**Занятие № 4 «Фундаментальные опыты в электродинамике»**

**Оперативные цели**: ученик должен знать смысл понятий, вещество, поле, взаимодействие, электрическое поле, магнитное поле, электрический заряд и интерпретировать в устной речи;

Должен знать и понимать смысл фундаментальных опытов в электродинамике: эксперимент Кулона, опыты Эрстеда, Ампера и др.. на языке наблюдаемых действий (формировать в устной речи)

Описывать и объяснять смысл физических законов и явлений в устной речи: электризация тел, электромагнитная индукция, тлеющий заряд, действие магнитного поля на ток.

Знать (на уровне воспроизведения) имена ученых, поставивших изученные фундаментальные опыты.

Должен самостоятельно изучать и работать со средствами дополнительной литературы.

Должен самостоятельно работать со средствами демонстрации и объяснять происходящие физические явления в устной речи

**План занятия:**

1. **Теоретическая часть**
* Особенности электродинамики как раздела физической науки
* Фундаментальные опыты в электродинамике
* Эксперимент Ш. Кулона с крутильными весами. Закон Кулона
* Опыты Х.К. Эрстеда. Магнитное действие тока.
* Опыты А.М. Ампера. Магнитное взаимодействие токов.
* Опыты Фарадея и Генри по электромагнитной индукции.
1. **Практическая часть**
* Демонстрации
* Электризация тел
* Тлеющий разряд
* Демонстрация явления электромагнитной индукции
* Лабораторная работа
* Наблюдение действия магнитного поля на ток

*Теоретическая часть*

**Особенности электродинамики как раздела физической науки**

**Учитель:** Для выявления особенностей электродинамики как раздела физической науки следует рассмотреть историю развития электро­динамики, показать борьбу физических идей при смене механической картины мира электродинамической картиной мира.

Принципиальным при рассмотрении особенностей электродинамики является то, что электромагнитные взаимодействия спе­цифичны и не сводимы к механическим.

Классическая механика исходила из принципа дальнодействия и представления о мгновенной передаче этого действия. В случае же электромагнитного взаимодействия, как показало развитие науки, необходимо исходить из принципа близкодействия, при этом учи­тывать конечную скорость передачи действия. Если бы справедлив был принцип дальнодействия, то в электродинамике основным понятием был бы электрический заряд q, а поле являлось всего лишь вспомогательным понятием. В действительности без понятия электромагнитного поля (совместно с понятием электрического заряда q)нет электродинамики. В решении этих важнейших для электродинамики вопросов существенную роль сыграли работы М. Фарадея, а определяющую — работы Дж. К. Максвелла.

*В электродинамике рассматривают следующие силы*:

1. Сила, характеризующая взаимодействие покоящихся зарядов:   $F=\frac{q\_{1}q\_{2}}{4πε\_{0}}$(для вакуума);

она носит центральный характер, зависит от расстояния между взаимодействующими зарядами и не зависит от скорости.

2. Сила взаимодействия тока и магнитной стрелки  (опыт Эрстеда); она зависит не только от расстояния между взаимодействующими объектами, но и от силы тока, которая, в свою очередь, зависит от скорости движения заряженных частиц заряда.

3. Сила, характеризующая взаимодействие двух параллельны проводников с токами; она не является центральной. Эта сила пропорциональна силе тока в проводниках (а значит, заряду и  скорости его движения) и обратно пропорциональна расстоянии между ними.

4. Сила, действующая на движущийся заряд со стороны маг­нитного поля. Она зависит от скорости движения заряда, но не является центральной.

Во всех случаях говорится о скорости частиц относительно какой-то системы отсчета, именно это и учитывают в электродина­мике. В электродинамике рассматривают силы, которые зависят не только от расстояний, но и от скорости движения зарядов в выбранной системе отсчета. Подобные силы в механике Ньютона не рассматривали.

Длительное время электрические и магнитные явления изуча­лись в историческом порядке, при этом главное внимание обращалось на токи и их взаимодействие, на заряды и их взаимодейст­вие, но не подчеркивалась специфика этих явлений и взаимодей­ствий. Постепенно сложилось учение об электричестве и магне­тизме. По современным представлениям, нет отдельных учений об электричестве и магнетизме, а есть электродинамика, объеди­нившая их, причем не путем простого суммирования, а исходя из принципиально важных для этих явлений подходов. Она не только описывает эти явления, но и дает им современное объяснение. Поэтому при изучении основ электродинамики не следует посте­пенно накапливать факты, а потом, в конце, давать им объяснение, надо принципиальные особенности электродинамики пока­зывать как можно раньше, из них все время исходить, всюду учи­тывать.

Эти особенности в основном сводятся к тому, что электромаг­нитные взаимодействия специфичны, для их объяснения следует исходить из принципа близкодействия и учитывать конечную ско­рость передачи действия.

**Фундаментальные опыты в электродинамике**

**Учитель:** на становление и развитие электродинамики как физической науки, существенное влияние оказали многие ученые - физики 17-20 вв. Опыты Кулона по электростатическому взаимодействию. Опыты Рикке, Иоффе, Милликена, Мандельштама, Папалекси, Толмена, Стюарта, лежащие в основе электронной теории проводимости. Опыты Ома, позволившие установить закон постоянного тока. Различие между ролью фундаментальных опытов в науке и в процессе изучения основ наук.

Опыты Ампера, Эрстеда и Фарадея по электромагнетизму. Опыты Герца по излучению и приёму электромагнитных волн. И это далеко не все!

Давайте более подробно остановимся на некоторых фундаментальных опытах электродинамики.

**Учитель**: электродинамика тесно связано с именем Шарля Кулона. Именно он поставил первый в истории прецезионный эксперимент по измерению силы притяжения между двумя заряженными шарами.

**Ученик:** *Эксперимент Ш. Кулона с крутильными весами. Закон Кулона****.***

Как, наверное, знает сегодня любой старшеклассник, закон Кулона внешне выглядит аналогично [закону всемирного тяготения](http://novmysl.finam.ru/Mechanics/AstroGravity.html): сила взаимодействия двух покоящихся точечных зарядов пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Тем не менее, чтобы установить эту закономерность на опыте, необходимо было придерживаться совсем другой экспериментальной стратегии, нежели в [опыте Кавендиша по измерению константы всемирного тяготения](http://novmysl.finam.ru/Mechanics/Cavendish.html) (более того, опыт Кавендиша был проведен через 10 лет после опыта Кулона).

Действительно, заряд, в отличие от массы, может иметь два разных знака — более того, каждое тело состоит из маленьких частиц, имеющих противоположные заряды — электронов и ядер атомов. Этим объясняется способность тел *поляризоваться* под действием внешнего электрического поля. Электростатическая поляризация тела состоит в том, что отрицательные заряды внутри тела в среднем сдвигаются относительно положительных; тело при этом, как говорят, приобретает ненулевой электрический дипольный момент. В проводниках заряды могут разделяться на макроскопические расстояния, в диэлектриках же поляризация происходит на масштабах порядка атомных: центр электронной оболочки перестает совпадать с ядром атома.

Свойством тел поляризоваться во внешнем электрическом поле объясняется способность заряженных тел притягивать незаряженные, например, незаряженные волосы притягиваются к экрану электронно-лучевой трубки монитора, наэлектризованному электронными ударами. По этой причине измерить напрямую силу кулоновского взаимодействия между двумя заряженными шариками оказывается не такой простой задачей — в реальности шарики будут притягиваться ко всем частям экспериментальной установки. Таким образом, в опыте Кулона одна из основных целей — это минимизировать электростатическое взаимодействие шариков не друг с другом, приблизить эксперимент к модели, которую описывает закон Кулона (два точечных заряда в вакууме). Напомним, что перед Кавендишем стояла совсем другая задача — ему требовалось выделить чрезвычайно слабое гравитационное притяжение на фоне других факторов, *имеющих, однако, не гравитационный характер*.

Итак, перейдем к опыту, осуществленному Шарлем Кулоном (1736–1806) в 1784 году (см. рис.). Это изобретенные им крутильные весы, которые через 10 лет использовал в своем опыте Г. Кавендиш. Коромысло *1* было закреплено на шелковой нити*2* в стеклянном сосуде *3*, из которого был откачан воздух.  На коромысле крепился металлический шарик *4*, а на другом конце — противовес *5*. Верхний конец нити крепился с помощью специального зажима к стрелке крутильного микрометра *6* (см. схему справа вверху). В сосуд через специальное отверстие можно было помещать второй шарик *7*, и тогда из-за взаимодействия шариков нить закручивалась, и силу взаимодействия можно было измерить по повороту стрелки микрометра. Шарики с определенным зарядом Кулон готовил, замыкая два из них через металлическую булавочную головку *8*: при этом электрический заряд шариков делился пополам. Это, при достаточной аккуратности, позволяло получать шарики с различным отношением зарядов. С помощью своей установки Ш. Кулон измерял силы до Н, при этом убедившись, что сила отталкивания шариков обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и прямо пропорциональна их зарядам. В современном виде в системе единиц СГС этот закон имеет вид:



где  — величины точечных зарядов,  — вектор от первого заряда ко второму. В формуле выше записана сила, действующая на заряд 2 со стороны заряда 1, поэтому знак «плюс» перед всем выражением соответствует отталкиванию одноименных зарядов (ср. с законом всемирного тяготения).

Кулон также установил, что по отношению к электростатическому взаимодействию справедлив принцип суперпозиции: сила взаимодействия шарика 1 с набором шариков 2…*n* равна векторной сумме сил взаимодействия его с каждым из этих шариков, описывающихся законом Кулона. Этот факт в современной физике крайне важен и связан с *линейностью* электромагнитного поля при заданных внешних зарядах и токах.

Необходимо отметить, что крутильные весы действительно являются прибором для крайне точных измерений малых сил. Это связано с тем, что при достаточно большой длине нити  и достаточно малой ее толщине  относительная деформация вещества нити при закручивании последней на угол  составляет  даже при больших углах поворота. Это позволяет сделать очень чувствительные крутильные весы с большими углами поворота нити, оставаясь при этом в линейной области (описываемой законом Гука), в которой момент упругой крутильной деформации нити пропорционален .

**Учитель:** Компьютерная программа моделирует установку Кулона с крутильными весами и позволяет провести ряд экспериментов по теме «Взаимодействие точечных заряженных тел. Закон Кулона».

<http://sc.tverobr.ru/dlrstore/b6151a23-6afe-c3ec-64f8-e768d7515f52/00144676929354683.htm>

**Учитель:** не менее значительный вклад внес в развитие науки Ханс Кристиан Эрстед

**Ученик:** *Опыты Х.К. Эрстеда. Магнитное действие тока.*

Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851) был, пожалуй, первым, кто стал раскрывать термин «электромагнетизм» в физике, т.е. изучать взаимосвязь электрических и магнитных явлений. Действительно, электростатическое взаимодействие и взаимодействие постоянных магнитов были известны с глубокой древности. Эрстед же в 1820 г. обнаружил, что протекающий по линейному проводнику ток отклоняет магнитную стрелку, находящуюся вблизи него. Если отключить этот проводник от источника питания и расположить по линии север–юг, то стрелка, расположенная рядом с проводником, естественно, будет параллельна ему (см. рис. справа, (а) ). Если же по проводнику пустить ток (см. рис., (б)) , то стрелка повернется на 90 градусов и встанет перпендикулярно ему. Такое же поведение стрелки вызывает приближение ее к постоянному магниту, поэтому естественно сделать вывод, что провод с током также является магнитом, а стрелка выстраивается вдоль его силовых линий.

Чтобы подтвердить фундаментальность сделанного открытия, Эрстед использовал проводники из разных металлов, разной толщины и длины, располагал магнитную стрелку под и над проводником с током и на разных расстояниях от него, а также изменял направление и абсолютную величину тока. В итоге он пришел к выводу, что сила магнитного действия тока ослабевает с увеличением расстояния, не зависит от природы проводника (а только от силы тока) и меняет свое направление вместе с изменением направления тока. Также Эрстед отметил, что она имеет «круговой характер» (силовые линии опоясывают проводник). Интересно, что первоначально, заметив отклонение магнитной стрелки из-за текущего тока, Эрстед предположил, что «магнитное действие» излучается проводником с током, как тепловая энергия. Однако дальнейшие исследования показали достаточно нетривиальный характер этого взаимодействия.

Эрстед явился первым, кто пробросил мост между электрическими и магнитными явлениями, пока наполовину качественно. В том же 1820 г., когда Эрстед обнаружил магнитное действие тока, Доминик Араго (1786–1853) обнаружил, что проволочная спираль, по которой течет ток, ведет себя как магнит и способна намагничивать железные опилки. Работу Эрстеда продолжил [А.-М. Ампер](http://novmysl.finam.ru/Electrodynamics/Ampere.html), который изучил взаимодействие двух токов и предложил математическую формулу для такого, магнитостатического взаимодействия.

**Учитель:** Ампер продолжил исследования Эрстеда, подойдя к задаче количественно

**Ученик:** *Опыты А.-М. Ампера. Магнитное взаимодействие токов.*

Андре-Мари Ампер (1775–1836) задался вопросом, естественно вытекавшим из [исследований Х.К. Эрстеда](http://novmysl.finam.ru/Electrodynamics/Orsted.html): если проводник с током отклоняет магнитную стрелку, т.е. ведет себя как магнит, то будет ли он отклонять другой проводник с током? Действительно, магнитная стрелка тоже есть не что иное, как легкий магнит, и ее роль мог бы выполнять легкий и подвижный проводник с током. Между прочим, многие его современники сочли такое обобщение очевидным, когда Ампер заявил о своем открытии — однако, например, железный ключ тоже вызывает отклонение магнитной стрелки, но два таких ключа не притягиваются друг к другу.

Ампер поставил цель найти количественное выражение для силы взаимодействия *элементов тока*. Элементом тока называется малый кусочек  контура из тонкого провода, по которому течет ток . В отличие от всего контура, элемент тока не обладает замкнутостью, однако Ампер предполагал, что взаимодействие проводников с током произвольной формы складывается из попарных взаимодействий элементов тока, из которых они состоят. Такой же взгляд на это взаимодействие принят и сейчас.

Подвижный контур *abcd*, которым в своих опытах Ампер заменил магнитную стрелку Эрстеда, изображен на рисунке справа. Он подвешен на контактах *x* и *y* на металлических кронштейнах, к которым подводится ток, и при этом может свободно вращаться относительно вертикальной оси.

Изучая взаимодействие токов с постоянными магнитами и друг с другом, Ампер пришел к следующим выводам:

1. взаимодействие токов существует только при замкнутых цепях, т.е. когда по обоим контурам течет ток;
2. параллельные проводники притягиваются, если токи в них текут в одну сторону, и отталкиваются, если в противоположные (это, в некотором смысле слова, противоположно электростатическому притяжению разноименных и отталкиванию одноименных зарядов);
3. сила взаимодействия двух *длинных* параллельных проводников с током пропорциональна силам тока в них и обратно пропорциональна расстоянию между ними;
4. сила магнитного взаимодействия не отличается в воздухе и в пустоте, в то время как сила кулоновского взаимодействия отличается в этих двух случаях.

В том, что сила притяжения длинных параллельных проводников с током обратно пропорциональна расстоянию между ними, Ампер убедился экспериментально с помощью установки, изображенной на рисунке

**Ученик**: *Опыты Фарадея и Генри по электромагнитной индукции.
Закон электромагнитной индукции.*

После открытия [Эрстедом](http://novmysl.finam.ru/Electrodynamics/Orsted.html) и [Ампером](http://novmysl.finam.ru/Electrodynamics/Ampere.html) магнитного действия тока физиков, естественно, стал интересовать вопрос о возможности обратного процесса — создания электрического тока с использованием магнита.

Первые опыты, нацеленные на обнаружение такого явления, проводил как сам Майкл Фарадей (1791–1867), так и другие физики, например, Д. Колладон, — однако они не дали положительного результата. Изначально Фарадей предполагал, что ток, будучи жидкостью, протекая в одном проводнике, должен вызывать протекание тока в другой замкнутой цепи, расположенной недалеко от первой. Однако использование неподвижных друг относительно друга проводников и постоянного тока не позволяло обнаружить явление электромагнитной индукции.

Лишь после шести лет поисков этого явления, в 1831 г., Фарадей сделал предположение о том, что оно должно иметь место при изменении тока, текущего через один из проводников. Более того, он предположил, что в первоначальных его опытах, в которых использовались два параллельных линейных проводника (один, подключенный к источнику питания, другой — к гальванометру) эффект должен был быть очень слабым, хотя и имеющим место в моменты включения и выключения питания. Достигнуть успеха в подтверждении сделанного предположения ему помогла катушка индуктивности, изобретенная Джозефом Генри (1797–1878).

Генри за несколько лет до Фарадея поставил опыт, схема которого изображена на рисунке справа, однако он не осознал важности сделанного открытия, не сообщил никому о полученных результатах и не опубликовал их. Генри писал, что обнаружил способ усиления подъемной силы электромагнита до тонны, состоявший в использовании катушек с большим числом витков провода. Но с помощью своего изобретения он также открыл явления *самоиндукции* и *взаимной индукции*.

Тем не менее, считается, что Генри первым открыл явление самоиндукции: если подключить катушку индуктивности с большим числом витков к источнику напряжения, то ток в катушке будет возрастать постепенно, достигая своего максимального значения, причем тем медленнее, чем больше витков в катушке. Как мы сегодня знаем, в катушке возникает ЭДС самоиндукции, которая препятствует быстрым изменениям тока в ней:



где  — индуктивность катушки, а  — ток через нее. По сути дела, самоиндукция — это явление влияния на ток в катушке переменного магнитного поля, созданного им самим. Генри также обнаружил явление взаимной индукции, т.е. наведения тока в одной катушке при изменении тока в другой, изолированной от первой. В своем опыте Генри умудрился обнаружить это явление, когда одна катушка располагалась на втором этаже здания, а вторая — в подвале.

Фарадей же понял, что усиление магнитного потока, производимое катушкой Генри, может помочь в наблюдении искомой электромагнитной индукции, и он независимо от него создал прибор для ее обнаружения. Как уже говорилось, в 1831 г. первый опыт Фарадея показал, что индукционный ток возникает при замыкании и размыкании цепи, намотав двести футов медной проволоки на деревянный барабан и столько же футов вторичной обмотки поверх первой. Однако наблюдаемый эффект был очень слабым. Тогда Фарадей использовал железный кольцевой сердечник (использование железа для усиления действия электромагнитов было тоже предложено Генри), на который наматывал обе обмотки (схема эксперимента изображена выше справа). В результате эффект стал в десятки раз выразительней.

Наконец, Фарадей повторил опыт Генри, наблюдая возникновение индукционного тока в катушке при вдвигании и выдвигании из нее другой катушки, в которой тек постоянный ток. Также Фарадей использовал постоянный магнит в качестве второй катушки (см. рис. справа), еще раз убедительно доказав единство электрических и магнитных явлений.

Фарадей всесторонне исследовал явление электромагнитной индукции и предложил ее закон в известной сегодня форме, а именно в витке провода  возникает ЭДС, равная изменению потока магнитного поля  через поверхность , натянутую на него:



<http://www.physics.ru/courses/op25part2/content/models/faraday.html>

(анимация опыта Фарадея)

*Практическая часть*

* **Электризация тел**

**(При помощи шара кондуктора)**

**Учитель**: перед тем как ребята покажут демонстрацию, давайте вспомним основные признаки электризации тел.

|  |
| --- |
| Электризация тел происходит при их соприкосновении |
| Наэлектризованные тела либо притягиваются, либо отталкиваются |
| Существует 2 вида зарядов: «+» и «―» |
| Тела, имеющие электрические заряды одинакового знака взаимно отталкиваются, а тела имеющие заряды противоположного знака взаимно притягиваются |

* **Тлеющий разряд**

Одной из самой красивой демонстрацией в электродинамике является демонстрация тлеющего разряда.

**Тлеющий разряд** - один из видов стационарного самостоятельного [электрического разряда в газах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8F%D0%B4). В отличие от нестационарных (импульсных) электрических разрядов в газах, основные характеристики тлеющего разряда остаются относительно стабильными во времени. После просмотра демонстрации ответьте на следующие вопросы:

1. Как формируется тлеющий разряд ( при каких условиях).

Формируется, как правило*, при низком давлении газа и малом токе*. *При увеличении проходящего тока превращается в*[*дуговой разряд*](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8F%D0%B4)*.*

1. Приведите пример тлеющего разряда, знакомого большинству людей

Типичным примером тлеющего разряда, знакомым большинству людей, является свечение [неоновой лампы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%BF%D0%B0).

* **Демонстрация явления электромагнитной индукции**

Демонстрируем опыт Ленца с помощью прибора для демонстрации опыта

Ленца.

Вопрос к классу: Какое сходство имеется у катушки с током и магнитной

стрелки?

Добиться ответа: Катушка с током и магнитная стрелка являются постоянными магнитами.

Вопрос к классу: Как взаимодействуют постоянные магниты?

Добиться ответа: Одноименные полюса магнитов отталкиваются, а разно-

именные притягиваются.

Анализируя результаты опыта Ленца, приходим к выводу:

Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван.

**Лабораторная работа: «Наблюдение действия магнитного поля на ток»**

Цель работы: экспериментально определить зависимость действия магнитного поля на проводник с током от силы и направления тока в нем.

Оборудование:

* источник электропитания
* катушка-моток
* переменный резистор
* ключ
* полосовой магнит
* штатив с муфтой и лапкой
* соединительные провода.

В работе исследуют взаимодействие проволочной катушки-мотка, подвешенной на штативе, с постоянным магнитом, также установленном на этом штативе рядом с катушкой. Последовательно с катушкой включают переменное сопротивление, что позволяет менять в ходе опыта силу тока в ней.

**Ход работы**

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке 2. Катушка и магнит должны располагаться так, чтобы плоскость катушки была перпендикулярна продольной оси магнита. Край магнита должен выступать на 1,5 - 2 см за основание штатива и находиться в центре катушки.

2. Переменное сопротивление включите в цепь так, чтобы с его помощью можно было изменять силу тока в катушке. Ползунок переменного сопротивления поставьте в такое положение, при котором в цепи протекал бы минимальный ток.

3. Замкните ключ и по изменению положения катушки сделайте вывод о характере действия на нее магнита.

4. Увеличивая с помощью переменного сопротивления ток в цепи, установите, как действие магнита на катушку зависит от силы тока в ней.

5. Изменив подключение соединительных поводов к источнику питания, установите, как зависит действие магнитного поля на катушку от направления тока в ней.

6. Измените положение полюсов магнита на противоположное и повторите действия, указанные в пунктах 3, 4 и 5.

7. Для каждого этапа опыта сделайте схематичные рисунки, отражающие изменения во взаимодействии магнита и катушки при изменении режимов работы установки.

8. Укажите на рисунках направления магнитного поля магнита, тока в катушке и магнитного поля катушки.

9. Объясните результаты наблюдений.

**Домашнее задание:**