## Тема 5. Электромагнитные явления (4 часа)

ЦЕЛЬ: освоение знаний об электромагнитных явлениях

ЗАДАЧИ:

* освоение знаний об электромагнитных явлениях;
* освоение знаний о величинах, характеризующих эти явления;
* освоение знаний о законах, которым они подчиняются;
* раскрыть методы научного познания природы и формирование на этой основе представлений о физической картине мира

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Электрическое поле.

2. Постоянный электрический ток.

3. Магнитное поле тока и действие магнитного поля на проводник с током.

4. Электромагнитная индукция. Электрогенератор. Переменный ток. Получение и передача электроэнергии.

5. Электромагнитные волны. Радиосвязь и телевидение.

6. Свет как электромагнитная волна. Интерференция и дифракция света.

1. ***Электрическое поле***

*Электрический заряд* — это физическая скалярная величина, определяющая способность тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии. Впервые электрический заряд был введён в законе Кулона в 1785 году.

Самое простое и повседневное явление, в котором обнаруживается факт существования в природе электрических зарядов, — это электризация тел при соприкосновении[4]. Способность электрических зарядов как к взаимному притяжению, так и к взаимному отталкиванию объясняется предположением о существовании двух различных видов зарядов. Один вид электрического заряда называют положительным, а другой — отрицательным. Разноимённо заряженные тела притягиваются, а одноимённо заряженные — отталкиваются друг от друга.

При соприкосновении двух электрически нейтральных тел в результате трения заряды переходят от одного тела к другому. В каждом из них нарушается равенство суммы положительных и отрицательных зарядов, и тела заряжаются разноимённо.

При электризации тела через влияние в нём нарушается равномерное распределение зарядов. Они перераспределяются так, что в одной части тела возникает избыток положительных зарядов, а в другой — отрицательных. Если две эти части разъединить, то они будут заряжены разноимённо.

*Электрическое поле* — одна из составляющих электромагнитного поля; особый вид материи, существующий вокруг тел или частиц, обладающих электрическим зарядом, а также при изменении магнитного поля (например, в электромагнитных волнах). Электрическое поле непосредственно невидимо, но может быть обнаружено благодаря его силовому воздействию на заряженные тела. Основным действием электрического поля является силовое воздействие на неподвижные (относительно наблюдателя) электрически заряженные тела или частицы. Если заряженное тело фиксировано в пространстве, то оно под действием силы не ускоряется. На движущиеся заряды силовое воздействие оказывает и магнитное поле (вторая составляющая силы Лоренца).

Свойство вещества проводить электрический ток под действием электрического поля называется электропроводностью. Электропроводность вещества зависит от концентрации носителей заряда: чем выше концентрация, тем больше электропроводность. Все вещества в зависимости от электропроводности делятся на проводники, диэлектрики и полупроводники.

*Проводник* — тело, в котором имеются свободные носители заряда, то есть заряженные частицы, которые могут свободно перемещаться внутри этого тела. Среди наиболее распространённых твёрдых проводников известны металлы, полуметаллы, углерод (в виде угля и графита). Пример проводящих жидкостей при нормальных условиях — ртуть, электролиты, при высоких температурах — расплавы металлов. Пример проводящих газов — ионизированный газ (плазма). Некоторые вещества, при нормальных условиях являющиеся изоляторами, при внешних воздействиях могут переходить в проводящее состояние, а именно проводимость полупроводников может сильно варьироваться при изменении температуры, освещённости, легировании и т. п.

Проводниками также называют части электрических цепей — соединительные провода и шины.

Микроскопическое описание проводников связано с электронной теорией металлов. Наиболее простая модель описания проводимости известна с начала прошлого века и была развита Друде.

Проводники бывают первого и второго рода. В проводниках *первого рода*, к которым преимущественно относятся все металлы и их сплавы, электрический ток создается перемещением только электронов — это проводники с электронной проводимостью. Прохождение тока в них не сопровождается химическими изменениями материала проводника. Лучшими проводниками являются серебро, медь, алюминий. Проводники *второго рода*, или проводники с ионной проводимостью, представляют собой расплавы некоторых солей и водные растворы кислот, солей, щелочей и др. В расплавах и растворах независимо от прохождения тока происходит распад их нейтральных молекул на положительные и отрицательные ионы (электролитическая диссоциация).

*Диэлектриками (изоляторами)* называются вещества (материалы), в которых при нормальных условиях (невысокие температуры и отсутствие сильных электрических полей) имеется ничтожное количество свободных электрически заряженных частиц; вследствие этого они обладают ничтожной электропроводностью, которой во многих случаях можно пренебречь. К числу изоляторов относятся некоторые газы и жидкости — минеральные масла, лаки, а также большое число твердых материалов, за исключением металлов, их сплавов и угля. Однако при некоторых условиях, например при действии высоких температур или сильных электрических полей, в диэлектриках возможны расщепление молекул на ионы и потеря ими изолирующих свойств.

*Полупроводники* (полупроводящие вещества или материалы) по своей электропроводности занимают промежуточное место между проводниками и изоляторами. К полупроводникам относятся кремний, германий, теллур, селен, окислы металлов, соединения металлов с серой и т. д.

Полупроводники обладают рядом характерных свойств, электропроводность их и концентрация свободных носителей заряда в сильной степени зависят от температуры, освещенности, электрических полей, примесей и др. Отличительные особенности полупроводников объясняются тем, что кроме электронной электропроводности, вызываемой электронами проводимости, они обладают еще так называемой дырочной электропроводностью. Последняя вызвана перемещением под действием электрического поля «дырок», т. е. не занятых валентными электронами мест в атомах (из-за перемещения от атома к атому валентных электронов), что равноценно перемещению положительно заряженных частиц, заряды которых по абсолютному значению равны зарядам электронов.

***2. Постоянный и переменный электрический ток***

*Электрический ток* - упорядоченное движение заряженных частиц под действием сил электрического поля или сторонних сил.

За направление тока выбрано направление движения положительно заряженных частиц.

Электрический ток называют *постоянным*, если сила тока и его направление не меняются с течением времени.

Основной характеристикой электрического тока является сила тока – количество заряда, пересекающее поперечное сечение проводника за единицу времени. Iср = Δq/Δt или для мгновенной силы тока : I = dq/dt. Единицей измерения силы тока является ампер (A). 1 ампер – сила тока, когда заряд 1 кулон проходит через поперечное сечение проводника за 1 секунду. Обычно за направление электрического тока в проводнике принимают направление движения положительных зарядов.

Другой величиной, характеризующей электрический ток, является плотность тока – сила тока, приходящаяся на единицу площади проводника. Измеряется в амперах на квадратный метр: J = I/S.

Основным законом, описывающим постоянный электрический ток, является закон Ома: сила тока в проводнике прямо пропорциональна разности потенциалов между его концами, или электрическому напряжению (U): I = U/R.

Величина R называется электрическим сопротивлением. Сопротивление является свойством проводников препятствовать прохождению через него электрического тока, при этом электрическая энергия превращается в тепловую энергию. Сопротивление возникает из-за столкновения заряженных частиц (носителей тока) с внутренними структурами проводника – атомами и молекулами. Единицей измерения сопротивления является Ом. Обратная величина сопротивлению называется электрической электропроводностью (D).

При наличии тока в проводнике совершается работа против сил сопротивления. Эта работа выделяется в виде тепла. Мощностью тепловых потерь называется величина, равная количеству выделившегося тепла в единицу времени. Согласно закону Джоуля — Ленца мощность тепловых потерь в проводнике пропорциональна силе протекающего тока и приложенному напряжению.

Мощность измеряется в ваттах.

*Переменный ток* (англ. alternating current — переменный ток) — электрический ток, который периодически изменяется по модулю и направлению.

Переменный ток имеет большие преимущества перед постоянным током. Генераторы переменного тока проще по устройству, надежнее в работе и строятся гораздо большей мощности и на большее напряжение, чем генераторы постоянного тока. Но главное преимущество переменного тока состоит в том, что его легко можно преобразовывать из одного напряжения в другое при помощи трансформаторов, которые не имеют вращающихся частей и поэтому проще машин. Для получения переменного тока используют источники электрической энергии, создающие переменную электродинамическую систему, периодически изменяющуюся по величине и направлению; такие источники называются генераторами переменного тока. Простейшим генератором переменного тока может служить виток, вращающийся в равномерном магнитном поле. Для передачи тока на большие расстояния в начале линии его преобразуют в ток высокого напряжения в несколько сотен тысяч вольт, а в конце снова понижают до тысяч и сотен вольт. При одной и той же мощности при повышении напряжения во столько же раз понижается сила тока, что дает возможность передавать большие мощности по относительно тонким проводам с небольшими потерями энергии.

*Электрический генератор* — это устройство, в котором неэлектрические виды энергии (механическая, химическая, тепловая) преобразуются в электрическую энергию.

Первый генератор электрического тока, основанный на явлении электромагнитной индукции, был построен в 1832 г. парижскими техниками братьями Пиксии. Этим генератором трудно было пользоваться, так как приходилось вращать тяжелый постоянный магнит, чтобы в двух проволочных катушках, укрепленных неподвижно вблизи его полюсов, возникал переменный электрический ток.

В 1870 г. бельгиец Зеноб Грамм, работавший во Франции, создал генератор, получивший широкое применение в промышленности. В своей динамо-машине он использовал принцип самовозбуждения и усовершенствовал кольцевой якорь, изобретенный еще в 1860 г. А. Пачинотти. Пройдя ряд менее значимых открытий, динамо-машина стала прообразом, из которого появились дальнейшие изобретения, такие как двигатель постоянного тока, генератор переменного тока, синхронный двигатель, роторный преобразователь.

До того, как была открыта связь между электричеством и магнетизмом, использовались электростатические генераторы, которые работали на основе принципов электростатики. Они могли вырабатывать высокое напряжение, но имели маленький ток.

***3. Магнитное поле тока и действие магнитного поля на проводник с током. Электродвигатель.***

Магнитное поле — силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения, магнитная составляющая электромагнитного поля.

Магнитное поле создается (порождается) током заряженных частиц, или изменяющимся во времени электрическим полем, или собственными магнитными моментами частиц (последние для единообразия картины могут быть формальным образом сведены к электрическим токам). Магнитное поле возникает в пространстве, окружающем проводники с током, подобно тому, как в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды, возникает электрическое поле. Магнитное поле постоянных магнитов также создается электрическими микротоками, циркулирующими внутри молекул вещества (гипотеза Ампера). Магнитное поле токов принципиально отличается от электрического поля. Магнитное поле, в отличие от электрического, оказывает силовое действие только на движущиеся заряды (токи). Для описания магнитного поля необходимо ввести силовую характеристику поля, аналогичную вектору напряженности электрического поля. Такой характеристикой является вектор магнитной индукции Вектор магнитной индукции определяет силы, действующие на токи или движущиеся заряды в магнитном поле. За положительное направление вектора принимается направление от южного полюса S к северному полюсу N магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле. Таким образом, исследуя магнитное поле, создаваемое током или постоянным магнитом, с помощью маленькой магнитной стрелки, можно в каждой точке пространства определить направление вектора Такое исследование позволяет представить пространственную структуру магнитного поля.

Магнитное поле действует с некоторой силой на любой проводник с током, находящийся в нем.

Если проводник, по которому протекает электрический ток подвесить в магнитном поле, например, между полюсами магнита, то магнитное поле будет действовать на проводник с некоторой силой и отклонять его. Направление движения проводника зависит от направления тока в проводнике и от расположения полюсов магнита.

*Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется силой Ампера.*

*Сила действия однородного магнитного поля на проводник с током*

*прямо пропорциональна силе тока, длине проводника,*

*модулю вектора индукции магнитного поля,*

*синусу угла между вектором индукции магнитного поля и проводником:*

*F=B.I.ℓ. sin a — закон Ампера.*

Электродвигатель – это устройство для эффективного преобразования электрической энергии в механическую.

В основе этого преобразования лежит магнетизм. В электродвигателях используются постоянные магниты и электромагниты, кроме того, используются магнитные свойства различных материалов, чтобы создавать эти удивительные устройства.

Преимущества электродвигателей:

* малые размеры по сравнению с тепловыми двигателями;
* экологически чистые;
* можно сделать любых размеров;
* высокий КПД (98).

***4. Электромагнитные волны. Радиосвязь и телевидение.***

Между изменяющимися во времени электрическим и магнитным полем существует взаимосвязь: переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое (электромагнитная индукция), а переменное электрическое поле порождает вихревое магнитное (магнитоэлектрическая индукция). В результате возникает единое электромагнитное поле.

*Электромагнитная волна* – возмущение электромагнитного поля, распространяющееся в пространстве. *Максвелл предсказал существование электромагнитных волн в 1864 г. Экспериментально их обнаружил Герц в 1887 г. Источником электромагнитных волн стал прямолинейный проводник с промежутком посередине, обладающий свойствами колебательного контура (вибратор Герца). Высокое напряжение, подаваемое к промежутку, вызывало искровой разряд. Такой же разряд возникал в другом вибраторе, концы которого были замкнуты, находящемся на некотором расстоянии от первого. Электромагнитное излучение первого вибратора дошло до второго.*

Электромагнитные волны существуют и обладают следующими свойствами:

* электромагнитное излучение возникает при ускоренном движении электрических зарядов;
* электромагнитные волны являются гармоническими: вектора напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля будут изменяться гармонически.
* энергия излучения пропорциональна квадрату ускорения излучающей заряженной частицы;
* скорость распространения равна скорости света;
* волна поперечная: вектора напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны.

Спектр электромагнитных волн имеет широкий диапазон частот от 0 до 3·1022 Гц

* Волны звуковых частот возникают в линиях электропередач.
* Радиоволны возникают в антеннах радио- и телевизионных станций, мобильных телефонах, радарах и т. д.
* Инфракрасные волны, видимый свет, ультрафиолетовые лучи излучаются атомами при изменении энергетических состояний валентных электронов
* рентгеновские лучи излучаются атомами при изменении энергетических состояний электронов внутренних оболочек атомов
* γ-излучение возникает при изменении энергетического состояния атомного ядра.

Основные характеристики: частота, длина, скорость, энергия.

Основные свойства: отражение, преломление, интерференция, дифракция, поляризация.

Основные отличия: а) способы получения; б) характерные свойства; в) области применения.

Независимо от природы электромагнитные волны обладают общими свойствами. На скорость и характер распространения электромагнитных волн существенно влияет среда, в которой они распространяются. Электромагнитные волны могут испытывать преломление, в реальных средах имеет место дисперсия волн, вблизи неоднородностей наблюдаются дифракция волн, интерференция волн, полное внутреннее отражение и другие явления, свойственные волнам любой природы.

(((ДИСПЕ́РСИЯ ВОЛН, зависимость фазовой скорости гармонических волн в среде от частоты их колебаний. Дисперсия волн наблюдается для волн любой природы. Наличие дисперсии волн приводит к искажению формы сигнала (напр., звукового импульса) при распространении в среде. Дисперсия света наблюдается в виде разложения света в спектр, напр. при прохождении его сквозь стеклянную призму. )))

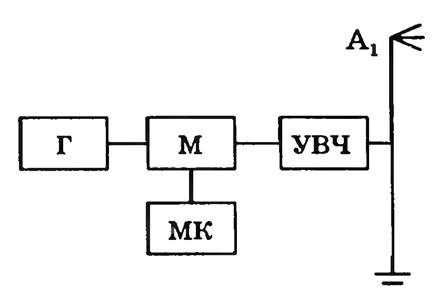
Если среда неоднородна или содержит поверхности, на которых изменяются ее электрические или магнитные свойства, или если в пространстве имеются проводники, то тип возбуждаемых и распространяющихся электромагнитных волн может существенно отличаться от плоской линейно-поляризованной волны. Электромагнитные волны могут распространяться вдоль направляющих поверхностей (поверхностные волны), в передающих линиях и в полостях, образованных хорошо проводящими стенками.

Электромагнитные волны в настоящее время широко применяются в различных областях радиоэлектроники (отрасль науки и техники, использующая электромагнитные волны для передачи, приема и преобразования информации): радиосвязь, радиовещание, телевидение, радиолокация, радиоуправление, радиотелеметрия, радиометеорология, радиоразведка и др.

Остановимся на принципах современной радиотелефонной связи.

*Радиосвязь* – передача и приём информации с помощью радиоволн, распространяющихся в пространстве без проводов. Длинные и средние волны огибают поверхность Земли и отражаются от ионосферы и от поверхности Земли. Короткие волны отражаются от ионосферы и от Земли. УКВ распространяются прямолинейно (телевидение и радиолокация)

Радиопередачи стали возможны после создания генератора незатухающих колебаний. При радиотелефонной связи колебания давления воздуха в звуковой волне с помощью микрофона превращаются в электрические колебания той же формы. Трудность передачи звукового сигнала состоит в том, что для радиосвязи необходимы колебания высокой частоты, а колебания звукового диапазона — низкочастотные колебания, для излучения которых невозможно построить эффективные антенны. Поэтому колебания звуковой частоты приходится тем или иным способом накладывать на колебания высокой частоты, которые уже переносят их на большие расстояния.

*Радиопередающее устройство содержит следующие основные элементы (рис. 1): Г — задающий генератор колебаний высокой частоты, преобразующий энергию источника постоянного напряжения в гармонические колебания высокой частоты. Частоту этих колебаний называют несущей. Она должна быть строго постоянной;*

*МК — преобразователь сообщений в электрический сигнал, используемый для модуляции колебаний несущей частоты. Вид преобразователя зависит от физической природы передаваемого сигнала: при звуковом сигнале преобразователем является микрофон, при передаче изображений — передающая телевизионная трубка:*

*Μ — модулятор, в котором происходит модуляция высокочастотного сигнала в соответствии с частотой звукового сигнала, несущего информацию, подлежащую передаче;*

*УВЧ — обычно имеется один или два каскада усилителя мощности модулированного сигнала;*

*Α1 — излучающая антенна, предназначенная для излучения электромагнитных волн в окружающее пространство.*

Виды радиосвязи:

* радиотелеграфная (передача сигналов в виде точек и тире, кодирующих буквы и цифры в азбуку Морзе;
* радиолокация (обнаружение объектов и их координат с помощью отражения радиоволн, расстояние до объекта находится по формуле S = ct/2, где t – время прохождения импульса до объекта и обратно);
* радиовещание и радиотелефонная связь (передача в эфир речи, музыки, звуковых эффектов с помощью электромагнитных волн);
* телевидение (передача в эфир звука и видеоизображения с помощью электромагнитных волн).

*Телевидение* (греч. — далеко и лат. video — вижу; от новолатинского televisio — дальновидение) — комплекс устройств для передачи движущегося изображения и звука на расстояние.

Телевидение основано на принципе последовательной передачи элементов[1] изображения с помощью радиосигнала или по проводам. Разложение изображения на элементы происходит при помощи диска Нипкова, электронно-лучевой трубки или полупроводниковой матрицы. Количество элементов изображения выбирается в соответствии с полосой пропускания радиоканала и физиологическими критериями. Для сужения полосы передаваемых частот и уменьшения заметности мерцания экрана телевизора применяют чересстрочную развёртку. Также она позволяет увеличить плавность передачи движения.

Телевизионный тракт в общем виде включает в себя следующие устройства:

* *Телевизионная передающая камера.* Служит для преобразования изображения, получаемого при помощи объектива на мишени передающей трубки или полупроводниковой матрице, в телевизионный видеосигнал.
* *Видеомагнитофон.* Записывает и в нужный момент воспроизводит видеосигнал.
* *Видеомикшер.* Позволяет переключаться между несколькими источниками изображения: видеокамерами, видеомагнитофонами и другими.
* *Передатчик.* Сигнал радиочастоты модулируется телевизионным видеосигналом и передается по радио или по проводам.
* *Приёмник* — телевизор. С помощью синхроимпульсов, содержащихся в видеосигнале, телевизионное изображение воспроизводится на экране приемника (кинескоп, ЖК-дисплей, плазменная панель).

Кроме того, для создания телевизионной передачи используется звуковой тракт, аналогичный тракту радиопередачи. Звук передаётся на отдельной частоте обычно при помощи частотной модуляции, по технологии, аналогичной FM-радиостанциям. В цифровом телевидении звуковое сопровождение, часто многоканальное, передается, в общем, с изображением потоке данных.

1. ***Свет как электромагнитная волна. Интерференция и дифракция света.***

Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца (1887–1888 гг.) по исследованию электромагнитных волн.

Свет играет чрезвычайно важную роль в нашей жизни. Подавляющее количество информации об окружающем мире человек получает с помощью света. Однако в оптике как разделе физике под светом понимают не только видимый свет, но и примыкающие к нему широкие диапазоны спектра электромагнитного излучения – инфракрасный (ИК) и ультрафиолетовый (УФ). По своим физическим свойством свет принципиально неотличим от электромагнитного излучения других диапазонов – различные участки спектра отличаются друг от друга только длиной волны λ и частотой ν.

Свойства света как электромагнитной волны:

1. При распространении света в каждой точке пространства происходят периодически повторяющиеся изменения электрического и магнитного полей. Свет — поперечная волна.

2. Период света как электромагнитной волны (частота) равен периоду (частоте) колебаний источника электромагнитных волн.

3. Свет является носителем энергии, причем перенос энергии совершается в направлении распространения волны.

4. Свет, как и другие волны, распространяются прямолинейно в однородной среде, испытывают преломление при переходе из одной среды во вторую, отражаются от металлических преград. Для них характерны явления дифракции и интерференции.

ДИФРА́КЦИЯ ВОЛН (от лат. diffractus — разломанный), огибание волнами различных препятствий. Дифракция волн свойственна всякому волновому движению; имеет место, если размеры препятствия порядка длины волны или больше.

Дифракция волн может проявляться:

* в преобразовании пространственной структуры волн. В одних случаях такое преобразование можно рассматривать как «огибание» волнами препятствий, в других случаях — как расширение угла распространения волновых пучков или их отклонение в определённом направлении;
* в разложении волн по их частотному спектру;
* в преобразовании поляризации волн;
* в изменении фазовой структуры волн.

ИНТЕРФЕРЕ́НЦИЯ ВОЛН, явление, наблюдающееся при одновременном распространении в пространстве нескольких волн и состоящее в стационарном (или медленно изменяющемся) пространственном распределении амплитуды и фазы результирующей волны.

Явление интерференции происходит при взаимодействии двух и более волн одинаковой частоты, распространяющихся в различных направлениях. При этом оно наблюдается и у волн, распространяющихся в средах, и у электромагнитных волн.

То есть интерференция является свойством волн как таковых и не зависит ни от свойств среды, ни от ее наличия. Чтобы понять ее механизм, проще всего вернуться к примеру волн на водной поверхности и представить себе, что каждая волна несет в себе инструкцию для элементов поверхности, например «подняться на 1 метр» или «опуститься на 30 см». В точке взаимодействия двух волн поверхность просуммирует две такие инструкции — в данном примере, она поднимется на 70 см (1 метр минус 30 см).