

4. Какая часть природных месторождений топлива освоена на сегодняшний день?
5. Какие виды природного топлива добываются в Беларуси?
6. В чем заключается сущность парникового эффекта? Чем опасно глобальное потепление?
7. Какие источники энергии называются возобновляемыми?
8. Перечислите основные проекты использования возобновляемых источников энергии. Какие из них являются наиболее перспективными для Беларуси?
9. Что является самым распространенным источником энергии во Вселенной?

§ 12. Электромагнитные волны и их свойства. Шкала электромагнитных волн

■ Практически до начала XX в. человеческая цивилизация не знала о существовании электромагнитных волн, использование свойств которых до неузнаваемости изменило быт современных людей. Как тепловое излучение Солнца достигает Земли через холодные просторы космоса? Конечно ли скорость света? Как осуществляется связь с космонавтами на околоземной орбите?

Впервые гипотезу о существовании электромагнитных волн высказал в 1864 г. английский физик Джеймс Максвелл. В своих работах он показал, что источниками электрического поля могут быть как электрические заряды, так и магнитные поля, изменяющиеся во времени.

В свою очередь магнитные поля могут возбуждаться либо движущимися электрическими зарядами (электрическим током), либо переменными электрическими полями.

Изменение индукции магнитного поля с течением времени вызывает появление в окружающем пространстве вихревого электрического поля. Силовые линии этого поля замкнуты и охватывают линии индукции магнитного поля, и напряженность $\vec{E}(t)$ в любой точке пространства перпендикулярна индукции $\vec{B}(t)$ магнитного поля (рис. 72, а).

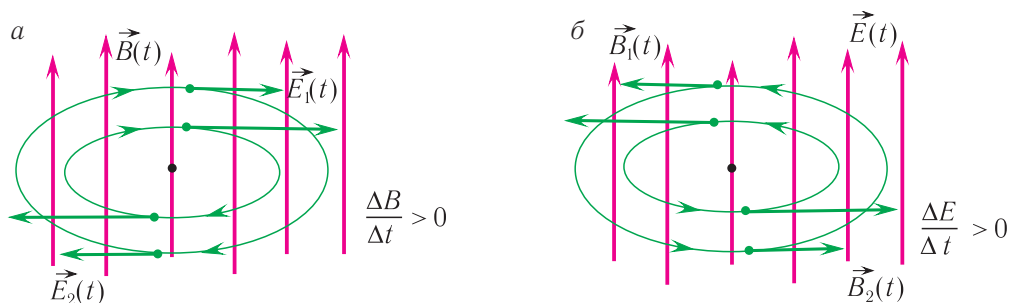


Рис. 72. Переменные электрические (а) и магнитные поля (б), порождающие друг друга

Максвелл предположил, что любое изменение напряженности вихревого электрического поля сопровождается возникновением переменного магнитного поля (рис. 72, б). Далее этот процесс может повторяться «до бесконечности», поскольку поля смогут попеременно воспроизводить друг друга даже в вакууме.

Таким образом, в вакууме возникает система изменяющихся и взаимно поддерживающих друг друга электрических и магнитных полей, захватывающих все большие и большие области пространства (рис. 73).

Совокупность связанных друг с другом периодически изменяющихся электрического и магнитного полей называют переменным **электромагнитным полем**. Согласно теории Максвелла электромагнитное поле распространяется в пространстве с конечной скоростью.

Рассмотрим подробнее процесс образования электромагнитного поля в пространстве, окружающем проводник.

Пусть в проводнике возбуждены электромагнитные колебания, в результате чего сила электрического тока в нем непрерывно меняется. Поскольку сила тока связана со скоростью движения свободных зарядов в проводнике, то скорость движения последних также будет непрерывно изменяться с течением времени. Это говорит о том, что свободные заряды внутри проводника будут двигаться с ускорением.

Согласно теории Максвелла при ускоренном движении свободных зарядов в проводнике в пространстве вокруг него создается переменное магнитное поле, которое порождает переменное вихревое электрическое поле. Последнее, в свою очередь, вновь вызывает появление переменного магнитного поля уже на большем расстоянии от заряда и т. д. Таким образом, в пространстве вокруг проводника образуются взаимосвязанные электрические и магнитные поля, которые распространяются с течением времени в виде волны.

Электромагнитное поле, распространяющееся в вакууме или в какой-либо среде с конечной скоростью, называется **электромагнитной волной** (рис. 74).

Электромагнитные волны являются поперечными. В них направления колебаний векторов напряженности $\vec{E}$ электрического поля и индукции $\vec{B}$ магнитного поля волны происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

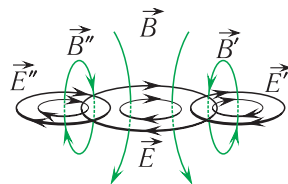


Рис. 73. Образование электромагнитной волны

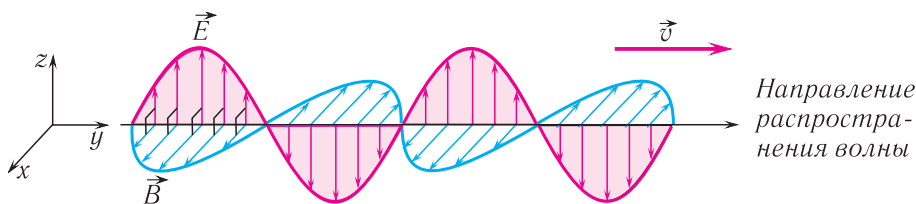


Рис. 74. Схематическое изображение электромагнитной волны

Подобно упругим механическим волнам электромагнитные волны испытывают отражение от препятствий, преломление на границах сред. Но в отличие от упругих волн электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме.



Одним из важнейших результатов теории Максвелла было теоретическое определение модуля скорости распространения электромагнитных волн (света). Согласно этой теории модуль скорости распространения c электромагнитной волны в вакууме связан с электрической постоянной ϵ_0 и магнитной постоянной μ_0 следующим соотношением:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$$

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме является максимально (предельно) достижимой величиной. В любом веществе скорость их распространения меньше c и зависит от его электрических и магнитных свойств.

Совпадение скорости электромагнитных волн со скоростью света дало возможность Максвеллу предположить, что свет имеет электромагнитную природу. Благодаря этому произошло объединение в одно учение оптики и электромагнетизма.

Электромагнитные волны были экспериментально открыты немецким физиком Генрихом Герцем в 1887 г. Для их генерации он использовал специальное устройство (рис. 75, а), впоследствии названное *вибратором Герца*.

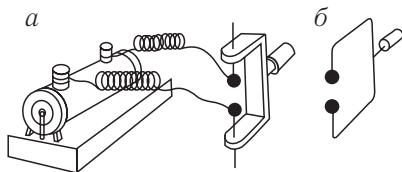


Рис. 75. Схематическое изображение экспериментальной установки Герца: а — вибратор Герца; б — приемный контур

Герц исследовал излучаемое вибратором электромагнитное поле. В воздушном зазоре между шарами при переменном напряжении, достигающем значения пробоя воздуха, происходил искровой разряд. При этом в вибраторе возникали электромагнитные колебания высокой частоты.

Индикатором электромагнитных волн, возникающих в опытах Герца, служила искра, образующаяся в приемном контуре (рис. 75, б). Размеры приемного контура (в форме прямоугольного контура или кольца) выбирались таким образом, чтобы собственная частота возникающих в нем колебаний была равна частоте излучаемых волн.

Изменяя положение приемного контура по отношению к вибратору и наблюдая появление в нем искры, Герц определял наличие поля в различных точках пространства. Таким образом, Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

В своих экспериментах, проведенных в 1887—1891 гг., Герц сумел не только убедительно доказать существование электромагнитных волн, но и установить их основные свойства. Перечислим основные свойства электромагнитных волн:

- распространяются не только в различных средах, но и вакууме;
- в вакууме распространяются со скоростью $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
- отражаются и преломляются на границах раздела сред;
- являются поперечными.

Спектр электромагнитного излучения удобно изображать в виде шкалы электромагнитных волн, приведенной на рисунке 76.

Свойства электромагнитных волн очень сильно зависят от их частоты. Излучение электронов, обусловленное их движением в проводниках, позволяет генерировать электромагнитные волны с частотой до 10^{12} Гц. Для генерации излучений с частотой выше 10^{12} Гц используют излучение атомов. Верхний предел частот, которые могут генерировать атомные системы, составляет 10^{30} Гц.

Излучения более высоких частот (гамма-излучение) испускаются атомными ядрами.

Классификация электромагнитных волн в зависимости от частот (длин волн) приведена в таблице 7.



Рис. 76. Шкала электромагнитных волн

Таблица 7. Классификация электромагнитных волн

Виды излучения	Интервал частот, Гц; (длин волн (вакуум), м)	Источники излучения	Приемники излучения (применение)
Низкочастотные волны	$< 3 \cdot 10^3$ ($> 1 \cdot 10^5$)	Генераторы переменного тока, электрические машины	Передача электрической энергии, обработка металлов
Радиоволны	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^9$ ($1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^{-1}$)	Колебательные контуры, вибраторы Герца	Колебательные контуры электрических цепей, связь и навигация
Микроволны	$3 \cdot 10^9 - 1 \cdot 10^{12}$ ($1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-4}$)	Мазеры, полупроводниковые приборы	Колебания молекул, приготовление пищи, нагревание
Инфракрасное излучение	$1 \cdot 10^{12} - 4 \cdot 10^{14}$ ($1 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-7}$)	Солнце, электролампы, лазеры, космическое излучение	Кожа человека, сушка, тепловое фотокопирование
Видимое излучение	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$ ($7 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$)	Солнце, электролампы, лазеры, светодиоды	Глаз человека
Ультрафиолетовое излучение	$8 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{16}$ ($4 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-8}$)	Солнце, космическое излучение, лазеры, электролампы	Кожа человека (загар, лечение заболеваний кожи), уничтожение бактерий, сигнализация
Рентгеновское излучение	$1 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$ ($3 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-10}$)	Бетатроны, солнечная корона, небесные тела, рентгеновские трубки	Ионизация, счетчик Гейгера — Мюллера, рентгенография, радиология, обнаружение подделок произведений искусства

Продолжение

Виды излучения	Интервал частот, Гц; (длин волн (вакуум), м)	Источники излучения	Приемники излучения (применение)
Гамма излучение	$3 \cdot 10^{18} — 3 \cdot 10^{29}$ ($1 \cdot 10^{-10} — 1 \cdot 10^{-21}$)	Космическое излучение, радиоактивные распады, бетатрон, циклотрон	Стерилизация, медицина, лечение рака

В настоящее время электромагнитные волны находят широкое применение в науке и технике в таких процессах и явлениях, как:

- плавка и закалка металлов в электротехнической промышленности, изготовление постоянных магнитов (*низкочастотные волны*);
- телевидение, радиосвязь, радиолокация (*радиоволны*);
- мобильная связь, радиолокация (*микроволны*);
- сварка, резка, плавка металлов лазерами, приборы ночного видения (*инфракрасное излучение*);
- освещение, голография, лазеры (*видимое излучение*);
- люминесценция в газоразрядных лампах, лазеры (*ультрафиолетовое излучение*);
- рентгенотерапия, рентгеноструктурный анализ, лазеры (*рентгеновское излучение*);
- дефектоскопия, диагностика и терапия в медицине, исследование внутренней структуры атомов, военное дело (*гамма-излучение*).

► 7 мая 1895 г. русский ученый Александр Степанович Попов на заседании Русского физико-химического общества в Санкт-Петербурге сообщил о возможности приема электромагнитных сигналов на расстоянии. А уже 18 декабря 1897 г. он передал на расстояние 250 м первую в мире радиограмму из двух слов «Heinrich Hertz» (Генрих Герц) в честь первого в мире человека, наблюдавшего электромагнитные волны.



В 1901 г. итальянский инженер Г. Маркони впервые осуществил радиосвязь через Атлантический океан. В 1909 г. он получил Нобелевскую премию по физике за развитие радиотехники и распространение радио как средства связи.



1. Что является источником вихревого электрического поля?
2. Чем отличается вихревое электрическое поле от: а) магнитного; б) электростатического?

3. Что называется электромагнитной волной?
4. Перечислите основные интервалы частот (длин волн), соответствующие различным типам электромагнитных волн.
5. Чем электромагнитные волны отличаются от механических?
6. Приведите примеры применения электромагнитных волн различных частот.

Пример решения задачи

Радиоприемник настроен на радиостанцию, работающую на длине волны $\lambda_1 = 25$ м. Во сколько раз n необходимо изменить емкость приемного колебательного контура радиоприемника, чтобы настроить его на длину волны $\lambda_2 = 31$ м?

Дано:

$$\lambda_1 = 25 \text{ м}$$

$$\lambda_2 = 31 \text{ м}$$

n — ?

Решение

Длина волны определяется по формуле:

$$\lambda = cT,$$

где $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

По формуле Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Тогда для двух длин волн можем записать:

$$\lambda_1 = c2\pi\sqrt{LC_1},$$

$$\lambda_2 = c2\pi\sqrt{LC_2}.$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}.$$

Откуда

$$n = \frac{C_2}{C_1} = \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2; \quad n = \left(\frac{31}{25}\right)^2 = 1,5.$$

Ответ: $n = 1,5$.

Упражнение 9

1. Радиоприемник принимает передачу на волне длиной $\lambda = 15$ м. Определите период T и частоту ν колебаний тока в колебательном контуре приемника.

2. Рассчитайте расстояние l до объекта, если отраженный от него радиосигнал вернулся через промежуток времени $\tau = 3,0$ мкс.
3. Посланный на Венеру радиосигнал был принят на Земле через промежуток времени $\tau_1 = 4,5$ мин, а на Марс — через промежуток времени $\tau_2 = 3,5$ мин. Определите по этим данным расстояния от Земли до Венеры и от Земли до Марса.
4. Определите количество N длин волн монохроматического излучения частотой $\nu = 150$ ГГц, которое укладывается на отрезке длиной $l = 15$ м.
5. Определите длину волны λ_1 , на которую настроен радиоприемник, если напряжение в приемном контуре меняется по закону: $U(t) = 200 \cos(2 \cdot 10^4 \pi t)$ (В). Определите также длину волны λ_2 , излучаемую передатчиком, если сила тока в его колебательном контуре изменяется по закону $I = 0,400 \cos(6\pi \cdot 10^6 t)$ (А).
6. Определите длину волны λ , на которую настроен радиоприемник, если его колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 4,0$ нФ и катушку индуктивностью $L = 4,0$ мГн.
7. Емкость переменного конденсатора колебательного контура изменяется от величины C до $64C$. Если емкость конденсатора равна $8C$, то контур настроен на длину волны $\lambda = 36$ м. Определите диапазон $\Delta\lambda$ длин волн, принимаемых радиоприемником с данным контуром.
8. Определите расстояние d_2 между обкладками плоского воздушного конденсатора, чтобы колебательный контур приемника был настроен на длину волны $\lambda_2 = 120$ м, если при расстоянии между ними $d_1 = 3,6$ мм приемник настроен на длину волны $\lambda_1 = 150$ м.

§ 13. Действие электромагнитного излучения на живые организмы

■ Несмотря на то что все электромагнитные волны имеют одинаковую природу, их свойства, в зависимости от длины волны, существенно изменяются. Достаточно заметить, что благодаря видимому излучению мы можем наслаждаться всеми красками окружающего нас мира. Иными словами, процесс зрения становится возможным благодаря существованию электромагнитных волн определенного диапазона. Эти же волны из другого диапазона могут согреть, а могут и таить смертельную опасность. От чего зависят свойства электромагнитных волн? Как человек использует их особенности? Следует ли опасаться электромагнитного излучения?

Все окружающее нас пространство пронизано различными электромагнитными излучениями и полями.



Рис. 77. Основные источники электромагнитного поля

Существуют естественные и техногенные источники электромагнитных полей. Естественными источниками электромагнитного поля являются: радиоизлучение Солнца и галактик, электрическое и магнитное поля Земли, атмосферное электричество.

Бурное развитие науки и техники в XX в. привело к созданию источников техногенных электромагнитных полей. Были разработаны генераторы электро-

магнитных полей, которые широко используются в промышленности, связи, военной технике, радионавигации, здравоохранении, быту. Основными источниками электромагнитного излучения являются линии электропередач, сеть электроснабжения, теле- и радиостанции, спутниковая и сотовая связь, радары, персональные компьютеры (рис. 77).

Электромагнитные излучения могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на живые организмы.

Рассмотрим сначала положительное воздействие различных диапазонов электромагнитного излучения.

Инфракрасное (тепловое) излучение играет определяющую роль в поддержании жизни на Земле, поскольку люди, животные и растения могут существовать и нормально функционировать только при определенных температурах. Данное излучение широко используется сотрудниками МЧС для нахождения людей в задымленных помещениях с помощью специальных инфракрасных приборов. Так же оно помогает ученым изучать происхождение и эволюцию нашей Вселенной.

Видимый свет дает информацию людям об окружающем мире и возможность ориентироваться в пространстве. Он необходим также для протекания процесса фотосинтеза в растениях, в результате чего поглощается углекислый газ и выделяется кислород, необходимый для дыхания живых организмов.

Применение **ультрафиолетового излучения** обусловлено его главными свойствами: высокой химической активностью, бактерицидным действием. Так, например, ультрафиолетовые лампы способны убивать бактерии

и микроорганизмы, поэтому «кварцевые» лампы широко применяют для дезинфекции воздуха в местах массового скопления людей: больницах, учебных заведениях, вокзалах, метро.

Умеренные дозы ультрафиолетового излучения (Солнца или специальных ламп, например в соляриях) способствуют образованию в нашей коже витамина D, а также других веществ, влияющих на тонус и жизнедеятельность организма.

Рентгеновское излучение находит широкое применение в медицине — флюорографическое обследование или рентгеновский снимок наверняка делали каждому из вас. При прохождении рентгеновского излучения через ткани и органы человека или животных на фотоплёнке или светящемся экране наблюдаются различные (по степени затемнения) тени в зависимости от плотности тканей. Применение рентгеновского излучения при лечении рака основано на том, что оно убивает раковые клетки.

Гамма-излучение представляет собой самый широкий диапазон электромагнитного спектра, поскольку он не ограничен со стороны высоких энергий. Это излучение легко разрушает молекулы, в том числе и биологические, но, к счастью, оно не проходит через атмосферу.

Широкое применение электромагнитных приборов сопровождается прогрессирующим электромагнитным загрязнением окружающей среды, создающим угрозу здоровью человека.

Основное влияние на здоровье людей оказывают такие факторы электромагнитного излучения, как:

- интенсивность;
- частота;
- режим облучения (непрерывный, прерывистый, импульсный);
- продолжительность воздействия;
- местное или общее воздействие.

Проявляться это воздействие может в различной форме — от незначительных изменений в некоторых системах организма до серьёзных нарушений.

Раньше других на электромагнитные волны реагирует нервная система. Обследование большого числа пациентов позволило выявить зависимость функционального расстройства центральной нервной системы (магнитной, или радиоволновой болезни) от дозы электромагнитного излучения.

В бытовых приборах, в промышленности, в радиолокации широко используется **микроволновое излучение** (длины волн от 1 мм до 1 м) (табл. 8).

Таблица 8. Превышение допустимых норм электромагнитного излучения в различных бытовых приборах

Источник ЭМИ	Показатели излучения, мкТл	Превышение, раз
Компьютер	1—100	5—500
Холодильник	1	5
Кофеварка	10	50
Печь СВЧ	8—100	40—500
Фен и электробритва	15—17	75—85
Провод от лампы	0,7	3,5
Трамвай, троллейбус	150	750
Метро	300	1500
Сотовый телефон	40	200

Различают его тепловое и биологическое воздействие.

Тепловое воздействие является следствием поглощения энергии излучения. Чем выше напряженность поля и больше время его воздействия, тем сильнее проявляется тепловое воздействие. При интенсивности энергии более *теплового порога* ($I = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$) в организме начинаются необратимые процессы, так как он не справляется с отводом теплоты и температура тела повышается.



Рис. 78. Биологическое действие электромагнитных полей

Биологическое воздействие проявляется в ослаблении биологической активности белковых структур, нарушении сердечно-сосудистой системы и обмена веществ (рис. 78). Это воздействие проявляется при интенсивности электромагнитного поля менее *теплового порога*.

Воздействие микроволнового излучения особенно вредно для глаз, мозга, почек, желуд-

ка, желчного и мочевого пузыря — органов, у которых ткани имеют слаборазвитую сосудистую систему или недостаточное кровообращение. Например, облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте) и ожогам роговицы.

Инфракрасное (тепловое) излучение, поглощаясь тканями, вызывает тепловой эффект. Это излучение наиболее поражает кожные покровы и глаза. При остром повреждении кожи возможны ожоги, резкое расширение капилляров, усиление пигментации кожи. При хроническом облучении появляется стойкое изменение пигментации, красный цвет лица, например у стеклодувов, сталеваров. Повышение температуры тела ухудшает самочувствие человека, снижает его работоспособность.

Световое излучение при высоких энергиях также представляет опасность для кожи и глаз. Пульсации яркого света ухудшают зрение, снижают работоспособность, воздействуют на нервную систему.

Ультрафиолетовое излучение в большом количестве может привести к ожогам глаз вплоть до временной или полной потери зрения, остроуму воспалению кожи с покраснением, иногда с отеком и образованием пузырей. При этом может наблюдаться также повышение температуры, озноб, головная боль.

Воздействие **лазерного излучения** на человека зависит от интенсивности излучения, длины волны (инфракрасного, видимого или ультрафиолетового диапазона), характера излучения (непрерывное или импульсное), времени воздействия.

Слишком большие дозы или частые обследования с помощью *рентгеновских лучей* могут вызвать серьезные заболевания.

► Предупреждающий знак о действии опасного электромагнитного излучения приведен на рисунке 79.

Для определения интенсивности электромагнитного излучения используется специальный прибор — флюксметр. Безопасным электромагнитным излучением считается излучение с показателем 0,2—0,3 мкТл.



Рис. 79. Знак «Опасное электромагнитное излучение»



1. Назовите основные источники электромагнитного излучения.
2. Какие основные воздействия на живые организмы оказывает СВЧ-излучение?
3. Какое электромагнитное излучение способно убивать бактерии и микроорганизмы?

4. От каких характеристик электромагнитного излучения (ЭМИ) зависит его влияние на здоровье человека?
5. Какой прибор используется для определения уровня ЭМИ?
6. Почему флюорографию следует проводить не чаще одного раза в год?
7. Какой тип ЭМИ наиболее опасен для здоровья человека?

САМОЕ ВАЖНОЕ В ГЛАВЕ 2

Идеальным колебательным контуром или **LC -контуром** называется электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности.

Период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре определяется **формулой Томсона**:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Полная энергия идеального LC -контура, равная сумме энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки, сохраняется:

$$W = \frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI_0^2}{2} = \frac{q^2(t)}{2C} + \frac{LI^2(t)}{2} = \text{const.}$$



Трансформатор — устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в переменный ток той же частоты, но другого напряжения. Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции.

Тип трансформатора определяется **коэффициентом трансформации**, который равен отношению числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки трансформатора:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}.$$

Если $k > 1$, то трансформатор понижающий, если $k < 1$ — повышающий.

Совокупность связанных друг с другом изменяющихся электрического и магнитного полей называют **электромагнитным полем**.

Электромагнитными волнами называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

Электромагнитные волны являются поперечными, так как колебания напряженности $\vec{E}$ и индукции $\vec{B}$ происходят в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны.

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна скорости распространения света:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$$

Задания для самостоятельных исследований

1. Подготовьте интерактивную презентацию (флаер, плакат, реферат) о деятельности выдающихся физиков (У. Томсон (Кельвин), М. Фарадей, Д. Максвелл, Г. Герц).

2. Подготовьте доклад на тему «Действие электромагнитного излучения от различных бытовых приборов на человека».

3. Подготовьте рефераты на темы: «Переменный ток вокруг нас», «Противостояние Теслы и Эдисона: AC/DC», «Как мы чувствуем электромагнитные волны?»

4. При подключении к сети переменного тока трансформатор начинает характерно «гудеть». Используя школьную модель трансформатора (рис. 80), исследуйте характеристики этого звука. Определите частоту этого гудения, а также оцените громкость звука в различных режимах работы трансформатора.

5. Покройте черной краской одну половину внутренней поверхности банки и сделайте отверстие в ее крышке (рис. 81). Если осветить черную стенку банки лампой накаливания, работающей на переменном токе, то можно услышать отчетливый звук. Объясните наблюдаемое явление. Определите частоту звука и экспериментально установите, как влияют на его громкость такие параметры, как мощность лампы, расстояние до банки, размеры банки.



Рис. 80

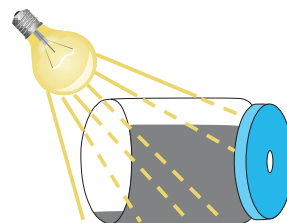


Рис. 81

