839 году явления фотоэффекта французским физиком Александром Беккерелем. Прорыв произошел в 1955 году, когда компания Bell Telephone представила солнечную батарею на основе кремния. Ее КПД составлял уже порядка 6%, а в дальнейшем был увеличен до 11%. Для справки: в 2011 году компания Boeing наладила выпуск солнечных панелей с КПД 39,2%. Крупнейшая солнечная электростанция в США занимает площадь в 13 квадратных километров и состоит из 1,7 миллиона фотоэлектрических модулей. За год она производит столько энергии, что может обеспечить ею весь мир на один час.

**Дополнительная информация:** Энергия, получаемая Землей от Солнца за 40 минут равна всей энергии, вырабатываемой на планете за год. Опытные образцы **фотоячеек** дают КПД около 16%. Существенно оптимизировав электронно-оптические свойства, инженеры довели коэффициент полезного действия до **34%**. Для хранения полученной энергии можно использовать не аккумуляторы (слишком дорого и неэффективно), а использовать полученный фототок для накачивания и сжатия воздуха в подземных хранилищах. Этот сильно сжатый воздух можно потом пропускать через турбины, которые будут генерировать электрическую энергию.

#### IV. Демонстрация кинофильма "Полупроводниковые диоды и стабилитроны",

#### V. §§ 73-74

1. При нагревании одного из концов полупроводникового стержня, изготовленного из германия с примесью индия, возникает разность потенциалов между нагретым и холодным концами. Почему? Почему горячий конец заряжается отрицательно, а холодный — положительно?

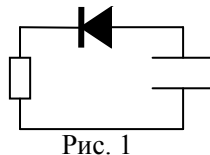


Рис. 1

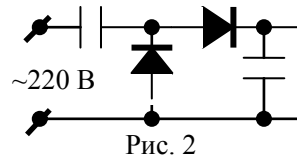
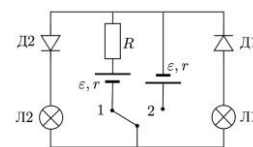


Рис. 2

2. В электрических цепях происходят флуктуации электронной плотности. Будет ли из-за этого заряжаться конденсатор в электрической цепи (Рис. 1)?

3. Схему на рисунке 2 называют "выпрямитель с удвоением напряжения". До какого напряжения заряжается каждый из конденсаторов?



4. Как работает схема на рисунке 3?

*Всего лишь маленький шаг одного человека, но какой огромный шаг всего человечества.*

*Неил Армстронг*

#### Урок 54/36.

#### ТРАНЗИСТОР. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

**Человеческий мозг - компьютер, потребляющий 20% всех калорий нашего организма!**

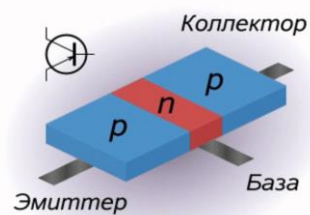
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с устройством и принципом действия полупроводникового транзистора и его применениями в технике. Дать представление о конкретных практических применениях полупроводников.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: транзистор на колодке, амперметр демонстрационный - 2 шт., выпрямитель ВС-24, блок питания "Практикум".

ПЛАН УРОКА:

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



II. Опрос фундаментальный: 1. Полупроводниковый диод. 2. Фотодиод.

Задачи:

1. Найти максимальное напряжение питания схемы с полупроводниковым диодом и резистором нагрузки 100 кОм, если обратный ток 150 мкА, а допустимое обратное напряжение на диоде не должно превышать 100 В?
2. Найти сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлениях тока, если при напряжении на диоде 0,5 В сила тока 5 мА, а при напряжении -10 В сила тока 0,1 мА соответственно.
3. На рисунке 1 приведена вольтамперная характеристика полупроводникового диода. Диод подключен последовательно с резистором сопротивлением 1 кОм к источнику тока с ЭДС 5 В, внутренним сопротивлением которого можно пренебречь. Найти силу тока в цепи и напряжение на диоде.
4. Конденсатор емкостью 20 мкФ зарядили до напряжения 1,5 В и подключили к светодиоиду. Найдите количество световой энергии, которую излучит светодиод к тому моменту, когда он погаснет. Считайте, что светодиод светится при напряжении на нем не менее 0,5 В и имеет КПД 40%.

5. Во сколько раз изменится мощность, выделяемая в цепи на рисунке 2, при перемене полярности на клеммах. Считать напряжение на клеммах постоянным, диоды идеальными, сопротивление резисторов  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = R_3 = 5$  Ом.

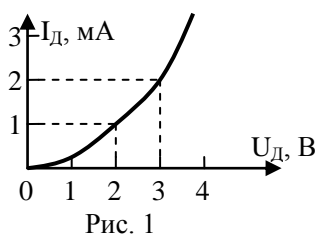


Рис. 1

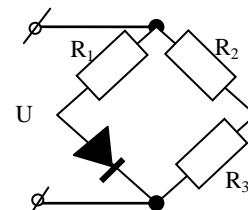
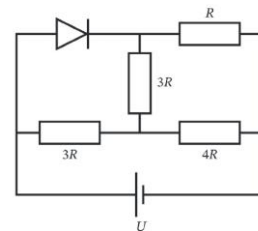


Рис. 2

6. Из четырех резисторов и идеального диода собрана электрическая цепь, схема которой показана на рисунке. Сопротивление  $R = 1$  кОм. Определите силу тока через диод, если напряжение на идеальном источнике тока  $U = 11$  В. 12 мА

7. Имеется полупроводниковый диод, в котором сила прямого тока связана с приложенным напряжением соотношением  $I = 0,01 \cdot U^2$  ( $I$  - в ампере  $U$  - в вольтах). Этот диод последовательно с резистором сопротивлением 100 Ом подключен к батарее с ЭДС 15,75 В, внутренним сопротивлением которой можно пренебречь. Найдите тепловую мощность,



выделяющуюся на нелинейном элементе.

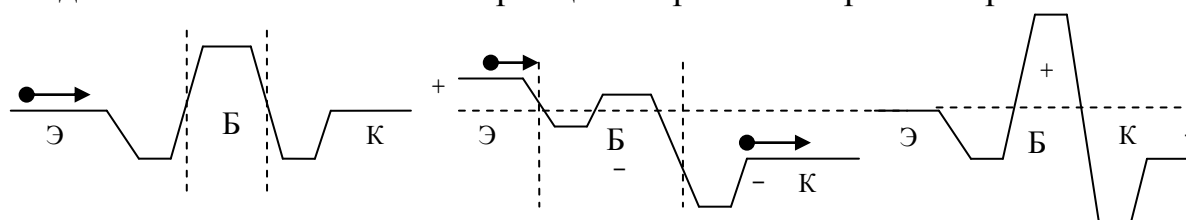
*Вопросы:*

1. Каковы могут быть причины резкого увеличения свободных носителей заряда в полупроводниках?
2. Может ли стекло проводить электрический ток?
3. Нарисуйте вольтамперную характеристику диода. Каковы ее особенности?
4. Почему обратный ток диода сильно зависит от температуры?
5. Почему светодиод в фонаре экономичнее лампочки накаливания?
6. Каковы основные преимущества светодиода перед лампочкой накаливания?
7. Почему светодиод подключают к сети через ограничительный резистор?
8. Располагая полупроводниковый диод рядом с радиоактивным материалом, получили атомную батарею, которая может вырабатывать электрическую энергию на протяжении многих лет. Так ли это?
9. КПД жуков-светляков 98%, светодиодов 40-50%, лампочки накаливания 4-5%, свечи 1%. Почему?
10. Германиевые диоды работают при температурах до  $60^{\circ}\text{C}$ , кремниевые – до  $100^{\circ}\text{C}$ . Почему?

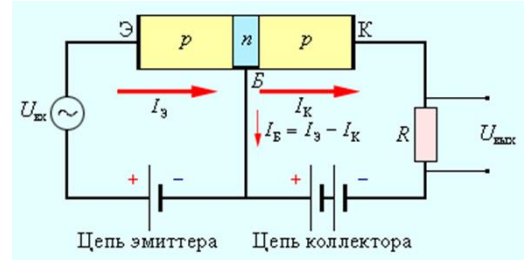
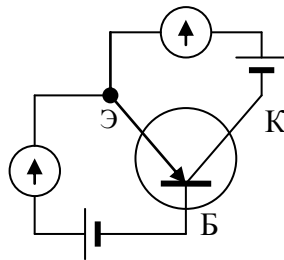
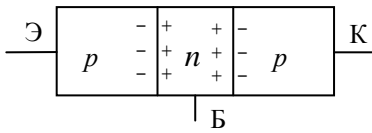
**III.** В 1949 году физики Шокли, Бардин и Брайттен сконструировали первый транзистор, за что получили Нобелевскую премию. Изобретённый по случайности компактный цилиндр размером чуть более сантиметра применялся в слуховых аппаратах, часах и телефонии, а затем полностью вытеснил электронные трубки несколько десятилетий спустя. Этому способствовало открытие и изучение свойств полупроводника – кремния.

**Транзистор типа р – n - р.** Изобретение транзистора (23 декабря 1947 года был изготовлен и продемонстрирован первый транзистор) повлекло за собой переход человечества на новую ступень – в постиндустриальное информационное общество.

Образование **р - n - переходов** на границе областей с разными типами проводимости. Объяснение принципа работы транзистора на основе



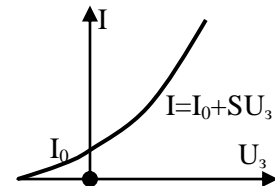
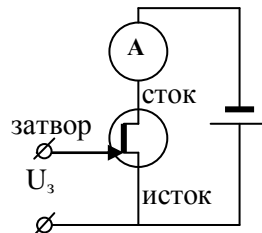
механической модели. Какие потенциалы по отношению к эмиттеру необходимо подать на коллектор и базу транзистора для того, чтобы в цепи эмиттер-коллектор мог существовать электрический ток? А если на базу транзистора подать положительный по отношению к эмиттеру потенциал? Демонстрация принципа работы транзистора (схема с общим эмиттером).



**Изменяя потенциал базы по отношению к эмиттеру можно управлять током в цепи эмиттер-коллектор и даже прекращать его совсем (транзистор закрыт).** Транзистор управляет проходящим через него током.

**Дополнительная информация:** Два источника питания транзистора включают так, что переход эмиттер-база смещен в прямом направлении, то есть, поле пограничного слоя компенсируется, а переход коллектор-база смещен в обратном направлении, его поле усиливается внешним. Ток двух источников питания будет частично протекать по базовому выводу, но основная масса носителей от их поставщика, эмиттера (из-за того, что область базы очень тонкая), будет попадать в «попутное» поле перехода коллектора-база. Отношение тока коллектора к току базы, например, равно 100. Это и есть статический коэффициент усиления. Отношение разностей токов коллектора к разности токов базы называют динамическим коэффициентом усиления транзистора по току, если приращения токов небольшие.

**Полевые транзисторы.** Усилитель на транзисторе. **МОП - технология.** В настоящее время изготовлен транзистор на одной молекуле бензола, прикрепленной к золотому контакту.



**Транзистор** - электронный прибор из полупроводникового материала, способный небольшим входным сигналом управлять значительным током в выходной цепи, что позволяет использовать его для усиления, генерирования, коммутации и преобразования электрических сигналов.

Транзистор отличается от триода прочностью, малым весом, миниатюрностью, большим КПД (не надо тратить энергию и время на подогрев катода). При высоких температурах транзистор теряет свои первоначальные свойства.

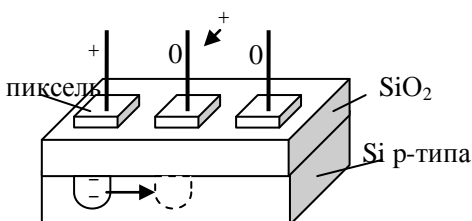
**Компьютеры.**

*Суперкомпьютеры сегодня имеют такое же значение для людей, делающих открытия, какое имели формулы для Ньютона.*

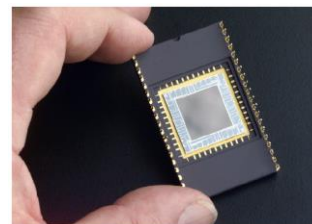
*Рон Бейли*


Изобретателя первого в мире микрочипа в эпоху транзисторов и электронных ламп (совсем недавно) со смехом выставили за порог компании ИВМ со словами: "Ну что мы с этим будем делать?!"

**Дополнительная информация.** ПЗС - матрица - светочувствительная полупроводниковая микросхема, с помощью которой световой сигнал преобразуется в электрический сигнал. Информация считывается методом зарядовой связи. На пластинке - чипе - размером 8 x 15 мм можно разместить матрицу, состоящую из пяти миллионов пикселей. Если на соседний пиксель подать +, а затем убрать его, то электроны из одной ловушки переместятся в следующую

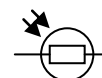


ловушку. В двумерных матрицах вся матрица сдвигается на один регистр вниз, а считывание информации производится с самого нижнего ряда. В плоских интегральных микросхемах (чипах) электроны имеют две степени свободы и обладают при комнатной температуре такой же средней кинетической энергией, какую они приобретают под действием напряжения 0,026 В. Управляющий сигнал транзистора должен быть заметно больше (порядка 0,5 – 1 В). При размерах транзистора порядка 50 нм, напряженность поля в нем достигает  $2 \cdot 10^7$  В/м (почти пробивное). Это ограничивает предел миниатюризации интегральных схем. Крупнейшая в мире матрица представляет собой диск диаметром 64 сантиметра, на котором расположены 189 специальных чипов с миллионами фотоприемников.



**Терморезисторы (термисторы) - приборы, в которых используется зависимость электрического сопротивления полупроводников от температуры.** Обозначение на электрических схемах: . Устройство и принцип действия полупроводникового термометра (демонстрация). Применение: измерение низких и высоких температур, переменный резистор с подогревом, температурный компенсатор.

**Фоторезистор - полупроводниковый прибор, действие которого основано, на способности полупроводников изменять свое электрическое сопротивление под действием света.** Обозначение на схемах:



**Фотореле** (демонстрация действия простейшего реле).

**Тензорезистор** - прибор, в котором используется зависимость сопротивления полупроводника от механического напряжения. У полупроводниковых тензорезисторов чувствительность в 100 раз выше, чем у металлических (увеличение подвижности).

**Триггер** (демонстрация). Логические схемы на полупроводниках (демонстрация).

**Полупроводник — материал, по удельной проводимости занимающий промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающийся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.**

**Применение полупроводников:**

- измерительная техника, компьютеры;
- аппаратура для всех видов связи и транспорта;
- автоматизация процессов в промышленности;
- устройства для научных исследований;
- ракетная техника;
- медицинская аппаратура.



**Дополнительный материал:** Преобразование солнечной энергии напрямую в электрическую энергию - это самый рациональный, прямой способ преобразования энергии Солнца. Солнечной энергии очень много. При падении света на панель часть фотонов отражается, а другая часть нагревает панель вместо возбуждения электронов. Тем самым теоретическое значение внешней квантовой эффективности (EQE) не может быть больше 100%, а КПД панелей ещё меньше. Всего солнечных элементов есть несколько десятков видов, принципиально различающихся по физическому принципу, по структуре сборки. Перовскитные солнечные элементы появились 10 лет назад. Было предложено использовать новый материал, новое вещество в качестве сенсibiliзирующего красителя в солнечных элементах, который бы поглощал свет более эффективно, чем классический краситель на основе рутения. Этим материалом был гибридный органо-неорганический перовскит.

Перовскитные солнечные элементы — это тип тонкопленочных солнечных элементов. Общая толщина устройства — тонкая пленка на носителе, например, на стекле, ее толщина составляет менее двух микрометров. Центральный слой — это слой перовскита, он поглощает свет. Над ним и под ним расположены тонкие слои электронно-дырочных проводящих слоев, которые селективно вытаскивают, экстрагируют из перовскитного слоя фотоиндуцированные носители зарядов, которые образовались под действием света.

#### IV. Задача:

1. К концам цепи, состоящей из последовательно включенного термистора и реостата сопротивлением 1 кОм, подано напряжение 20 В. При комнатной температуре сила тока в цепи была 5 мА. Когда термистор опустили в горячую воду, сила тока стала 10 мА. Во сколько раз изменилось сопротивление термистора?
2. Какую площадь должна иметь солнечная батарея мощностью 100 Вт с КПД 20%, если солнечная постоянная у поверхности Земли около 1000 Вт/м<sup>2</sup>?

#### V. § 75.

1. Изготовьте и исследуйте автоколебательную систему, содержащую термистор в качестве единственного нелинейного элемента.
2. Составить обобщающую таблицу "Электрический ток в полупроводниках", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
3. Заполнить таблицу:

Прибор	Обозначение	Характеристики	Назначение	Применения
Термистор				
Фоторезистор				
Тензодатчик				
Диод				
Фотодиод				
Светодиод				
Транзистор				

*Тысячи путей ведут к заблуждению, к истине - только один.*

*Ж.Ж. Руссо*

Урок 55/37.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

#### Почему светятся светодиоды?

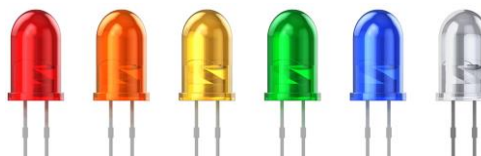
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Закрепить знания, полученные при изучении темы "Электрический ток в различных средах".

**ТИП УРОКА:** решение задач.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** микрокалькулятор.

**ПЛАН УРОКА:**

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

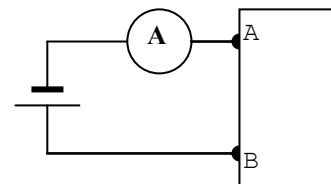


**II. Опрос фундаментальный:** 1. Транзистор. 2. Применение полупроводников.



### Задачи:

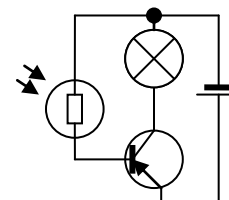
1. При подключении гальванического элемента с ЭДС 1,5 В к зажимам А и В амперметр показал ток 1 А. Когда полярность элемента изменили на противоположную, ток упал в два раза. Какая электрическая цепь находится внутри коробки?



2. Фоторезистор, который в темноте имеет сопротивление 25 кОм, включили последовательно с резистором сопротивлением 5 кОм. Когда фоторезистор осветили, сила тока в цепи увеличилась в 4 раза. Каким стало сопротивление фоторезистора?
3. В усилителе, собранном на транзисторе с общей базой, сила тока в цепи эмиттера равна 12 мА, в цепи базы 600 мкА. Найти силу тока в цепи коллектора.

### Вопросы:

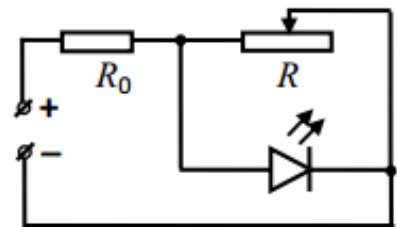
1. В цепь последовательно включена лампочка и термистор. Почему лампочка загорается не сразу, а через некоторое время после замыкания цепи?
2. Как можно проверить исправность транзистора с помощью омметра?
3. Объясните, каким образом транзистор можно использовать в качестве электронного ключа; в качестве усилителя?
4. Почему транзисторный приемник перестает работать в трескучий мороз?
5. Как зависит от температуры концентрация свободных носителей заряда в чистом полупроводнике; при наличии примеси?
6. Как зависит проводимость примесного полупроводника от его температуры (начертите примерный график)?
7. Чем отличается светодиод от фотодиода?
8. Как из двух термисторов сделать психрометр? Начертите принципиальную схему такого устройства.
9. Почему, несмотря на равенство концентрации электронов и дырок в чистом полупроводнике, электронный ток все же больше дырочного?
10. Почему миниатюризация полупроводниковых интегральных схем увеличивает тепловыделение на каждый ее квадратный сантиметр?
11. В электротехнике встречается много схем, в которых лампы накаливания включают последовательно, например, в сигнализации. В таких цепях при перегорании одной из ламп не горят и все остальные. Чтобы при неисправности одной лампы остальные продолжали гореть, параллельно им включают терморезистор. Объясните действие этой схемы.
12. Почему светодиодные лампы хорошо работают на морозе?
13. Как работает схема, изображенная на рисунке?
14. Почему гамма-сканер в аэропорту могут представлять опасность для флешки?



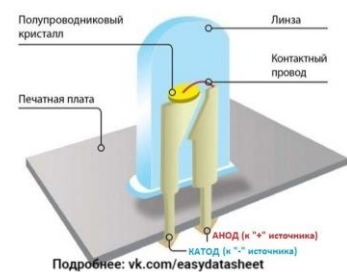
15. Какими способами можно изменить силу тока в электрической цепи?
16. Пустая флешка без файлов (без электронов в транзисторах) легче, чем забитая под завязку! Почему?

### III. Задачи:

1. Электролитическая ванна для получения алюминия рассчитана на 25000 А. Электролиз окиси алюминия производится при рабочем напряжении 4,8 В на ванне. Выход по току равен 86%. Сколько алюминия производится за сутки? Каков расход электроэнергии на 1 кг алюминия?
2. К вакуумному диоду приложено напряжение 300 В при анодном токе 10 мА. Определите количество теплоты, выделяемое на аноде за 10 минут работы лампы.
3. Под действием ионизатора в пространстве между обкладками плоского воздушного конденсатора, подключенного к источнику постоянного напряжения, образуется  $2,5 \cdot 10^8$  пар одновалентных ионов в секунду в  $1 \text{ см}^3$ . Определить ток насыщения, если площадь каждой обкладки конденсатора  $10 \text{ см}^2$ , а расстояние между ними 2 см.
4. Цепь питания светодиода собрана по схеме, показанной на рисунке. Яркость его свечения регулируется с помощью реостата. При сопротивлении реостата  $R_1 = 40 \text{ Ом}$  мощность излучения светодиода равна  $P_1 = 4,2 \text{ Вт}$ , при  $R_2 = 60 \text{ Ом}$  –  $P_2 = 5,4 \text{ Вт}$ . Какой будет мощность излучения светодиода при максимальном сопротивлении реостата, равном  $R_3 = 120 \text{ Ом}$ ?



Конструкция DIP-светодиода



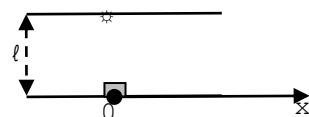
**Светодиоды** — полупроводниковые приборы с электронно-дырочным (p-n) переходом. Они создают оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. Излучаемый светодиодом свет лежит в узком диапазоне спектра, который во многом зависит от химического состава использованных полупроводников. Светодиод является низковольтным прибором. Для индикаторных видов напряжение питания должно составлять 2-4 В при токе до 50 мА. Подключать светодиод нужно с соблюдением полярности, иначе он выйдет из строя. Вывод от катода обычно короче анодного. Известно, что сила тока через светодиод равна нулю при напряжениях ниже порога открытия  $U_0$ , и может неограниченно возрастать при напряжении, равном этому порогу (выше не бывает), а КПД светодиода одинаков при любой мощности.

### IV. § 82.

1. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с электронными представлениями о строении вещества.
2. Заполните таблицу:

Термометрическое тело	Особенности	Недостатки и достоинства	Применения
Жидкость			
Газ			
Термопара			
Термистор			

3. На электрические свойства некоторых кристаллов могут влиять магнитные поля — и наоборот. Такие явления называют магнитоэлектрическими эффектами. Приведите примеры.
4. В плоских интегральных микросхемах (чипах) электроны имеют две степени свободы и обладают при комнатной температуре такой же средней кинетической энергией, какую они приобретают под действием напряжения 0,026 В. Эта величина называется «тепловым напряжением». Докажите это.
5. Робот движется по прямой, проходящей на расстоянии  $\ell = 1$  м от лампочки, и датчик освещенности всегда направлен «влево» по ходу движения (см. рисунок). При прохождении точки О (ближайшей к лампочке точки прямой) датчик показывает освещенность  $I_0$ . Какой формулой описывается зависимость показаний датчика от расстояния  $x$  (измеряемого в метрах) от робота до точки О?
6. В элементе Пельтье, как и в диоде, используются полупроводники с разным типом проводимости. Если через них пропустить ток, то один из них сильно нагревается, а другой охлаждается. Почему?



*Видеть легко, трудно предвидеть.*

*Франклин*

Урок 56/38.

## ОБОБЩАЮЩЕЕ ПОВТОРЕНИЕ ПО ТЕМЕ: «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ».

**Представьте, что вы едете на карбоновом автомобиле по карбоновой дороге, которую освещают карбоновые фонарные столбы.**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Систематизировать и обобщить знания учащихся о постоянно токе, научить их осуществлять классификацию веществ по их электрическим свойствам.

**ТИП УРОКА:** обобщающее повторение.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** источник тока "Практикум", миллиамперметр 0-50 мА, вольтметр 0-15 В, "черные ящики", соединительные провода, обобщающая таблица "Постоянный электрический ток", структурные элементы обобщающей таблицы "Электрический ток в различных средах".

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Самостоятельная работа
4. Подведение итогов
5. Задание на дом

**II. Обобщающее повторение по таблице "Постоянный электрический ток".**

**Вопросы:** 1. Что называют электрическим током? 2. Назовите основные величины, используемые для описания электрического тока. 3. Ответьте на вопросы:

- Сформулируйте основные законы постоянного тока.

- Для каких физических объектов характерно данное явление?
4. Назовите перечисленные ниже явления:
    - Распад молекул электролита на ионы под действием молекул растворителя;
    - Электрический ток в газе;
    - Изменение размеров ферромагнетика в переменном магнитном поле;
    - Изменение размеров кристалла в переменном электрическом поле;
    - Выделение на электродах веществ, входящих в состав электролита.
  5. В каких случаях не применяют закон Джоуля - Ленца?
    - Для определения потерь энергии в подводящих проводах;
    - При выборе проводов для электрических цепей;
    - Для расчета выделения энергии при ударе молнии;
    - При изготовлении нагревательных приборов;
    - Для расчета плавких предохранителей.
  6. Зарисуйте схему экспериментальной установки для обнаружения и изучения электрического тока в среде.
  7. Через два медных проводника, соединенных последовательно, проходит ток. Сравнить скорости упорядоченного движения электронов, если диаметр второго проводника в 2 раза меньше, чем первого.
  8. Какого типа газовый разряд возникает: а) при электросварке; б) в лампе дневного света; в) в свече ДВС; г) в неоновой лампе; д) в электрофильтрах?
  4. Жидкий кислород налипают на магнит и выходит из сосуда Дьюара, притягиваемый магнитом, потому что в молекуле кислорода есть два неспаренных электрона. Так ли это?
  5. Каков механизм поглощения света в полупроводниках?
  6. Почему именно электроны проводимости отвечают за поглощение света в металлах?
  7. К массивной металлической детали нужно приварить тонкостенную деталь. Какую из деталей следует соединить с плюсом, а какую - с минусом дугового электросварочного генератора?
  8. В электронном микроскопе для фокусировки электронного пучка используется магнитная линза. Простейшая магнитная линза представляет собой катушку с током. Рассеянный пучок электронов фокусируется, проходя через магнитное поле катушки. Как это объяснить?
  9. Когда мы можем заметить силу электромагнетизма?
  10. Почему сильный магнит притягивает фрагменты кожи, на которые нанесена татуировка черной или сине-черной краской?
  11. Поясните, как датчики Холла применяются:
    - в системах электронного зажигания двигателей внутреннего сгорания;

- в приводах дисководов и двигателях вентиляторов компьютерной техники;
- в магнитометрах смартфонов в качестве физической основы работы электронного компаса;
- в электроизмерительных приборах (токоизмерительные клещи, пробники тока) для бесконтактного измерения силы тока;
- на основе эффекта Холла работают некоторые виды ионных реактивных двигателей.

*Искусным экспериментаторам еще, несомненно, предстоит открыть совершенно неожиданные и новые объекты. Природа не могла так быстро истощить запас своих хитростей.*

*Ш. Л. Глэшоу, Очарование физики*

Основные особенности протекания электрического тока в металлах, электролитах, газах, полупроводниках, вакууме, диэлектриках. Носители свободного заряда, причины их возникновения, зависимость сопротивления от температуры, вольтамперная характеристика, практические применения. Можно ли по виду вольтамперной характеристики, а также по характеру зависимости сопротивления от температуры, осуществить классификацию веществ по их электрическим свойствам? Как это сделать?

Среда	Носители заряда	Причина образования	Зависимость $R(t)$	Вольт-амперная характеристика	Применения
Металл					
Электролит					
Газ					
Вакуум					
Полупроводник					
Диэлектрик					

**III.** Снимая вольтамперную характеристику "черного ящика" в прямом и обратном направлении и вычерчивая ее в масштабе в тетради, ученик должен установить электрические свойства среды и обоснованно ответить на вопрос о содержимом "черного ящика". Выполнение работы.

**IV.** Вскрытие "черных ящиков" преподавателем. Обсуждение вольтамперных характеристик. Подведение итогов. Выводы учащихся. Оценки.

**Дополнительная информация:** Может ли кристалл поглощать свет, но так, чтобы фотопроводимость не возникала, несмотря на наличие электронов и дырок? Действительно, электрон и дырка являются зарядами противоположного знака, поэтому они притягиваются друг к другу и могут образовать связанное состояние. Такое связанное состояние электрона и дырки называют экситоном, уровни энергии которого квантуются, поэтому он способен поглощать свет. Экситоны — искусственные атомы в кристаллах.

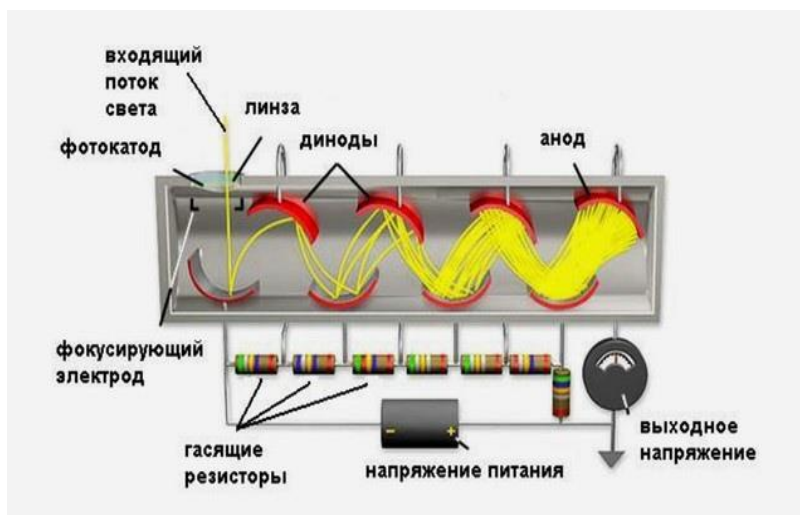
**Дополнительная информация:** Почему копировальный аппарат может делать копии? В совершенно темной комнате на поверхности фоторецептора (полупроводника) накапливается электрический заряд - равномерно распределено статическое электричество. Свет падает туда, где нет символов. Те части, куда попал свет, становятся проводниками, и электрический заряд уйдёт, а в частях, оставшихся темными, останется. На этом этапе разбрызгивается тонер (мелкий чёрный порошок, главным образом состоящий из углерода), который благодаря электростатическому индукционному току переносится в те места, где есть электрический заряд. Затем к фоторецептору прижимают лист бумаги, и тонер окрашивает чёрным только те части, куда не попадал свет. Нагревание фиксирует тонер.

*Именно лучшую часть прекрасного нельзя передать на картине.*

*Френсис Бэкон*

**Дополнительная информация:** Фотоумножитель состоит из фотокатода, динодов и анода.

Фотокатод — тонкое напыление светочувствительного металла на стеклянном баллоне. Когда туда прилетает фотон света, он выбивает из катода электрон, который летит к диноду. Динод — электрод, из которого летящий электрон выбивает еще несколько электронов, а анод — конечная точка, куда прилетают электроны, и образуют на нем импульс. ФЭУ содержит несколько поставленных друг за другом динодов, для его работы требуется несколько тысяч вольт.



**Дополнительная информация.** Кабель воздушной линии электропередачи состоит из сердечника и окружающих его слоев проводов. Сердечник обычно изготавливают из стали, а окружающие слои из алюминия. Количество проводов сердечника и окружающих слоев кабеля указывают в виде дроби, например, структура кабеля, изображенного на рисунке, обозначается 1/18. Этот кабель изготовлен из проволок диаметром 2,2 мм. Определите сопротивление 1 км его длины.



Количество проволок данного диаметра в каждом следующем слое, окружающем сердечник в кабеле воздушной линии электропередачи, больше на шесть, чем в предыдущем слое. С чем связана такая закономерность?

**Дополнительная информация.** Суть электролитно-плазменной обработки заключается в том, что производится обработка металлических деталей в водных растворах солей. При обработке детали она подключается к положительному полюсу источника тока, а ванна с электролитом, в которую погружена обрабатываемая деталь, к отрицательному полюсу. При повышении напряжения до 200 В вокруг детали наблюдается возникновение стабильной пароплазменной оболочки. Процесс представляет собой разложение воды на гремучую смесь, которая периодически пробивается разрядом и взрывается, а полость, которую заполняла газовая смесь, схлопывается, электролит снова касается электрода и всё повторяется. Сам процесс обработки происходит весьма интенсивно ввиду воздействия на деталь химически активных веществ окружающей среды и электрических разрядов.

**Дополнительная информация.** Долгое время считалось, что сверхпроводимость и магнетизм — антагонисты: сильное магнитное поле разрушает сверхпроводящее состояние, а сверхпроводники «выталкивают» магнитные силовые линии. Именно поэтому сверхпроводящие предметы могут левитировать в магнитном поле. Теперь же физики всего мира активно исследуют так называемые магнитные сверхпроводники, в которых одновременно сосуществуют сверхпроводимость и ферромагнетизм. Приведите примеры.

**Дополнительная информация.** Работа прибора фМРТ (функциональной магнитно-резонансной томографии), основана на том, что магнитные свойства насыщенной и не насыщенной кислородом крови значительно различаются. Когда кровь насыщена кислородом, она является диамагнетиком - то есть отталкивается внешним магнитным полем. Обескислороженная кровь, наоборот, притягивается внешним магнитным полем.



Благодаря этому радиосигнал от них очень разный. Еще в конце XIX века было известно, что мозговая активность повышает уровень кислорода в крови в активных зонах. Это позволяет выявлять активные зоны мозга с помощью аппарата фМРТ. Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) была разработана в 1990-х годах.

*Воображение важнее, чем знания. Знания ограничены, тогда как воображение охватывает целый мир, стимулируя прогресс, порождая эволюцию.*

*А. Эйнштейн*

*Вопрос:* Существует три типа физиков: «строители машин» (те, кто строит ускорители частиц, благодаря которым возможно проведение экспериментов), экспериментаторы (которые планируют и проводят эксперименты) и теоретики (разрабатывающие теорию с целью объяснения экспериментов). К какому типу вы бы хотели принадлежать?

**V.** Подготовка к выполнению контрольной работы.

1) Что здесь заведомая неправда?

- Температура разряда молнии может превышать  $30000^{\circ}\text{C}$ , что в 6 раз превышает температуру поверхности Солнца.
- В среднем длина разряда составляет 9,5 км.
- Молнии часто бьют в одно место два и более раз.
- Разряд всегда идёт по пути наименьшего сопротивления.
- В России чаще всего разряды бьют в дубы, а реже всего – в буки.
- Энергии, которая содержится в одном среднем разряде молнии, было бы достаточно для того, чтобы обеспечить электричеством город с 10-миллионным населением на протяжении 1 года.
- Из всех населённых стран молнии реже всего наблюдаются в Египте - раз в несколько столетий.

*Каждый стоит столько, сколько стоит то, о чем он хлопочет.*

*Марк Аврелий*

Урок 57/39.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7

*Самый страшный грех — это скучать!* Лев Ландау

*Правильная теория ставит перед экспериментаторами новые задачи, не препятствуя развитию самой теории.*

*Джеймс Клерк Максвелл*

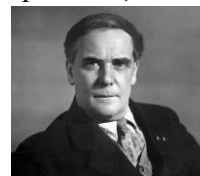
*Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов.*

*Адриан Гельвеций*

*Время от времени следует производить самые дикие эксперименты. Из них почти никогда ничего не выходит, но если они удаются, то результат бывает потрясающим.*

*Эразм Дарвин*

**Пётр Леонидович Капица**, (1894–1984), инженер, физик, академик Академии наук СССР, лауреат Нобелевской премии по физике 1978 г. Несколько ярких высказываний Пётра Леонидовича Капицы!



- Чужими руками хорошей работы не сделаешь.
- Прежде было распространено мнение, что дисциплина нужна для того, чтобы заставить человека работать. Это мнение неправильно, и его надо искоренять. Если это так, то такого человека надо гнать. Дисциплина нужна, чтобы люди согласованно работали.
- Конечно, надо уметь преодолевать трудности, но надо уметь и не воздвигать их перед собой...
- В основе творческого труда всегда лежит чувство протеста.
- Человек молод, когда он еще не боится делать глупости.
- Деньги должны оборачиваться. Чем быстрее тратишь, тем больше получаешь.
- На словах только в любви объясняются, а о делах следует писать.

- Там, где кончаются сомнения, кончается наука.
- Главный признак таланта — это когда человек знает, чего он хочет.
- Наука должна быть веселая, увлекательная и простая. Таковыми же должны быть и ученые.
- Чем фундаментальнее закономерность, тем проще ее можно сформулировать.
- Трактовка эксперимента — это дело вкуса.
- Хорош тот эксперимент, который не согласуется с теорией.
- Наука не нуждается в раскрашивании беллетристической. Она интересна сама по себе.
- Только противоречие стимулирует развитие науки. Его надо подчёркивать, а не замазывать.
- Умение ограничить свободу в стране есть вопрос хороших манер правительства.
- Если есть интуиция, значит, есть и закономерность.
- Ошибки не есть ещё лженаука. Лженаука — это непризнание ошибок.
- Тему работы надо менять каждые восемь лет, так как за это время полностью меняются клетки тела и крови — ты уже другой человек.
- Коллективное творчество — это чепуха, но творчество в коллективе — это единственный вид настоящего и плодотворного творчества.
- Когда теория совпадает с экспериментом, это уже не открытие, а закрытие.
- Обман — есть необходимый элемент демократического строя, так как прогрессивное начало сосредоточено в небольшом количестве людей, и при демократическом управлении согласно желаниям большинства, был бы остановлен прогресс.
- Руководить — это значит не мешать хорошим людям работать.
- Гении рождаются эпохой, а не гении рожают эпоху.
- Есть два способа ограничения свободы человека: путём насилия и путём воспитания в нём условных рефлексов.
- Средства массовой информации не менее опасны, чем средства массового уничтожения.
- Вся история человечества состоит из ошибок, и, несмотря на это, всякое правительство считает себя безгрешным. Это закон природы, и ему надо подчиняться.
- Чтобы быть счастливым, человек должен воображать себя свободным.
- Свобода творчества — свобода делать ошибки.
- В жизни человек с выдержкой всегда побеждает. А выдерживать надо не полчаса, а годами.
- Жизнь подобна карточной игре, в которую ты играешь, не зная правил.

В 1921 году Капица приехал в Кембридж к Резерфорду. Тот отказался зачислить его в свою лабораторию: штат уже укомплектован.

— *А скажите, пожалуйста, профессор, какова точность ваших работ?* — спросил Капица

— *Погрешность приблизительно 10 процентов.*

— *Стало быть, вы можете допустить такую же погрешность и в комплектовании штата.*

Капица был принят.

Вопрос профессора:

*-Длина квадрата равна 2 м. Чему равна его площадь?*

Ответ студента:

*-А с какой точностью измерена длина квадрата?*

*«Великие души переносят страдания молча».*

*Фридрих Шиллер*

Как-то во время сессии Академии наук лауреат Нобелевской премии академик Николай Николаевич Семенов беседовал с другим лауреатом Нобелевской премии, крупнейшим физиком, академиком Петром Леониловичем Капицей. К ним подошел известный физиолог

и темпераментно начал рассказывать об электрических явлениях в клетке. Когда он отошел, Н.Н. Семенов сказал П.Л. Капице: «Он думает, что знает, что такое электрический ток». На что П.Л. Капица ответил: «Более того, он думает, что мы знаем, что такое электрический ток».

*Три стадии признания научной истины: первая – «это абсурд»,  
вторая – «в этом что-то есть», третья – «это общеизвестно».*

*Эрнест Резерфорд*

<b>ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ</b>	<b>ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ</b>
1. Новые магнитные и родственные им материалы: синтез и физические свойства.	1. Элементарные возбуждения и волновые процессы в магнетиках.
2. Процессы намагничивания и перемагничивания.	2. Магнитные фазовые переходы и критические явления.
3. Магнетизм и доменная структура.	3. Магнитные наноструктуры.
4. Динамические процессы в магнетиках.	4. Магнитооптика и фотомагнетизм.
5. Магнитные пленки и многослойные структуры.	5. Магнитоакустика.
6. Магнитной томографии в медицине.	6. Биомагнетизм.
7. Магнитное поле Земли и жизнь на планете.	7. Измерение индукции магнитного поля Земли.
8. Магнитоэлектрические явления.	8. Явление сверхпроводимости и сверхпроводящие материалы.
9. Когда у нас будут смартфоны и ноутбуки, которые работают неделю без подзарядки?	9. Люминесцентные и энергосберегающие лампы.
	10. Когда у нас будут электромобили - конкуренты ДВС по дальности хода?

*Мысль нуждается в упорядочении.*

*Эмманюэль Мунье*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.Я. Зорина. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. – М.: Педагогика, 1978.
2. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
3. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
4. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
5. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.
6. И.Е. Иродов, И.В. Савельев, О.И. Замша. Сборник задач по общей физике. – М.: Наука, 1975.
7. Сборник задач по физике, под общей редакцией М.С. Цедрика, Минск, Вышэйшая школа, 1976 г.
8. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир, 1989.
9. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
10. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
11. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
12. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
13. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.

14. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. Кн.2. Электродинамика. Оптика. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
15. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
16. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: Наука, 1996. — Т. III. Электричество. Часть вторая. — 320 с. — 5000 экз. — ISBN 5- 02-014054-6, ISBN 5-02-015090-8.
17. А.А. Найдин. Системное знание на уроках физики в школе. Новокузнецк, МАОУ ДПО ИПК 2010 г., ISBN 978-5-7291-0489-5.
18. Интернет ресурсы: <http://www.physbook.ru/>.
19. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
20. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. <https://naidin.ru>