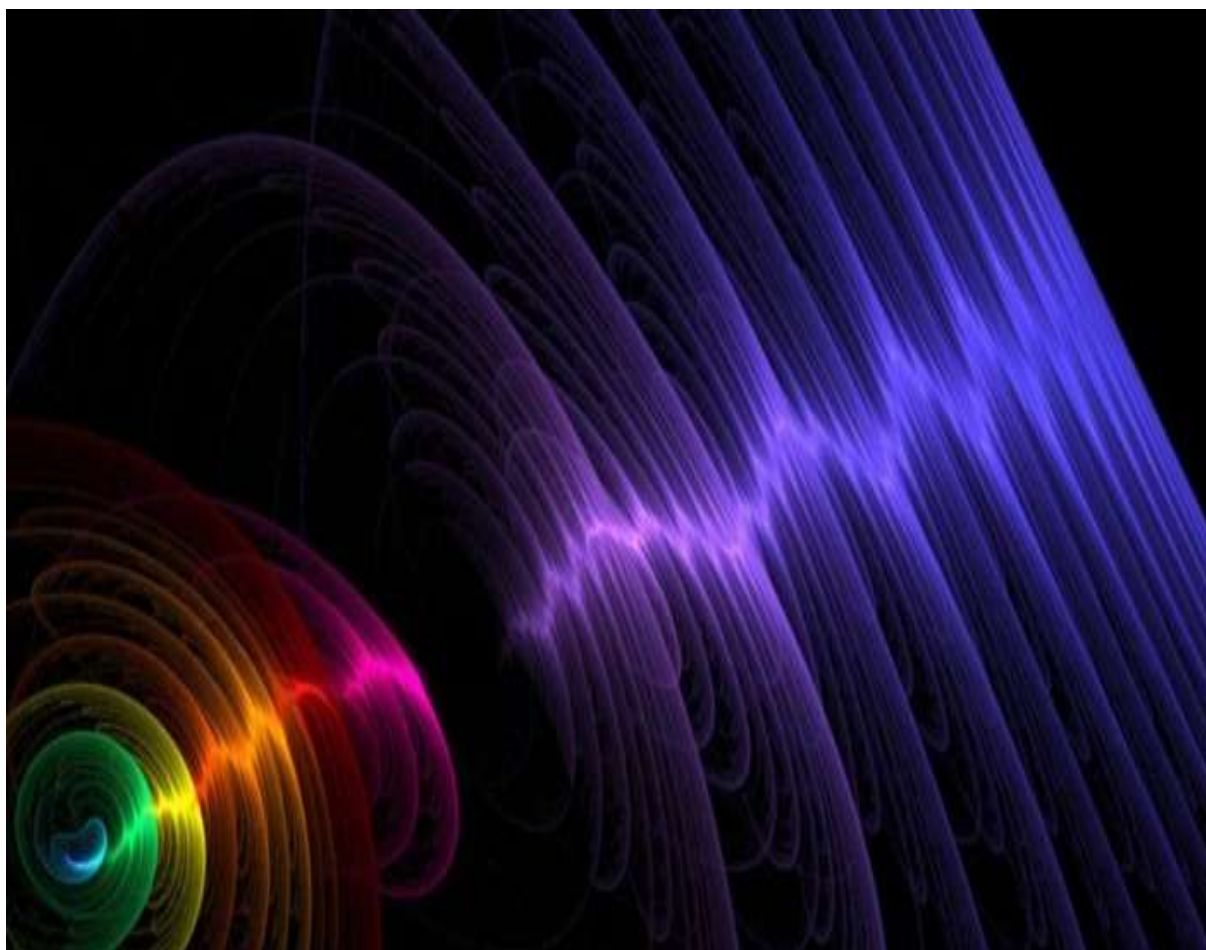


Владимир Викторович Яковлев

Особенности вращения

**ЧАСТЬ 3. Модель электромагнитных волн
на основе новых представлений
о гидродинамических явлениях**



Россия, Пенза, 2018 год

Оглавление

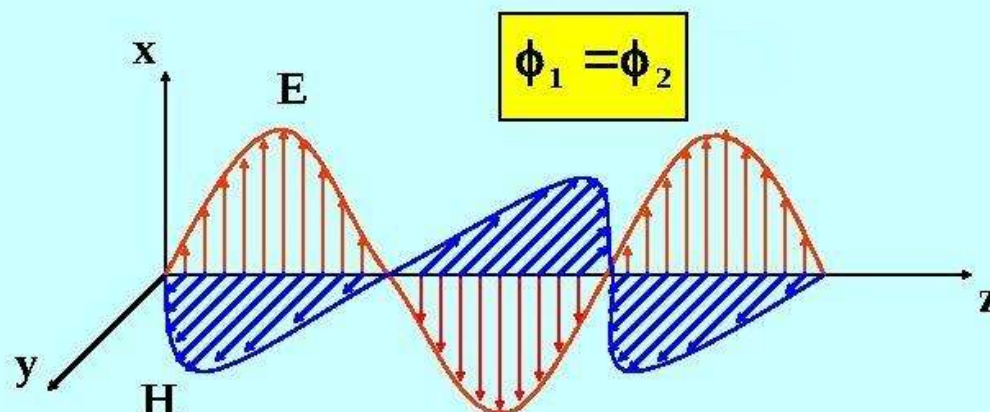
РАЗДЕЛ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛНАХ	3
1. Классификация волн	3
2. Шкала электромагнитных волн	11
3. Условия образования электромагнитных волн	15
4. Структура электромагнитных волн по Максвеллу	19
5. Опыты с электромагнитными волнами	26
РАЗДЕЛ 2. ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН	33
6. Поперечные волны в гидродинамической среде	33
7. Необходимость возврата в обиход среды микромира	43
8. Противоречия современной модели эл.магн. волн	45
9. Разрешение противоречий электрического вектора	48
10. Разрешение противоречий магнитного вектора	54
Литература	61

РАЗДЕЛ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛНАХ

В распространяющейся ЭМВ вектора $\vec{E}$ и $\vec{H}$ жёстко связаны пропорциональной зависимостью:

$$\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E = \sqrt{\mu\mu_0} H$$

И колеблются в одинаковой фазе:



1. Классификация волн

Колебания и волны Горелика: «Слово “волна” возникло задолго до того, как родилась наука. Оно обозначает в своем первоначальном смысле, как всем известно, то чередование движущихся следом друг за другом горбов и впадин, которые видны почти всегда на поверхности моря или большого озера... В физике волнами или волной называют всякое плывущее со временем пространственное чередование максимумов и минимумов любой физической величины, например плотности вещества, напряженности электрического поля, температуры».

Информация из энциклопедии “Традиция”: «Волна — изменение состояния среды (возмущение), распространяющееся в этой среде и переносящее с собой энергию. ...волнами или волной называют изменяющееся со временем пространственное чередование максимумов и минимумов любой физической величины, например, плотности вещества, напряжённости электрического поля, температуры.

Более правильное определение: Волна — это явление распространения в пространстве с течением времени возмущения физической величины. Независимо от природы волны перенос энергии осуществляется без переноса вещества; последнее может возникнуть лишь как побочный эффект. Перенос энергии — принципиальное отличие волн от колебаний, в которых происходят лишь «местные» преобразования энергии. Волны же, как правило, способны удаляться на значительные расстояния от места

своего возникновения. По этой причине волны иногда называют «колебанием, оторвавшимся от излучателя». И все же возможен вариант волн, где происходит волновой перенос именно материи, а не только энергии. Это возможность материального излучения, имеющего волновые изменения количества излучаемой материи. Такие волны способны распространяться сквозь абсолютную пустоту. Большинство волн по своей природе являются не новыми физическими явлениями, а лишь условным названием для определённого вида коллективного движения. Так, если в объёме газа возникла звуковая волна, то это не значит, что в этом объёме появились какие-то новые физические объекты. Звук — это лишь название для особого скоординированного типа движения тех же самых молекул. То есть большинство волн — это колебания некоторой среды. Вне этой среды волны данного типа не существуют (например, звук в вакууме).

В отличие от стационарного колебания волны имеют две основные характеристики:

- 1) временную периодичность - скорость изменения фазы с течением времени в какой-то заданной точке, называемую частотой волны f ;
 - 2) пространственную периодичность - скорость изменения фазы в определённый момент времени с изменением координаты - длина волны λ .
- Временная и пространственная периодичности взаимосвязаны, что отражено в законе дисперсии, который определяет, как именно волны будут выглядеть и распространяться. В упрощённом виде для линейных волн эта зависимость имеет следующий вид: $f=c/\lambda$, где: c — скорость распространения волны в данной среде. Строго говоря, это равенство справедливо только для гармоничных волн.

О силе волны судят по её амплитуде. В отличие от колебания амплитуда волны — скалярная величина. Но для количественной характеристики переносимой волной энергии используется вектор плотности потока энергии I . Его направление совпадает с направлением переноса энергии, а абсолютная величина равна количеству энергии, переносимой волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению вектора. При небольших амплитудах: $I=kA^2$,

где A — амплитуда; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от природы волны и свойств среды, где эта волна распространяется».

Имеется множество классификаций волн, различающихся по своей физической природе, по конкретному механизму распространения, по среде распространения и т. п. Рассмотрим следующие классификации:

- a) по типу субстанции;
- b) по признаку распространения в пространстве;
- c) по отношению к направлению колебаний частиц среды;
- d) по геометрии фронта волны;
- e) по характеру волны;
- f) по математическому описанию;
- g) по времени возбуждения субстанции.

Классификация волн по типу субстанции:

1). Механические упругие волны в твёрдых материалах;

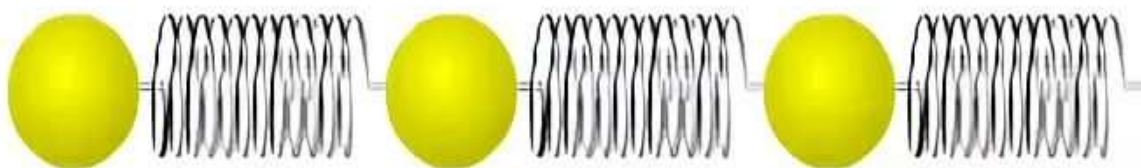


Рисунок 1-1. Имитатор упругих продольных и поперечных волн

2). Волны внутри гидродинамической среды;



Рисунок 1-2. Звучание камертона распространяется внутри атмосферы

3). Поверхностные волны на границе двух сред;

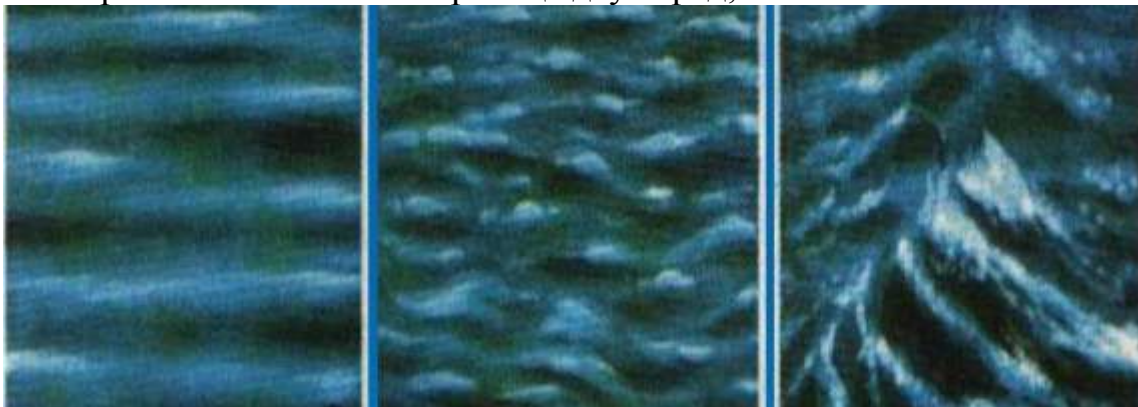


Рисунок 1-3. Волны на поверхности воды

4). Волны в проводящих средах;



Рисунок 1-4. Волны в металлических проводниках применяют в радиотехнике

5). Гравитационные волны.

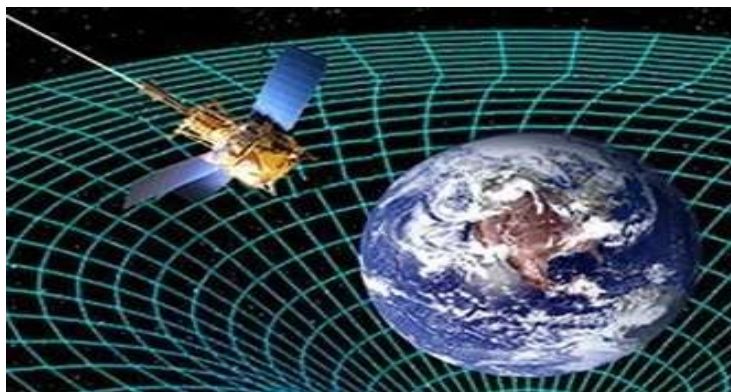


Рисунок 1-5. Гравитационные волны возникают при колебаниях массивных тел

Классификация волн по признаку распространения в пространстве:

1). Бегущие волны

2). Стоячие волны

Энциклопедия 'Википедия': «Бегущая волна — волновое движение, при котором поверхность равных фаз (фазовые волновые фронты) перемещается с конечной скоростью (постоянной для однородной среды). Примерами могут служить упругие волны в стержне, столбе газа или жидкости, электромагнитная волна вдоль длинной линии или в волноводе. В отличие от стоячих волн, бегущие волны при распространении в среде переносят энергию. С бегущей волной, групповая скорость которой отлична от нуля, связан перенос энергии, импульса или других характеристик процесса.

Эволюцию бегущей волны во времени t и пространстве z можно описать выражением:

$y(z, t) = A(z, t) \sin(kz - \omega t + \varphi)$, где $A(z, t)$ - амплитудная огибающая волны, k - волновое число и φ - фаза колебаний.

Фазовая скорость v_p этой волны даётся выражением

$v_p = \omega / k = \lambda f$, где λ — это длина волны.



Рисунок 1-6. Пример бегущей волны

Стоячая волна — колебательный (волновой) процесс в распределённых колебательных системах с характерным устойчивым в пространстве расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды. Такой колебательный процесс возникает при интерференции нескольких когерентных волн. Стоячая волна возникает при отражении волны от преград и неоднородностей в результате взаимодействия (интерференции) падающей и отражённой волн.



Рисунок 1-7. Пример стоячей волны

На результат интерференции влияют частота колебаний, модуль и фаза коэффициента отражения, направления распространения падающей и отраженной волн друг относительно друга, изменение или сохранение поляризации волн при отражении, коэффициент затухания волн в среде распространения. Строго говоря, стоячая волна может существовать только при отсутствии потерь в среде распространения (или в активной среде) и полном отражении падающей волны».

Классификация волн по отношению к направлению колебаний частиц среды:



Рисунок 1-8. Поперечные волны (а) и продольные волны (б)

- 1). Продольные волны - частицы среды колеблются параллельно по направлению распространения волны;
- 2). Поперечные волны - частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны;
- 3). Смешанные волны – одновременное участие частиц среды и в продольных и в поперечных колебаниях.

Классификация волн по геометрии фронта волны:

- 1). Сферические волны - поверхностью равных фаз является сфера;
- 2). Цилиндрические волны - поверхность фаз напоминает цилиндр;
- 3). Спиральные волны - образуются в случае, если сферический или цилиндрический источник/источники волны в процессе излучения движется по некоторой замкнутой кривой;
- 4). Плоские волны - плоскости фаз перпендикулярны направлению распространения волны и параллельны друг другу.

Волновая и квантовая оптика Старостиной: «Процесс распространения волны в некоторой среде называется волновым процессом. Геометрическое место точек, до которых доходит волновое возмущение к данному моменту времени называется волновым фронтом. Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью. Волновых поверхностей можно провести бесконечное множество, а волновой фронт для данного момента времени только один». В однородной изотропной среде скорость распространения волны одинакова по всем направлениям, значит, все точки фронта колеблются в одной фазе, фронт перпендикулярен направлению распространения волны, значения колеблющейся величины во всех точках фронта одинаковы».

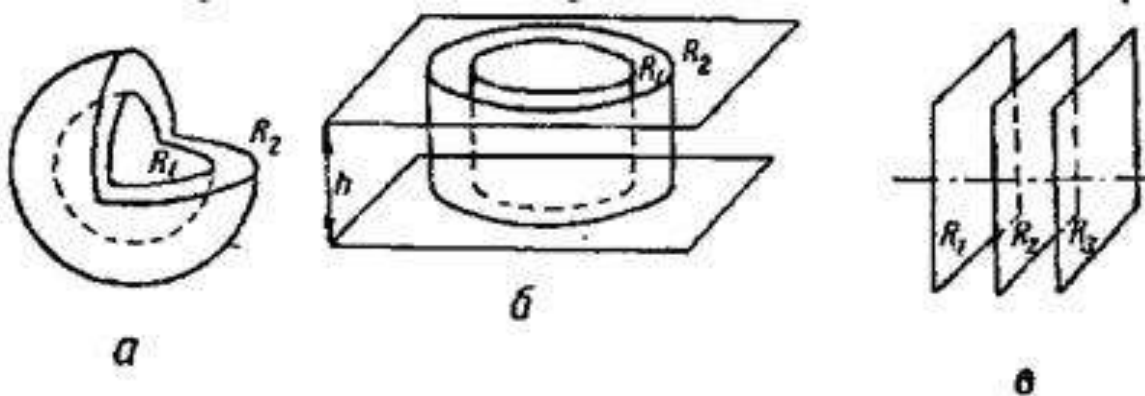


Рисунок 1-9. Вид волн: сферической (а), цилиндрической (б), плоской (в)

Основы радиотехники Францевича: «Сферической называется волна, фронт которой имеет вид сферы. Сферическая электромагнитная волна может быть получена в однородной и изотропной среде при использовании точечного излучателя, т. е. излучателя, размерами которого можно пренебречь по сравнению с длиной волны. При сферической волне напряженность поля убывает обратно пропорционально расстоянию от излучателя и не зависит от направления. Сферическая волна характеризует равномерное излучение энергии во все стороны пространства. Все реальные антенны излучают энергию по разным направлениям различно. Поэтому в реальных условиях электромагнитную волну можно рассматривать как сферическую лишь в некоторых условиях и с определенной степенью приближения. Цилиндрической называется волна, фронт которой имеет вид цилиндра. Цилиндрическая электромагнитная волна может быть получена с помощью прямолинейного излучателя большой длины (по сравнению с длиной волны) или в случае распространения волны в пространстве, ограниченном двумя параллельными плоскостями. При цилиндрической волне напряженность поля в направлении её распространения убывает обратно пропорционально корню квадратному из расстояния от излучателя. С известным приближением в качестве цилиндрических могут рассматриваться волны, распространяющиеся между поверхностью земли и верхними слоями земной атмосферы. Плоской называется волна, фронт которой имеет вид плоскости. С известной степенью приближения в качестве плоской волны

могут рассматриваться сферическая и цилиндрическая волны на больших расстояниях от излучателя. При этом, чем больше расстояние от излучателя, тем меньше отличается фронт волны от плоскости в рассматриваемой области. При плоской волне напряженность поля не зависит от расстояния до излучателя».

Классификация волн по характеру волны:

- 1). Колебательные волны;
- 2). Уединённые волны (солитоны).

Энциклопедия 'Википедия': «Солитон - структурно устойчивая уединённая волна, распространяющаяся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам (частицеподобная волна): при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются, а продолжают движение, сохраняя свою структуру неизменной.

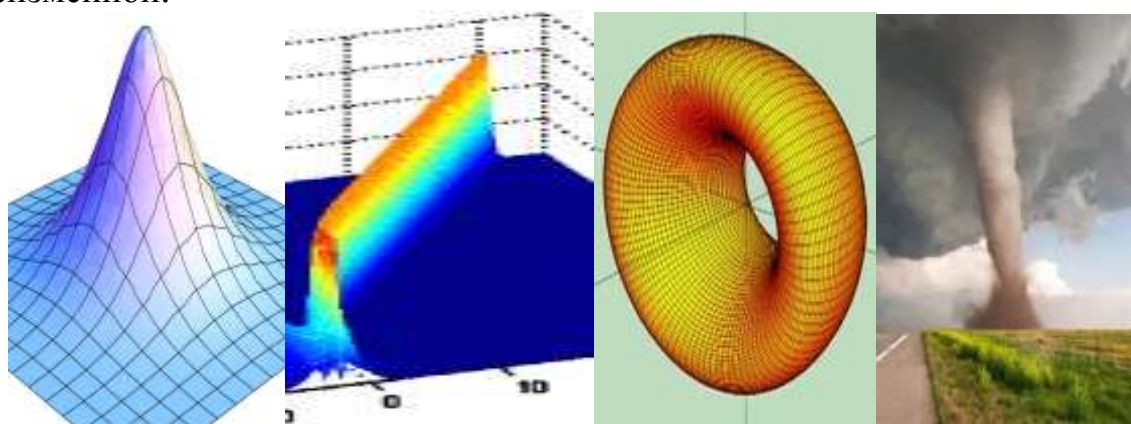


Рисунок 1-10. Разновидности солитонов

Классификация волн по математическому описанию:

- 1). Линейные волны — волны с небольшой амплитудой, свойства которых описываются стандартным волновым уравнением для идеальной субстанции;
- 2). Нелинейные волны — волны с большими амплитудами, что приводит к возникновению совершенно новых эффектов и существенно изменяет характер уже известных явлений. К ним, в частности, относят: волны в средах с нелинейными параметрами, изменяющимися со степенью возмущения среды, волны в неоднородных средах; солитоны (уединённые волны); ударные волны, сопровождающиеся нормальными разрывами.

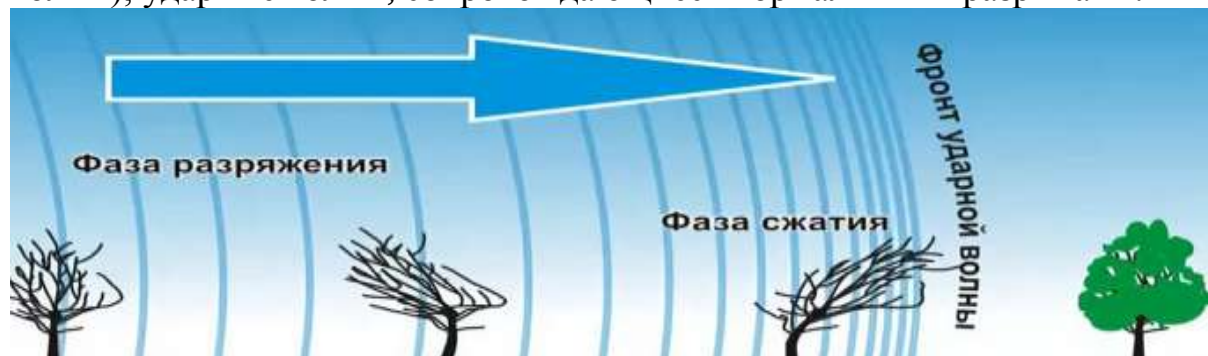


Рисунок 1-11. Прохождение ударной волны в атмосфере

Классификация волн по времени возбуждения субстанции:

1). Монохроматическая волна — линейная волна с гармонической временной зависимостью от колебаний (то есть фурье-спектр которой отличен от нуля на единственной частоте), распространяющаяся в субстанции неопределённое (в математическом описании бесконечное или полубесконечное) время.

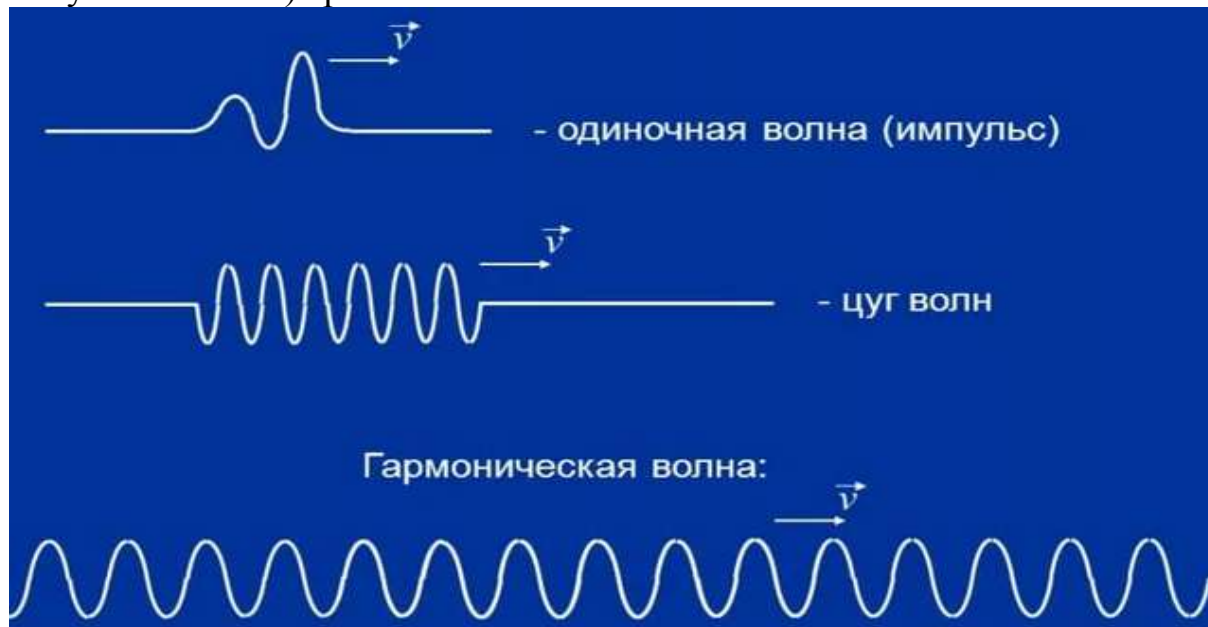


Рисунок 1-12. Разница в длительности возбуждения субстанции

2). Одиночная волна — короткое одиночное возмущение (солитоны). Фурье-спектр такой волны является сплошным, то есть содержит бесконечное число гармонических волн.

3). Волновой пакет — последовательность возмущений, ограниченных во времени, с перерывами между ними. Одно непрерывное возмущение такого ряда называется цугом волн. В теории волновой пакет описывается как сумма всевозможных плоских волн при периодичности последовательности образующих линейчатый спектр, взятых с определёнными весами».

2. Шкала электромагнитных волн

Информация из энциклопедии “Википедия”: «Электромагнитные волны или электромагнитное излучение - это распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. Среди электромагнитных полей, порождённых электрическими зарядами и их движением, принято относить к излучению ту часть переменных электромагнитных полей, которая способна распространяться наиболее далеко от своих источников - движущихся зарядов, затухая наиболее медленно с расстоянием. ...Электромагнитное излучение способно распространяться практически во всех средах. В вакууме (пространстве, свободном от вещества и тел, поглощающих или испускающих электромагнитные волны) электромагнитное излучение распространяется без затуханий на сколь угодно большие расстояния, но в ряде случаев достаточно хорошо распространяется и в пространстве, заполненном веществом (несколько изменяя при этом своё поведение).

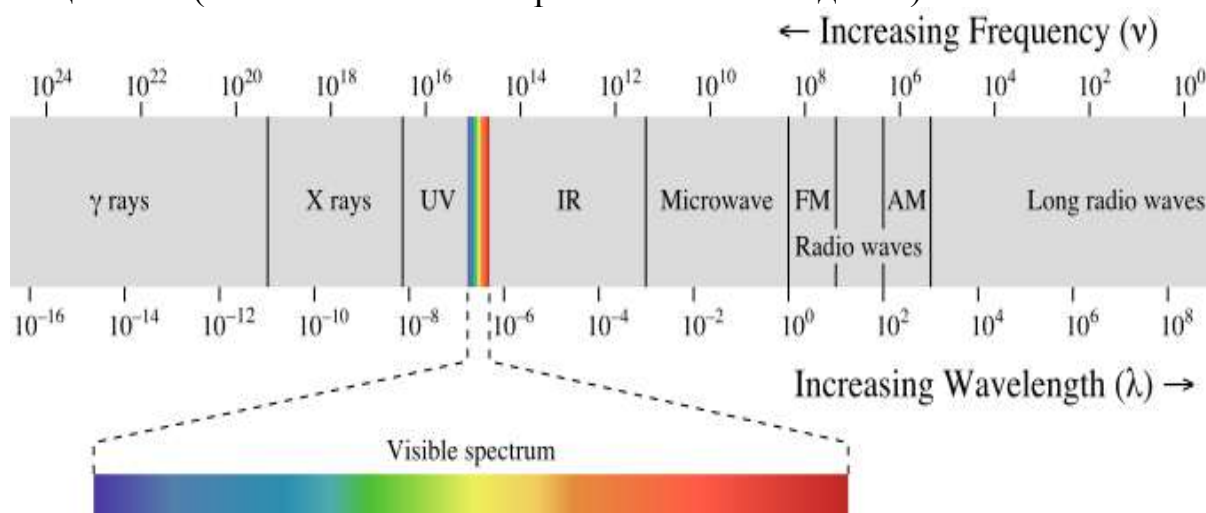


Рисунок 2-1. Распределение электромагнитных волн по частотам

...Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать частоту, длину волны и поляризацию. Длина волны прямо связана с частотой через (групповую) скорость распространения излучения. Групповая скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме равна скорости света, в других средах эта скорость меньше. Фазовая скорость электромагнитного излучения в вакууме также равна скорости света, в различных средах она может быть как меньше, так и больше скорости света. Описанием свойств и параметров электромагнитного излучения в целом занимается электродинамика, хотя свойствами излучения отдельных областей спектра занимаются определённые более специализированные разделы физики. ...Для **оптического излучения** (вплоть до рентгеновского диапазона) применяют оптику (в частности, волновую оптику, когда размеры некоторых частей оптической системы близки к длинам волн; квантовую оптику, когда

существенны процессы поглощения, излучения и рассеяния фотонов; геометрическую оптику — предельный случай волновой оптики, когда длиной волны излучения можно пренебречь). **Гамма-излучение** чаще всего является предметом ядерной физики. ...Электромагнитное излучение принято делить по частотным диапазонам. Между диапазонами нет резких переходов, они иногда перекрываются, а границы между ними условны. Поскольку скорость распространения излучения (в вакууме) постоянна, то частота его колебаний жёстко связана с длиной волны в вакууме.

Таблица 1. Диапазоны электромагнитных волн

Название диапазона	Длины волн	Частоты	Источники излучений
Сверхдлинные р.волны	Более 10 км	Менее 30 кГц	Атмосферные и магнитосферные явления. Радиосвязь.
Длинные радиоволны	1 км-10 км	30 кГц-300 кГц	
Средние радиоволны	100 м-1 км	300 кГц-3 МГц	
Короткие радиоволны	10 м-100 м	3 МГц-30 МГц	
Ультракороткие р.волны	0,1 мм-10 м	30 МГц-3000 ГГц	
Инфракрасное излучение	780 нм-1 мм	300 ГГц-429 ТГц	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях.
Видимое излучение	380 нм-780 нм	429 ТГц-750 ТГц	
Ультрафиолетовое излучение	10 нм-380 нм	$7,5 \cdot 10^{14}$ ГГц- $3 \cdot 10^{16}$ ГГц	Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов.
Рентгеновское излучение	5 пм-10 нм	$3 \cdot 10^{16}$ ГГц- $6 \cdot 10^{19}$ ГГц	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц.
Гамма излучение	Менее 5 пм	более $6 \cdot 10^{19}$ ГГц	Ядерные и космические процессы, радиоактивный распад.

Ультракороткие радиоволны принято разделять на метровые, дециметровые, сантиметровые, миллиметровые и децимиллиметровые волны (гипервысокие частоты, ГВЧ, 300—3000 ГГц) — стандартные диапазоны радиоволн по общепринятой классификации. По другой классификации указанные стандартные диапазоны радиоволн, исключая метровые волны, называют *микроволнами* или волнами сверхвысоких частот (СВЧ). **Ионизирующее электромагнитное излучение.** К этой группе традиционно относят рентгеновское и гамма-излучение, хотя, строго говоря, ионизировать атомы может и ультрафиолетовое излучение, и даже видимый свет. Границы областей рентгеновского и гамма-излучения могут быть определены лишь весьма условно. Для общей ориентировки можно принять, что энергия рентгеновских квантов лежит в пределах 20 эВ — 0,1 МэВ, а энергия гамма-квантов — больше 0,1 МэВ. В узком смысле гамма-излучение испускается ядром, а рентгеновское — атомной электронной оболочкой при выбивании электрона с низколежащих орбит, хотя эта классификация неприменима к жёсткому излучению, генерируемому без участия атомов и ядер (например, синхротронному или тормозному излучению)».

Элементарный учебник физики Ландсберга: «...электромагнитные волны возникают вследствие связи между изменениями электрического и магнитного полей. Всякое изменение напряжённости электрического поля в какой-нибудь точке пространства вызывает в смежных точках появление переменного магнитного поля, изменение которого в свою очередь порождает меняющееся электрическое поле. Именно поэтому происходит передача колебаний электрического и магнитного полей из одной точки пространства в соседние, то есть происходит распространение электромагнитной волны. Мы знаем, что электрическое поле создаётся электрически заряженными телами, а магнитное поле окружает проводники, по которым течёт электрический ток (то есть происходит перемещение электрических зарядов). Если электрические заряды неподвижны, то и создаваемое ими электрическое поле остаётся всё время одним и тем же, не меняется. Если заряды движутся (например, в металлической проволоке) равномерно, то мы имеем постоянный ток, создающий постоянное же, не изменяющееся магнитное поле. Таким образом, в обоих случаях электрическое и магнитное поля неизменны, а значит, и электромагнитная волна возникнуть не может. Но при неравномерном движении электрических зарядов, в частности при всяком их колебании, а значит, и при всяком переменном токе электрическое и магнитное поля будут меняться с течением времени. Эти изменения передаются от точки к точке и, следовательно, распространяются во все стороны, образуя электромагнитную волну. ...Опыты Герца, доказавшие существование электромагнитных волн и позволившие подтвердить заключение Максвелла о том, что эти волны распространяются с такой же скоростью, как и свет, послужили сильным доводом в пользу электромагнитной теории света. Исследования, производившиеся в самых разнообразных областях физики, позволили установить, что диапазон частот электромагнитных волн чрезвычайно широк».



Рисунок 2-2. Шкала электромагнитных волн

Источниками низкочастотных электромагнитных волн частотой до 3кГц является в основном электротехнологическое оборудование. Любое устройство, в котором текут промышленные электрические токи, излучает в пространство низкочастотные волны, являющиеся вредными ради шумами. В частности, это могут быть линии электропередач, трансформаторные подстанции, электростанции, кабельные линии связи, электродвигатели, электронные приборы, компьютеры, электровозы, троллейбусы, трамваи.

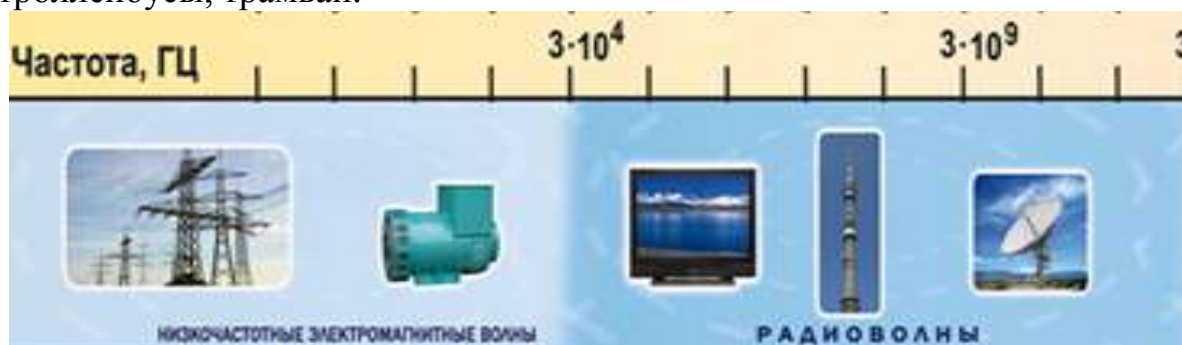


Рисунок 2-3. Источники низкочастотных волн и радиоволн

Радиоволны частотой от 3 кгц до 300 ГГц излучают специализированные передатчики энергии или информации. Передачу информации используют радио, телевидение, радиотелефоны, спутниковая радиосвязь, радиолокаторы. Передачу энергию осуществляет различное технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение (например, СВЧ-печи, медицинские приборы).



Рисунок 2-4. Источники высокочастотных электромагнитных волн

Инфракрасное излучение исходит от любых нагретых тел: чем сильнее нагрето тело, тем более высокие частоты электромагнитных волн оно излучает. В быту широко используется для отопления помещений. При очень сильном нагреве вещество начинает излучать видимый свет и ультрафиолетовое излучение. Видимый свет в быту используется для освещения помещений, ультрафиолет применяют в соляриях. Рентгеновское излучение получают в промышленно изготавливаемых рентгеновских трубках, используют в рентгеновских аппаратах в медицине. Гамма-излучение выделяется в ускорителях, при работе ядерных реакторов и при взрыве атомной бомбы.

3. Условия образования электромагнитных волн

Курс физики Трофимовой: «Источником электромагнитных волн в действительности может быть любой электрический колебательный контур или проводник, по которому течет переменный электрический ток (ускоренное движение зарядов в проводнике), так как для возбуждения электромагнитных волн необходимо создать в пространстве переменное электрическое поле (ток смещения) или соответственно переменное магнитное поле.

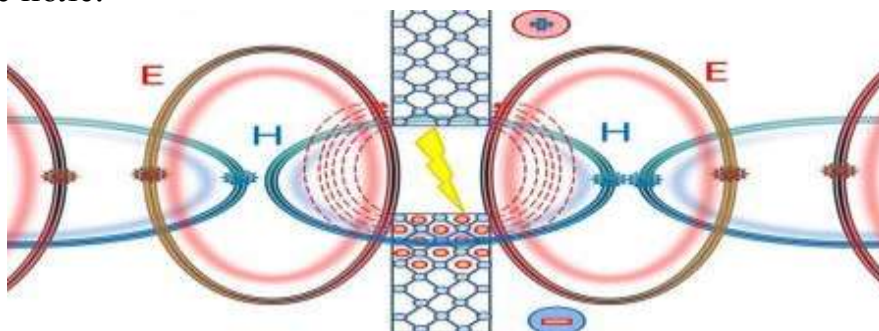


Рисунок 3-1. Возникновение эл.м. волны при ускоренном движении зарядов

Однако излучающая способность источника определяется его формой, размерами и частотой колебаний. Чтобы излучение играло заметную роль, необходимо увеличить объем пространства, в котором создается переменное электромагнитное поле.

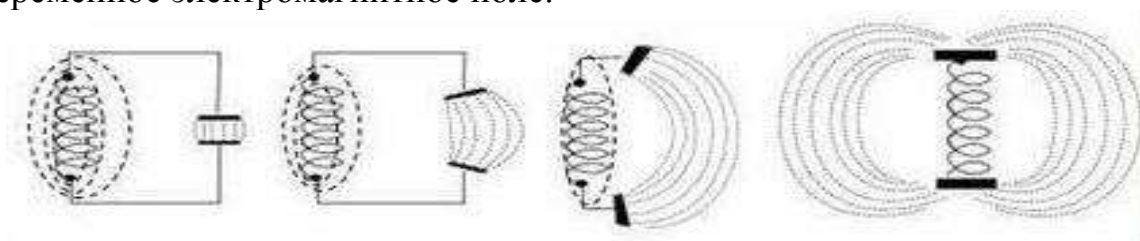


Рисунок 3-2. Увеличение пространства при раздвигании обкладок конденсатора

Поэтому для получения электромагнитных волн непригодны закрытые колебательные контуры, так как в них эл. поле сосредоточено между обкладками конденсатора, а магнитное - внутри катушки индуктивности».



Рисунок 3-3. Электромагнитный замкнутый колебательный контур LC

Элементарный учебник физики Ландсберга: «Возникновение электрического поля в результате изменения магнитного есть не что иное, как явление электромагнитной индукции, открытое на опыте М.Фарадеем в 1831 г.



Рисунок 3-4. Изменения магнитного поля вызывают появление эл. поля

Обратное же явление - возникновение магнитного поля при всяком изменении электрического — было теоретически предсказано английским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом.

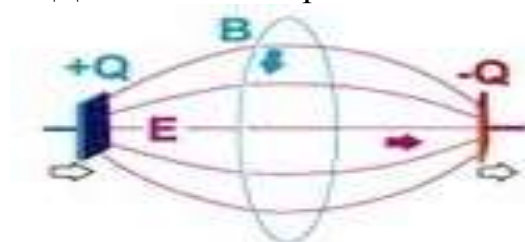


Рисунок 3-5. Изменения эл. поля вызывают появление магнитного поля

Исходя из предположения о существовании такого явления, Максвелл и пришел к выводу о необходимости возникновения электромагнитных волн при всяком изменении электромагнитного поля. Согласно теории Максвелла индукция магнитного поля, возникающего при изменении электрического поля, тем больше, чем быстрее происходят изменения электрического поля. Положение здесь такое же, как и в явлении электромагнитной индукции, где напряженность электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля, тем больше, чем быстрее меняется магнитное поле. Таким образом, необходимым условием образования интенсивных электромагнитных волн является достаточно высокая частота электрических колебаний. Для успеха опытов низкая частота городского тока 50 Гц совершенно недостаточна (интенсивность излучения пропорциональна четвёртой степени частоты). ...высокая частота электрических колебаний в какой-либо цепи, будучи необходимым условием для получения сильных электромагнитных полей, еще не является достаточным условием для хорошего излучения электромагнитных волн этой цепью. Причина заключается в том, что колебательный контур представляет собой почти замкнутую цепь, размеры которой малы по сравнению с длиной волны, соответствующей частоте колебаний контура. В такой цепи для каждого ее участка с одним направлением тока или знаком заряда можно подыскать другой близкий участок, в котором в тот же момент времени направление тока или знак заряда противоположны.

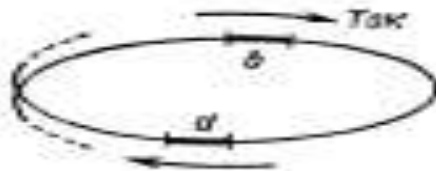


Рисунок 3-6. Один виток катушки с током

Возьмем, например, один из витков катушки индуктивности. В любых диаметрально противоположных участках а и б витка во всякий момент времени токи направлены противоположно друг другу. Следовательно, на больших расстояниях от витка участки а и б действуют как два близких противофазных излучателя. Волны, излученные этими двумя участками, всюду ослабляют друг друга подобно излучению двух ножек камертона. Так как весь виток состоит из таких пар противофазных излучателей, то и виток в целом излучает плохо, а значит, плохо излучает и вся катушка. Аналогично обстоит дело и с конденсатором контура: в любой момент времени заряды обкладок равны по модулю и противоположны по знаку. Эти разноименные заряды удалены друг от друга гораздо меньше, чем на полволны (при малой частоте длина волны велика, поэтому излучаемые волны исходят как бы из одной точки, а фазы их противоположны). Из сказанного ясно, какой должна быть электрическая цепь, чтобы она могла хорошо излучать: необходимо перейти к незамкнутой (открытой) цепи, в которой либо нет участков с противофазными колебаниями, либо же расстояние между ними не мало по сравнению с длиной волны. Рисунки ниже иллюстрируют переход от почти замкнутого контура (разрывом является тонкий слой изоляции между обкладками) к незамкнутой системе, называемой электрическим вибратором и представляющей собой простейший излучатель электромагнитных волн (слева – линейный вибратор, справа – вибратор Герца).

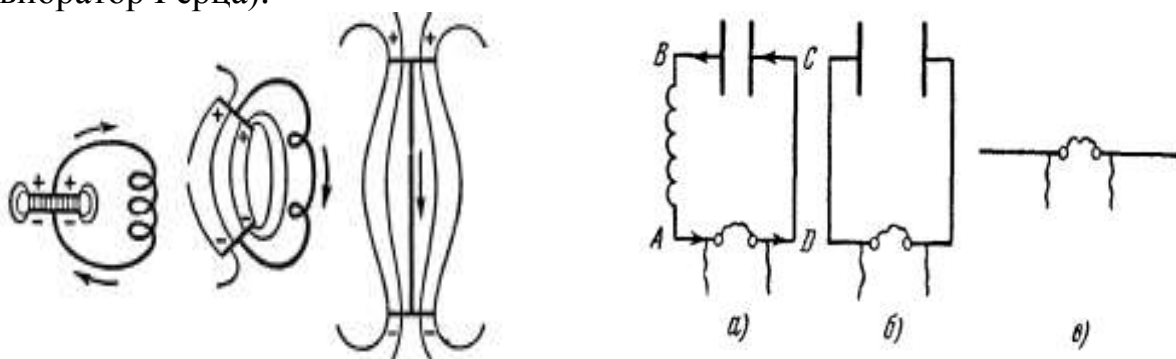


Рисунок 3-7. Переход от контура к открытым вибраторам

...формула Томсона, определяющая собственную частоту колебаний в контуре LC, к вибратору неприменима. ...электрические колебания в прямолинейном вибраторе аналогичны колебаниям струны или столба воздуха в трубе. В случае струны и масса, и упругость распределены по всей ее длине. Совершенно так же и в вибраторе емкость и индуктивность распределены по всей его длине, в отличие от

томсоновского контура, у которого емкость сосредоточена в конденсаторе, а индуктивность — в катушке. В соответствии с этим и закономерности электрических колебаний в вибраторе оказываются такими же, как закономерности механических колебаний струны. Нетрудно заметить, что распределение тока в вибраторе (достигает наибольшего значения в середине и равно нулю на концах) в точности повторяет распределение амплитуды колебаний у закрепленной с обоих концов струны. Распределение же заряда на вибраторе (достигает наибольшего значения на концах и равно нулю в середине) такое же, как распределение амплитуды колебаний в столбе воздуха в случае трубы, открытой с обоих концов. Мы можем заключить отсюда, что колебания в вибраторе суть не что иное, как стоячая волна тока и заряда. При этом в центре вибратора находится узел колебаний заряда и пучность тока, а на концах вибратора, наоборот, — узлы тока и пучности заряда. Таким образом, на вибраторе укладывается половина длины волны, т. е. длина вибратора $L = \lambda / 2$. Но длина электромагнитной волны связана с частотой колебаний формулой $\lambda = c / \gamma$, где c — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме. Подставляя это выражение в предыдущую формулу, мы получаем следующее простое выражение для собственной частоты вибратора: $\gamma = c / 2L$. Это — основная (наиболее низкая) собственная частота. Так же, как и у струны, в вибраторе могут происходить колебания на обертонах, когда на его длине укладывается две, три, четыре и т. д. полуволны. Частота этих обертонов соответственно в два, три, четыре и т. д. раза выше γ . Мы видим, что в любой момент времени ток в вибраторе хотя и различен по силе в разных точках, но во всех точках течет в одну сторону. Здесь нет участков с противофазными колебаниями тока. Далее, колебания зарядов на обеих половинках вибратора противофазны (так как заряды разноименны), но зато концы вибратора, на которых находятся пучности зарядов, уже не близки друг к другу, а разведены на расстояние в полволны. Именно по этим причинам вибратор (антенна) излучает электромагнитные волны гораздо лучше, чем колебательный контур. Антенна и является самым излучателем волн, играя такую же роль, как резонансный ящик для камертона или дека музыкального инструмента для струны. Излучаемая антенной энергия пропорциональна квадрату амплитуды этих колебаний. Естественно поэтому увеличивать амплитуду колебаний в антенне, воспользовавшись для этого настройкой антенны в резонанс на частоту генератора. В случае простого вибратора для этого достаточно сделать его длину равной половине длины волны, соответствующей частоте генератора».

4. Структура электромагнитных волн по Максвеллу

Курс общей физики Фриша: «Рассмотрим процесс образования электромагнитных волн сперва на примере простейшей теоретической схемы, а затем укажем технические способы их осуществления. Предположим, что мы имеем контур, в котором поддерживаются тем или иным способом электрические колебания. Пусть этот контур характеризуется емкостью C и коэффициентом самоиндукции L . Если колебания в нем происходят с периодом T , равным периоду собственных колебаний, то величина этого периода определяется формулой:

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

В результате этих колебаний в области контура создаются переменные электрическое и магнитное поля. Например, если мы рассматриваем пространство между обкладками конденсатора, то в нем периодически, с периодом T , меняются напряженность электрического поля и величина тока смещения, вследствие чего создается переменное во времени вихревое магнитное поле. Чтобы распространение электромагнитных волн играло заметную роль, или, как говорят, чтобы система заметно излучала, надо создать такие условия, чтобы область, в которой образуется ток смещения и где отличен от нуля вектор $\mathbf{B}$, была, по возможности, менее обособленной от окружающего пространства. Если взять плоский конденсатор с малым расстоянием между обкладками и самоиндукцию в виде соленоида с плотно расположенными витками, то практически поле будет почти полностью сосредоточено между обкладками и внутри соленоида. Для того чтобы излучение возросло, следует увеличить расстояние между обкладками конденсатора и осуществить участок цепи, обладающий самоиндукцией не в виде катушки, а в виде более открытого контура. Увеличивая расстояние между обкладками и заменяя соленоид линейным проводником, мы будем получать контуры типов, изображенных на рисунке ниже. Очевидно, что емкость и самоиндукция при таком изменении контуров станут значительно меньше, чем в первоначальной схеме, а следовательно, станет меньше, чем в первоначальной схеме, и период собственных колебаний системы.

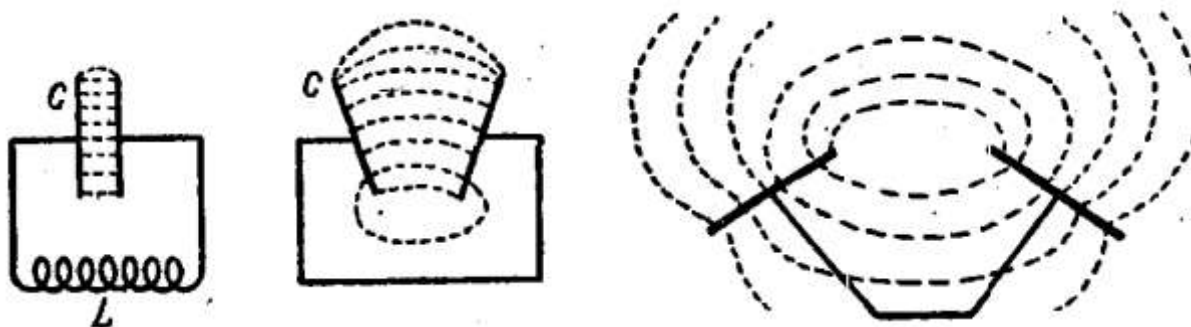


Рисунок 4-1. Колебательные контуры различной степени открытости

Колебания в таких контурах поддерживаются путем подвода энергии к обкладкам конденсатора от какого-либо источника переменной э. д. с.

Чтобы увеличить разность потенциалов, до которой первоначально заряжаются обкладки, можно в проводнике, соединяющем обкладки, сделать разрыв — так называемый искровой промежуток. Благодаря искровому промежутку цепь оказывается разомкнутой вплоть до того момента, пока разность потенциалов обеих частей цепи не достигнет значения пробивного потенциала искрового промежутка. Когда произойдет пробой, в искровом промежутке возникнет искра, соединяющая обе части в один проводящий контур, в котором и возникнут электрические колебания. Можно обкладки конденсатора устранить совсем и сделать колебательную систему, называемую вибратором Герца, из двух металлических стержней, разделенных искровым промежутком.

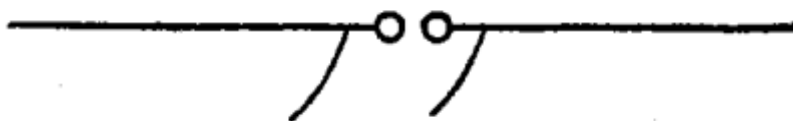


Рисунок 4-2. Антенна "вибратор Герца" с искровым промежутком

Устранение обкладок приведет к чрезмерному уменьшению емкости; чтобы увеличить емкость, стержни, образующие колебательную систему, можно снабдить у границ искрового промежутка сферическими утолщениями. Именно такой колебательный контур использовал в своих опытах Герц. Колебания в нём возбуждаются присоединением его ко вторичной обмотке индукционной катушки.



Рисунок 4-3. Внешний вид модификации вибратора Герца

Колебательный процесс при этом носит следующий характер. Когда разность потенциалов достигает значительной величины и в искровом промежутке проскакивает искра, в вибраторе устанавливаются затухающие колебания, период которых определяется емкостью и самоиндукцией вибратора. После многократной перезарядки обеих

половин вибратора колебания затухают, так как энергия, полученная вибратором при его зарядке, расходуется на излучение и на ленц-джоулево тепло. После этого индуктор вновь заряжает вибратор, и процесс повторяется. Период зарядки вибратора от индуктора определяется периодом работы прерывателя индуктора; этот период значительно больше, чем период колебаний вибратора. В самом диполе при колебании течет ток высокой частоты (в опытах Герца частота порядка 10^8 Гц), который на концах диполя отражается и меняет направление на обратное: в диполе происходит интерференция бегущей и отраженной волн, в результате чего в нем устанавливаются стоячие волны. Это означает, что амплитуда тока в различных местах диполя имеет разное значение, при этом у концов диполя сила тока имеет узел, а в середине — пучность. Таким образом, в колеблющемся диполе в разных сечениях проводника сила тока в один и тот же момент времени имеет разное значение. Это — пример „не-квазистационарного" процесса. Согласно теории Максвелла, полный ток, т. е. совокупность тока проводимости и тока смещения, остается одним и тем же для всех сечений диполя. Отсюда следует, что в тех местах, где ток проводимости равен нулю, ток смещения имеет максимальное значение. При периодическом процессе амплитуда тока смещения наибольшая в тех местах, где имеет наибольшее значение амплитуда электрической напряженности. Таким образом, амплитуда напряженности максимальна в точках, где амплитуда тока проводимости равна нулю. Пучности электрической напряженности расположены у концов диполя, узел — посередине.

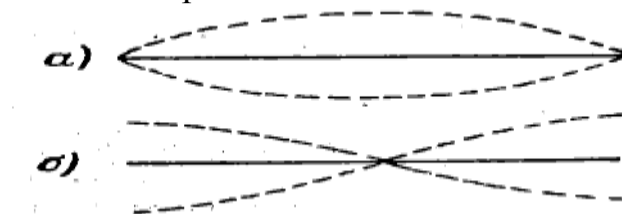


Рисунок 4-4. Распределение тока (а) и эл. напряженности (б) в диполе

Схематически диполь можно представить, как два равных и разноименных заряда $+q$ и $-q$, расстояние между которыми периодически меняется. Электрическое поле неизменного диполя характеризуется линиями напряженности, которые начинаются на одном заряде и кончаются на другом. Не так, вообще говоря, обстоит дело, если заряды, образующие диполь, движутся. Это происходит из-за того, что поле распространяется в пространстве с конечной скоростью и, следовательно, значение напряженности E в какой-либо точке, удаленной от диполя, в определенный момент времени соответствует расположению зарядов диполя не в тот же, а в более ранний момент времени. Поясним это графически. Будем исходить из состояния, когда заряды $+q$ и $-q$, образующие диполь, раздвинуты на некоторое расстояние L (рис. а ниже), и рассмотрим какую-либо линию напряженности, например линию abc .

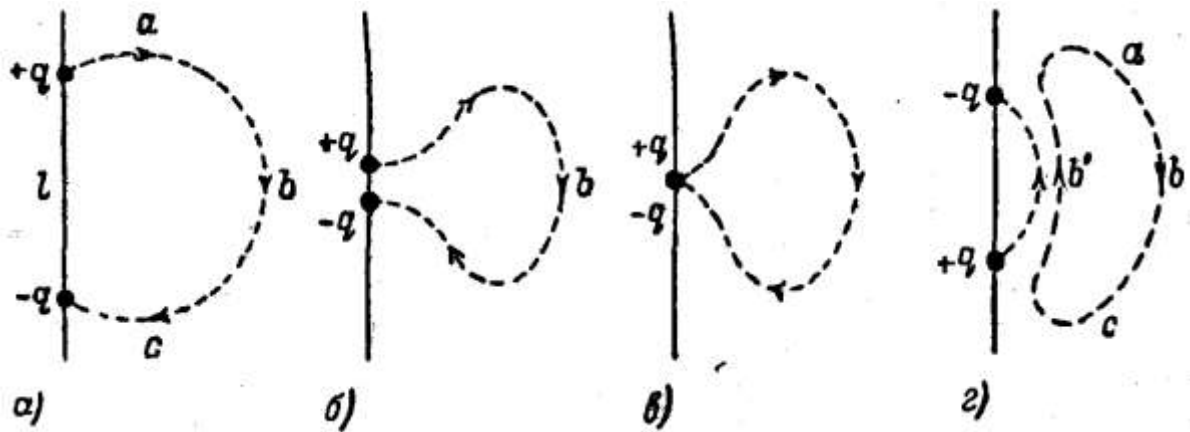


Рисунок 4-5. Линии напряженности в различные моменты времени

По мере сближения зарядов, линия напряженности изменит форму, так как, например, в точке b значение напряженности E соответствует не данному расположению зарядов, а их расположению в более ранний момент времени. Линия примет вид, изображенный на рис. б. Когда оба заряда совместятся, линия напряженности будет иметь форму петли (рис.в). При дальнейшем движении зарядов в поле образуется замкнутая линия напряженности (рис. г). Возникшее электрическое поле будет, таким образом, носить вихревой характер. Образовавшиеся замкнутые линии переменного электрического поля поведут к возникновению, по гипотезе Максвелла, замкнутых линий переменного магнитного поля.

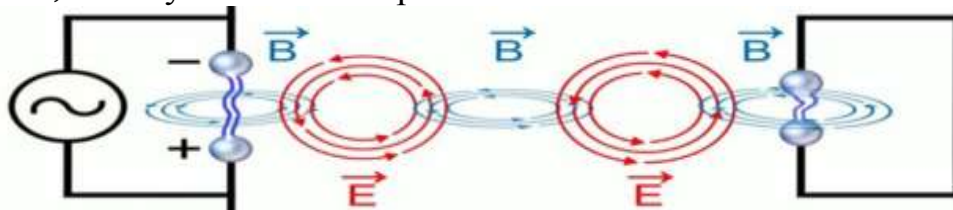


Рисунок 4-6. Распространение эл.м.волны по Максвеллу

Последние, в свою очередь, поведут к возникновению замкнутых линий электрической напряженности и т.д. Вокруг колеблющегося диполя образуется электромагнитная волна.

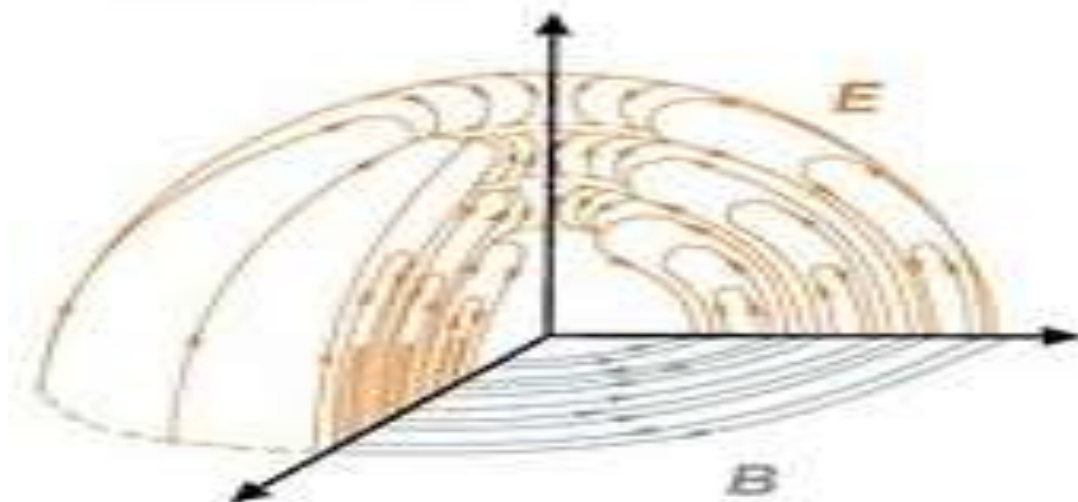


Рисунок 4-7. Объёмное распространение эл.м.волны по Максвеллу

На рисунке ниже - распределение линий электрической напряженности около диполя Герца в некоторый определенный момент времени.

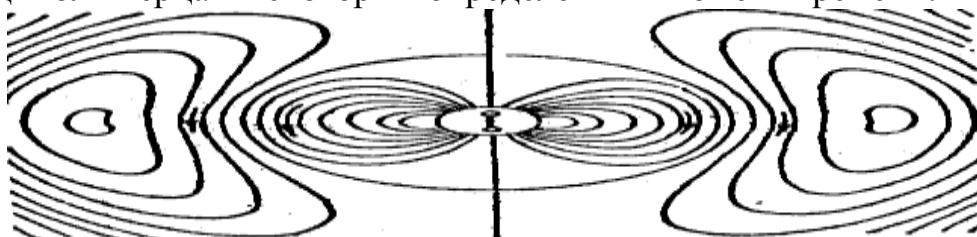


Рисунок 4-8. Линии эл.напряженности около диполя в плоскости

Направление и относительную величину напряженности электрического и магнитного полей в волне, возникающей около диполя, можно вычислить, но можно их определить и экспериментально. Электрическое поле можно исследовать, помещая в разные места, „электрический резонатор“, способный реагировать на электрическую напряженность. Таким резонатором может служить прямолинейный провод искровым промежутком ab (рисунок ниже), где слева от резонатора изображен излучающий вибратор.



Рисунок 4-9. Резонатор ab

Если такой диполь не перпендикулярен линиям напряженности электрического поля, то между его концами возникает разность потенциалов, в результате которой в искровом промежутке проскочит искра, которая будет служить индикатором наличия электрического поля.

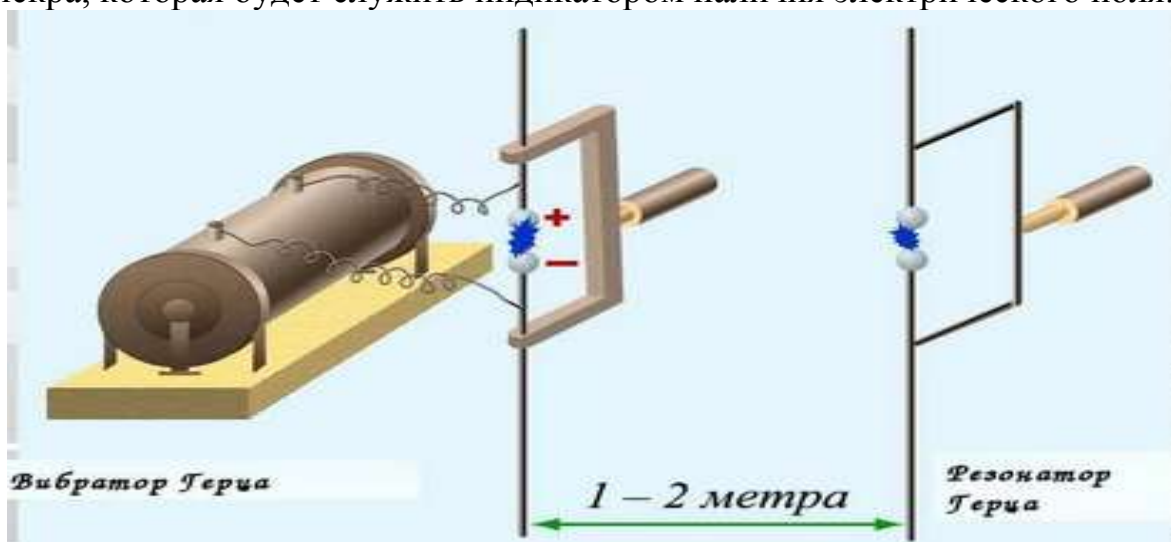


Рисунок 4-10. Одновременное искрение в вибраторе Герца и в резонаторе Герца

Искровой промежуток воспринимающего диполя должен быть мал, так как разность потенциалов на его концах невелика. Магнитное поле можно изучать по его индукционному действию, помещая в различные места поля контур, в котором измеряется ток. Индукционный ток будет зависеть от места расположения контура и его ориентации. Индукционное действие

переменного поля будет наибольшим, когда вектор магнитной индукции нормален к плоскости контура, так как в этом положении быстрее всего меняется магнитный поток через плоскость, ограниченную контуром. Относительная величина вектора напряженности в разных местах пропорциональна величине индукционного тока, возникающего в контуре, при условии, что контур ориентирован нормально к напряженности магнитного поля. Такого типа опыты позволяют установить характер электромагнитного поля, окружающего диполь. Вблизи диполя поле носит характер, но на расстояниях, больших по сравнению с его размерами, в волновой зоне, поле имеет сравнительно простой вид. Примем направление диполя за ось сферической поверхности (рисунок ниже) и проведем по отношению к этой оси на сфере параллели и меридианы.

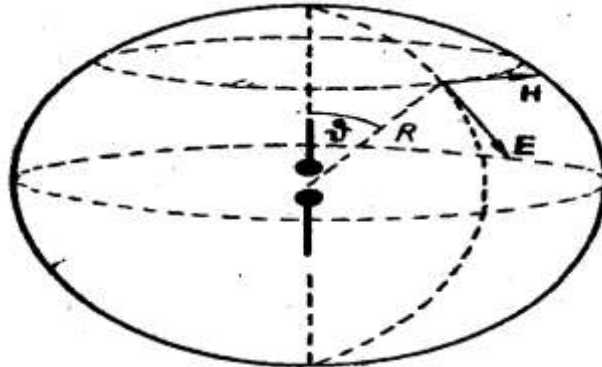


Рисунок 4-11. Направления векторов E и H в волновой зоне диполя.

Тогда напряженность электрического поля E в любой точке направлена по касательной к меридиану, напряженность магнитного поля H направлена по касательной к параллели. Величина напряженностей магнитного и электрического полей уменьшается от экватора к полюсу: для точек, расположенных на продолжении оси диполя, обе напряженности равны нулю; для точек, лежащих в экваториальной области, напряженности имеют наибольшее значение. В соответствии с этим и плотность потока излучаемой энергии зависит от угла θ , который составляет направление излучения с осью диполя. Эта зависимость представлена в виде векторной диаграммы на рисунке ниже.

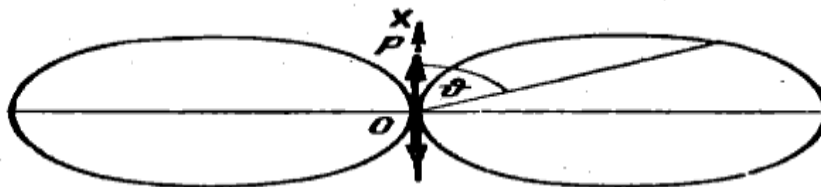


Рисунок 4-12. Распределение интенсивности излучения по углам

С увеличением расстояния до диполя (т. е. с увеличением радиуса сферы) напряженности убывают. Существенно заметить, что напряженность электрического поля E в данной точке перпендикулярна к напряженности магнитного поля H в той же точке, и оба вектора E и H перпендикулярны к радиусу сферы, т. е. к направлению распространения волны. Если э.д.с. в диполе меняется по закону: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$,

где ω — циклическая частота колебаний, то и напряженность поля E в каждой точке пространства меняется периодически с той же частотой ω , но с запозданием по фазе. Запоздание по фазе тем больше, чем дальше от диполя расположена рассматриваемая точка. Это запоздание вызвано тем, что электромагнитное поле распространяется с конечной скоростью v . Таким образом, вокруг диполя возникает сферическая электромагнитная волна. Если через r обозначить расстояние от диполя до данной точки, то колебания вектора E представятся выражением:

$$E = \frac{E_0 \sin \vartheta}{r} \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right) = \frac{E_0 \sin \vartheta}{r} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right),$$

где T — период, λ — длина волны, а θ — полярный угол. В направлении распространения электромагнитную волну можно представить с помощью двух синусоид, лежащих во взаимно перпендикулярных плоскостях.

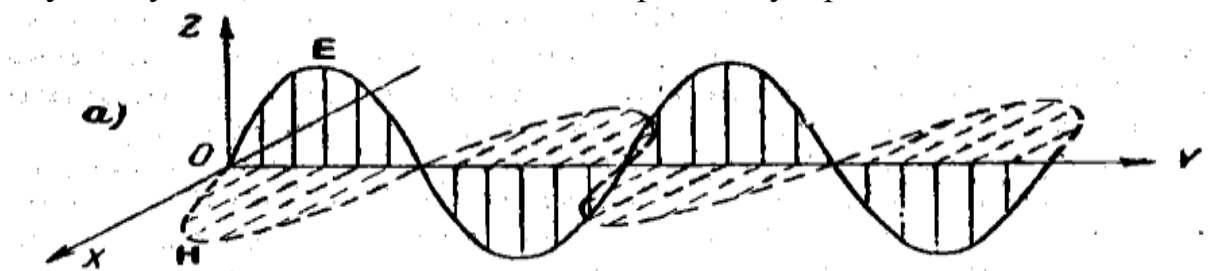


Рисунок 4-13. Электромагнитная волна

Одна синусоида изображает колебания вектора электрической напряженности, а другая — вектора магнитной напряженности. В пустоте амплитуды колебаний обоих векторов численно равны друг другу (если E измерено в электростатической, а H — в электромагнитной системе единиц); оба вектора колеблются в одинаковой фазе. Направление распространения волны можно определить по правилу буравчика: если рукоятку буравчика поворачивать в направлении от вектора E к вектору H , то направление его поступательного движения определит направление распространения волны.

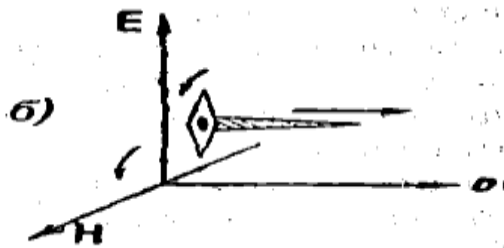


Рисунок 4-14. Правило буравчика

В своих опытах Герц получал электромагнитные волны длиной около 60 см. Он наблюдал их отражение от металлических зеркал, преломление в призме из парафина, а также явление интерференции. Все эти опыты с несомненностью показали, что переменное электромагнитное поле может распространяться в виде волн с конечной скоростью».

5. Опыты с электромагнитными волнами



Рисунок 5-1. Установка Герца для проведения опытов

Элементарный учебник физики Ландсберга: «Чтобы воспроизвести некоторые из опытов Герца и получить тем самым более подробное представление об электромагнитной волне, в настоящее время не надо обращаться к старинной искровой технике возбуждения волн.

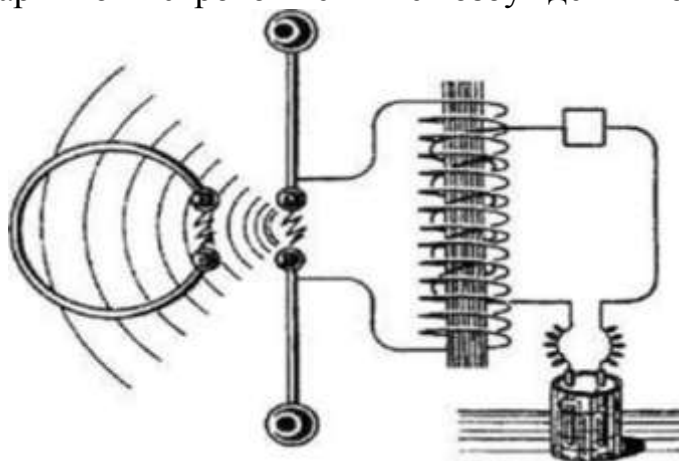


Рисунок 5-2. Принципиальная схема установки Герца

Мы уже знаем, как с помощью автоколебательных систем - генераторов с электронными лампами - была решена задача получения незатухающих электрических колебаний. Существенно, что в случае незатухающего гармонического колебания излучаемая передатчиком энергия сконцентрирована на одной частоте, а не распределена по всему спектру, как это имеет место при излучении сильно затухающих колебаний (в вибраторе Герца).



Рисунок 5-3. Слева - модификация вибратора Герца, справа – резонатор Герца

Благодаря этому приемник, настроенный в резонанс на эту частоту, поставлен в значительно более выгодные условия. Для опытов целесообразно воспользоваться достаточно короткими волнами, чтобы размеры приборов (резонансных вибраторов, экранов, призм и т.п.) были не слишком велики. Наиболее удобны волны, имеющие длину несколько сантиметров. ...Перечислим некоторые из возможных опытов, предполагая, что генератор снабжен излучающим вибратором, а приёмник – приёмным вибратором. В этих опытах излучающий и приёмный вибраторы надо располагать параллельно друг другу, например оба вертикально. При включении генератора гальванометр в приемнике показывает отклонение.

Формирование тени. Если между излучателем и приемником поставить теперь металлический экран (например, железный лист), размеры которого велики по сравнению с длиной волны, то можно наблюдать образование тени: когда приёмный вибратор заслонен листом, ток в гальванометре резко падает (рисунок ниже).

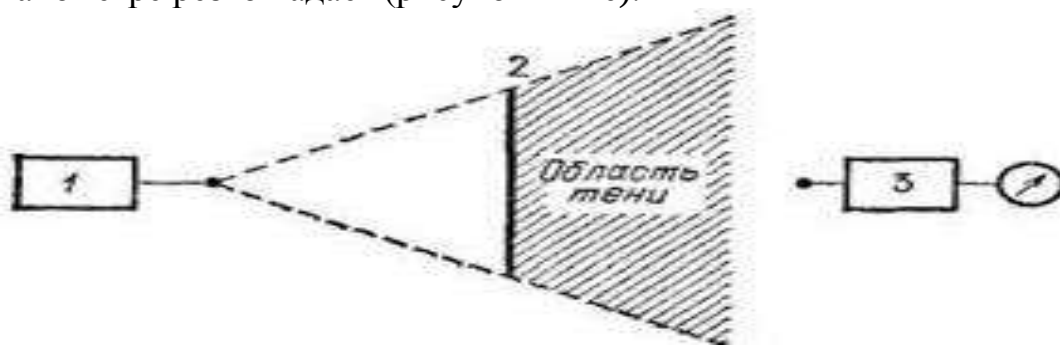


Рисунок 5-4. Образование тени. 1-генератор с антенной, 2-экран, 3-приёмник

При устранении экрана или при вынесении приемного вибратора из области тени ток опять возрастает. Тело человека также отбрасывает заметную тень: если кто-либо пройдет между излучающим и приёмным вибраторами, ток в индикаторе упадет и вновь возрастет. Взяв вместо металлического экрана лист картона, фанеры, толстую деревянную доску, вообще экран из какого-либо изолирующего материала, нетрудно убедиться, что они прозрачны для исследуемых волн.

Зеркальное отражение. Заслонив приемник от излучателя металлическим листом (рис. внизу), нетрудно наблюдать отражение электромагнитной волны от второго металлического листа 2. Передвигая лист 2 вдоль прямой CD, параллельной отрезку АВ (излучатель — приемник), мы обнаружим, что наиболее сильный отклик (отклик индикатора) возникает тогда, когда лист 2 находится против середины отрезка АВ и его плоскость параллельна АВ. Мы убеждаемся, таким образом, в справедливости закона равенства падения и угла отражения. Замена металлического листа 2 экраном из изолирующего материала показывает, что от такого экрана отражение получается очень слабое.

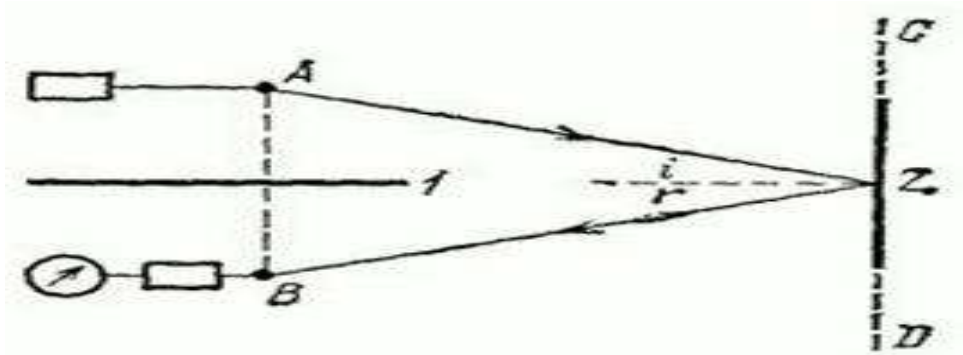


Рисунок 5-5. Отражение электромагнитной волны

Формирование узконаправленного пучка. Отражением от металла можно воспользоваться для того, чтобы получить направленное излучение в виде почти плоской волны. Для этого надо поместить излучающий вибратор в фокусе цилиндрического зеркала из металлического листа, согнутого по дуге параболы (рисунок внизу). Интенсивность плоской волны, выходящей из такого рефлектора, существенно больше, чем в ненаправленном излучении самого вибратора в отсутствие рефлектора. Таким же рефлектором можно снабдить и приемный вибратор, что повышает его чувствительность.

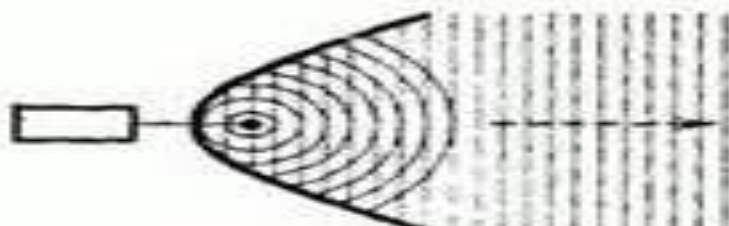


Рисунок 5-6. Параболический рефлектор у излучающего вибратора

Описанные выше опыты лучше производить поэтому с вибраторами, снабженными рефлекторами. Провода, идущие от излучающего вибратора к генератору, пропускаются через отверстие, размер которого одна — две длины волны, сделанное в рефлекторе. У приемного вибратора провода к гальванометру можно пропустить через маленькие отверстия в рефлекторе. Размеры рефлекторов должны быть в три — пять раз больше λ .

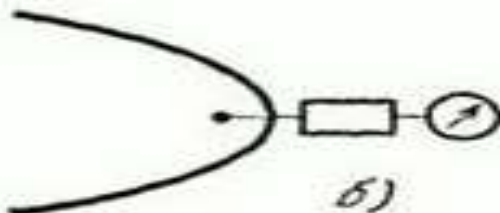


Рисунок 5-7. Параболический рефлектор у приёмного вибратора

Формирование преломления. Следующий опыт показывает, что электромагнитная волна, проходя из одного прозрачного материала в другой, испытывает преломление, т. е. изменяется направление ее распространения. Явление преломления волн на границе двух веществ также принадлежит к числу общеволновых явлений, но мы ранее не

останавливались на нем, так как наблюдать его на звуковых или поверхностных волнах в воде не особенно просто (легче всего наблюдать и исследовать преломление на световых волнах). Для опыта с преломлением электромагнитной волны длиной, например, 3 см надо изготовить из парафина или асфальта призму с преломляющим углом, равным примерно 30° (рисунок ниже).

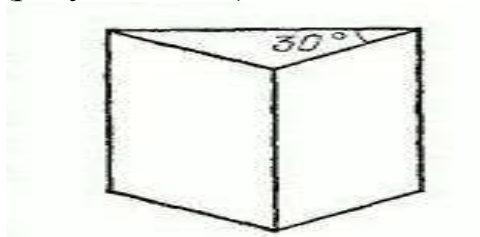


Рисунок 5-8. Призма из парафина или асфальта

Размеры этой призмы должны быть велики по сравнению с λ . На рисунке ниже показано, как меняется направление распространения волны вследствие преломления в такой призме. Если в отсутствие призмы наибольший отклик в приемном вибраторе получается в положении А, то при наличии призмы волна преломляется и наибольший отклик получается в В. Преломление происходит на двух гранях призмы: при переходе волны из воздуха в парафин и затем при ее выходе из парафина в воздух. Отклонение волны от первоначального направления составляет $15-20^\circ$ (в зависимости от материала призмы и длины волны).

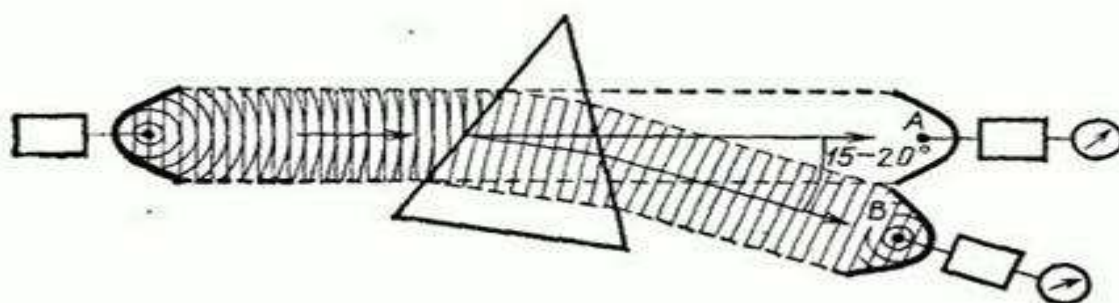


Рисунок 5-9. Преломление электромагнитной волны в призме

Формирование стоячей волны. Интерференция. На следующем рисунке изображена постановка опыта для получения стоячей электромагнитной волны. Плоский металлический экран ставится против рефлектора излучающего вибратора так, чтобы отраженная волна распространялась навстречу падающей волне.

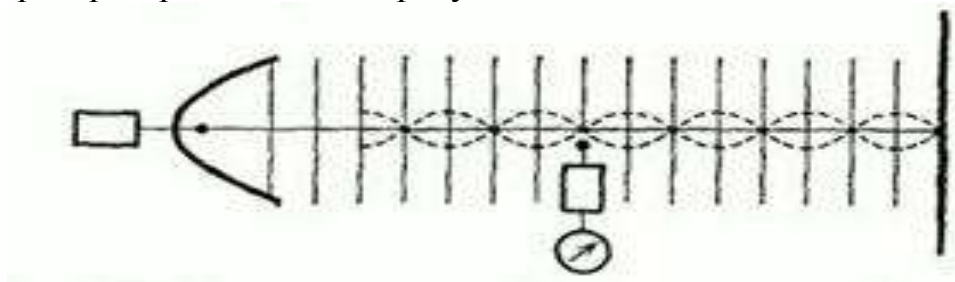


Рисунок 5-10. Образование стоячей электромагнитной волны

Измерение скорости электромагнитных волн. Если теперь на пути от рефлектора к экрану перемещать приемный вибратор, то ток в гальванометре будет поочередно то увеличиваться (пучности), то уменьшаться (узлы). Расстояние между двумя соседними пучностями или двумя соседними узлами равно, как мы знаем, $\lambda/2$. Если нам заранее известна частота γ колебаний генератора, то, измерив указанным путем λ , мы можем по формуле $c = \lambda * \gamma$ найти скорость распространения электромагнитной волны в воздухе. При самых точных измерениях такого рода она оказывается равна скорости света.

Выявление электрической поляризации. Оставаясь на каком-то неизменном расстоянии от вертикального излучающего вибратора, повернем приемный вибратор из вертикального положения в любое горизонтальное положение. Мы увидим, что ток в индикаторе приемника падает при этом до нуля (рисунок ниже).

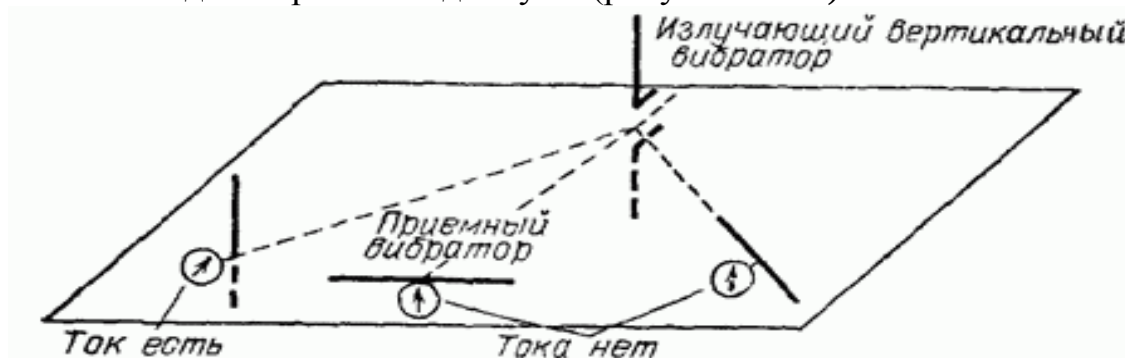


Рисунок 5-11. Выявление электрической поляризации

Объяснить это можно только тем, что электрическое поле проходящей волны имеет вертикальное направление. Действительно, такое поле может перемещать заряды (вызывать ток) вдоль приемного вибратора, когда он вертикален, и не может этого делать, когда он горизонтален. Отсюда следует, что в описанном выше опыте со стоячей волной приемный вибратор выявлял узлы и пучности электрического поля.

Выявление магнитной поляризации. Повторим такой же опыт, но возьмем вместо приемного вибратора проволоочный виток.

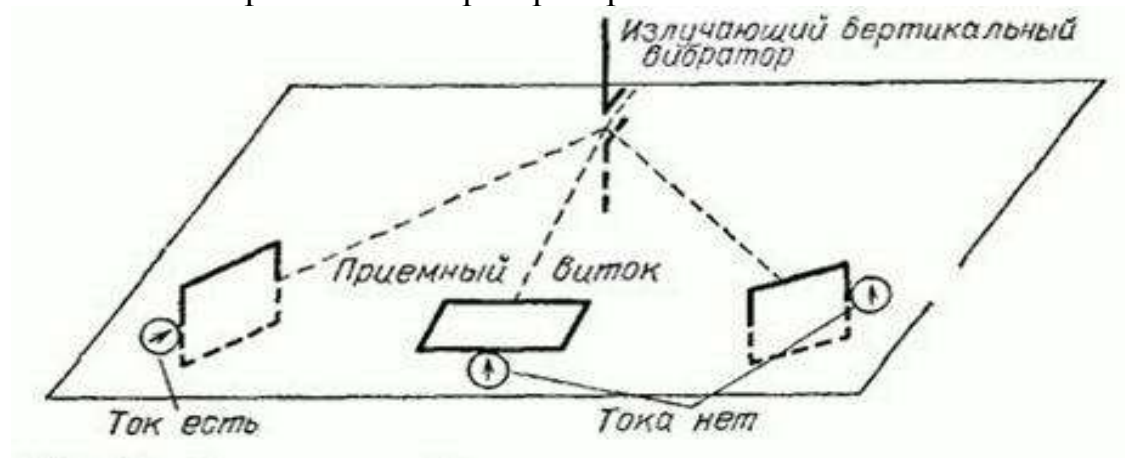


Рисунок 5-12. Выявление магнитной поляризации.

При этом получается следующее. Когда виток расположен в вертикальной плоскости, проходящей через излучающий вибратор, ток в нем есть. Но при всяком повороте витка на 90° от указанной плоскости ток в нем исчезает. Мы знаем, что ток в витке (или катушке) наводится переменным магнитным полем только в том случае, если это поле пронизывает виток. Следовательно, отсутствие тока при расположениях витка, показанных на рисунке ниже посередине и справа, объясняется тем, что магнитное поле приходящей волны направлено горизонтально и перпендикулярно к направлению излучения. Действительно, при этом оно пронизывает виток в первом положении и не пронизывает в двух других положениях.

Выявление поперечности электромагнитных волн. Располагая на пути волн решётку из параллельных друг к другу медных проволок, Герц обнаружил, что при вращении решётки интенсивность волн, прошедших сквозь решётку, сильно изменяется. Когда проволоки, образующие решётку, были перпендикулярны вектору электрической напряжённости, то волна проходила сквозь решётку без помех. При расположении проволок параллельно волна сквозь решётку не проходила.

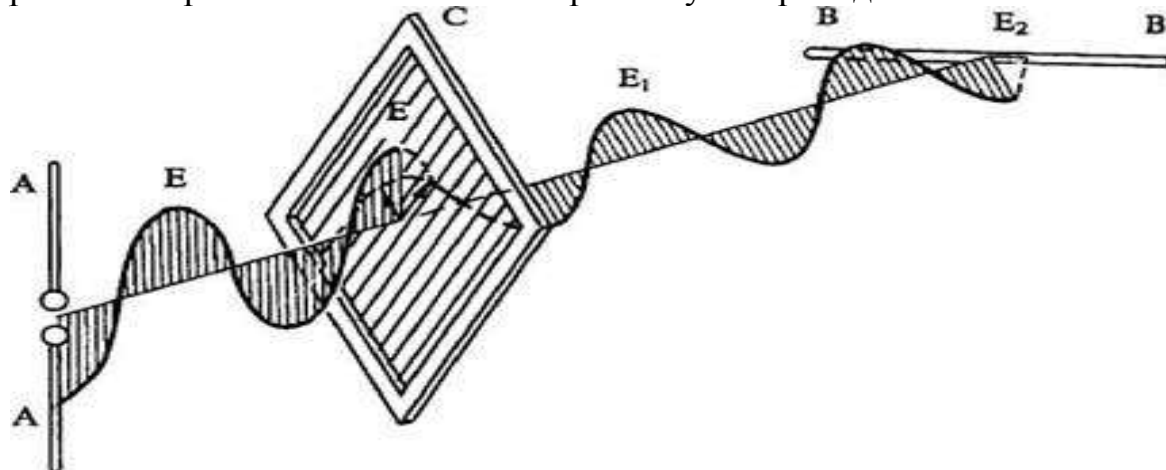


Рисунок 5-13. Опыт Герца, определивший поперечность э.м. волн

Мы приходим, таким образом, к выводу, что напряженность E и индукция B электрического и магнитного полей в волне перпендикулярны друг к другу и к направлению распространения волны (рисунок ниже); при этом направление E совпадает с направлением вибратора, а вектор B лежит в плоскости, перпендикулярной к вибратору.

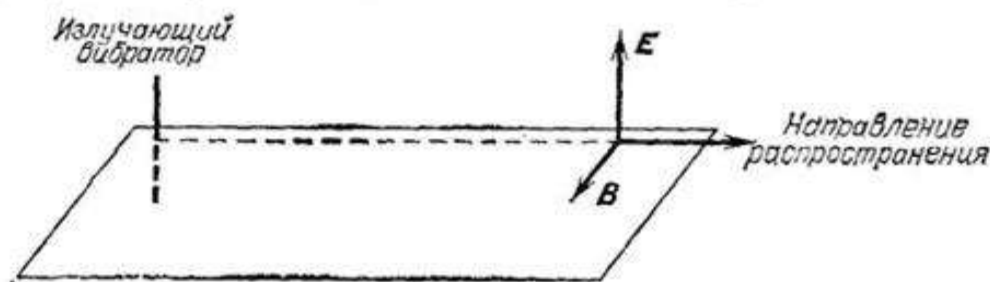


Рисунок 5-14. Соотношение э.м. векторов с направлением распространения

Исследование любых других направлений распространения волны показывает, что для всякого из них остается справедливым аналогичное расположение векторов E и B : 1) оба они перпендикулярны к направлению распространения; 2) вектор E лежит в плоскостях, проходящих через излучающий вибратор, а вектор B — перпендикулярно к этим плоскостям. Поперечность колебаний является совершенно общим свойством всякой электромагнитной волны, не зависящим ни от выбора направления распространения, ни от характера излучателя.

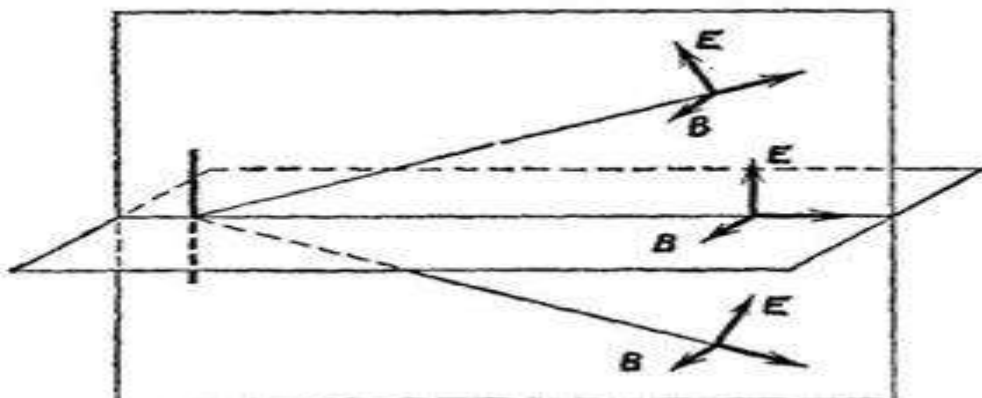


Рисунок 5-15. Электромагнитная волна поперечна

Пеленгация. Установить направление магнитного поля можно с помощью приемного витка (или катушки из нескольких витков - так называемой рамочной антенны). На этом основана радиопеленгация — определение направления на принимаемую радиостанцию.

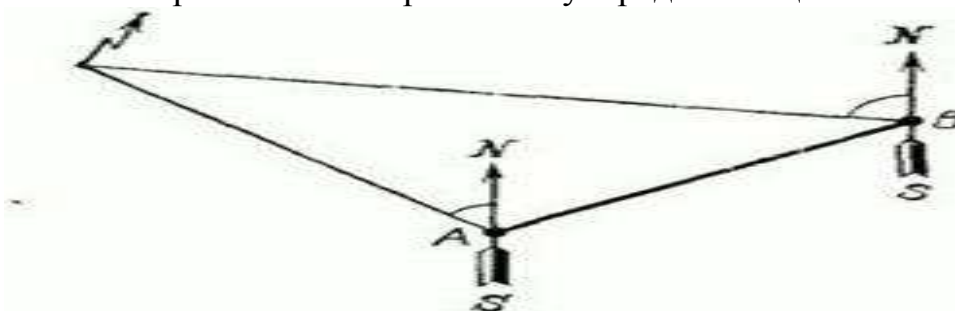


Рисунок 5-16. Принцип радиопеленгации

Обычно при пеленгации рамочную антенну поворачивают в такое положение, при котором интенсивность приема проходит через нуль (это точнее, чем установка на максимальную интенсивность). При таком положении индукция магнитного поля волны лежит в плоскости антенны, а значит, направление на радиостанцию — это прямая, перпендикулярная к плоскости антенны. Если направление на радиостанцию (пеленг) определено из двух пунктов А и В, расстояние между которыми известно, то, построив по известной стороне АВ и двум углам треугольник, можно засечь радиостанцию и определить ее местонахождение».

РАЗДЕЛ 2. ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН



6. Поперечные волны в гидродинамической среде

Экспериментами доказано, что электромагнитные волны представляют собой поперечные колебания относительно направления распространения, распространяющиеся со скоростью света. До настоящего времени смоделировать все свойства электромагнитных волн не удавалось ни для какой агрегатной среды. В итоге было постулировано, что это просто неотъемлемые свойства самого пространства. По современным представлениям, поперечные волны распространяются только в твёрдых телах. Это связано, главным образом, с изменением формы тела.

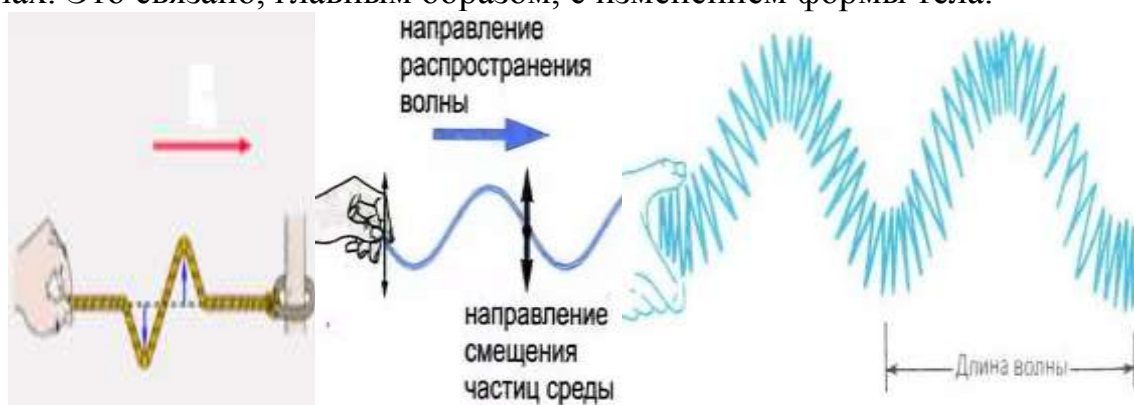


Рисунок 6-1. Поперечные механические волны

Яркими примерами поперечных волн могут служить волны, бегущие по натянутой веревке или по струне. Основная характеристика поперечных волн – по причине существования сил упругости в механической среде направление смещения частиц среды перпендикулярно направлению распространения волны. По современным представлениям, в газах и жидкостях, при изменении их формы, силы упругости не возникают, поэтому классические поперечные волны в них распространяться не могут. Автор данной монографии привык не верить современным научным представлениям и попробовал всё же найти физические процессы, способные формировать поперечные волны в гидродинамической среде.



Рисунок 6-2. Волны на поверхности воды от колебаний поплавка

Для начала рассмотрим процессы, происходящие на поверхности воды при гармонических колебаниях поплавка вдоль вертикальной оси. При более глубоком погружении поплавок вытесняет под собой жидкость во все стороны, в том числе и на поверхность, где образует кольцевой гребень волны. При поднимании поплавок в освобождаемое им пространство устремляется жидкость со всех сторон, в том числе и с поверхности, где формируется кольцевая впадина. Таким образом, пока совершаются гармонические колебания поплавка, вокруг него периодически кольцевой гребень заменяется кольцевой впадиной. Это вполне естественный процесс и ничего удивительного тут бы не было, если бы колебательный процесс не продолжал распространяться по поверхности воды прочь от поплавка. Падающий под действием силы тяжести гребень волны не уходит весь обратно под поплавок, а растекается равномерно, в том числе и в противоположную сторону от поплавка, создавая новый гребень по соседству. На новом месте периодическая смена кольцевого гребня на кольцевую впадину, в свою очередь, создаёт кольцевые гребни и впадины по соседству ещё дальше от поплавка. Процесс продолжается либо до полного затухания амплитуды волн, либо до достижения окончания поверхности.

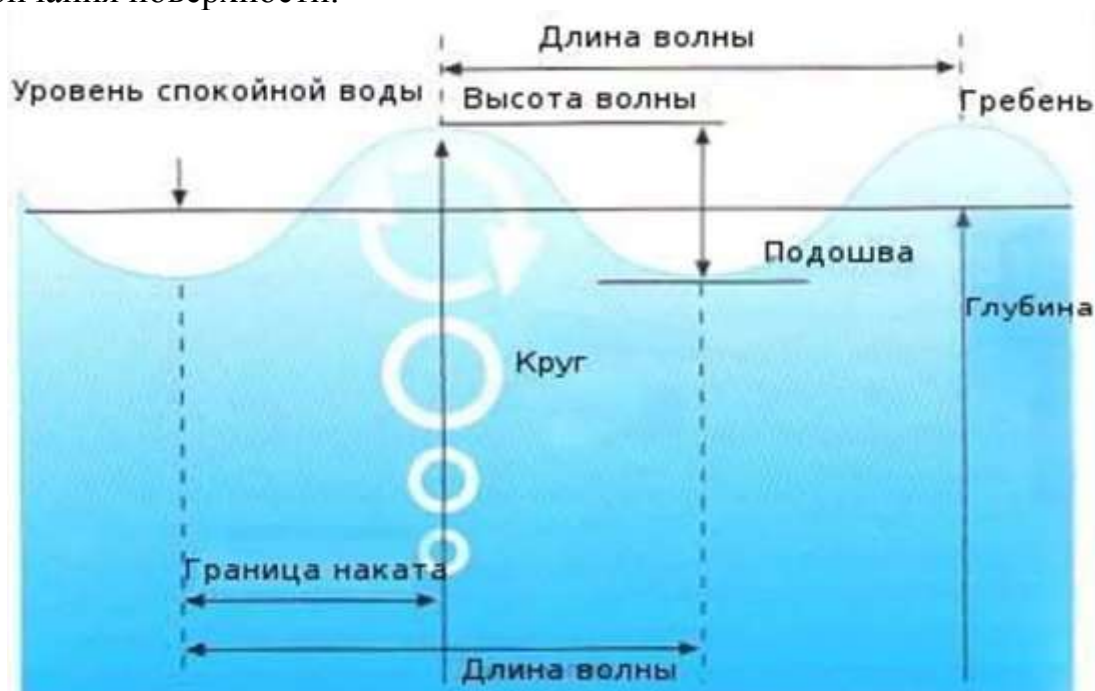


Рисунок 6-3. Структура волн на поверхности воды

Волны распространяются горизонтально по поверхности воды, а гребни и впадины горизонтально не двигаются – они заменяют друг друга на одном и том же месте. То есть, жидкость двигается вверх или вниз перпендикулярно плоскости распространения волн. Наличие поперечных волн налицо. И официальная наука этого не отрицает, признавая, что в данном случае имеется смесь поперечных и продольных волн, потому что частицы жидкости совершают круговое движение, одновременно участвуя и в продольных и в поперечных колебаниях. Расстояние между гребнями или впадинами является длиной волны. Период волны можно найти, если общее время колебаний поплавка разделить на количество колебаний. Скорость распространения волн находится при делении длины волны на период. Расчёты показывают, что скорость распространения таких волн равна нескольким метрам в секунду, то есть на два порядка меньше скорости звука. Волнения от поплавка распространяются по поверхности воды. Интересно, а какие явления будут происходить, если поплавок утопить глубоко в толще воды? Ведь способностью пропускать волны обладает не только поверхность воды. Ярким примером является процесс возникновения цунами при сейсмических сдвигах океанского дна.



Рисунок 6-4. Возникновение цунами от сейсмического толчка

Технологически поплавок утопить просто. Нужно привязать к нему пружину с якорем на конце. Возникнет новый баланс сил в толще воды между выталкивающей силой и силой тяжести якоря. При любом нарушении баланса сил опять возникнут вертикальные колебания.

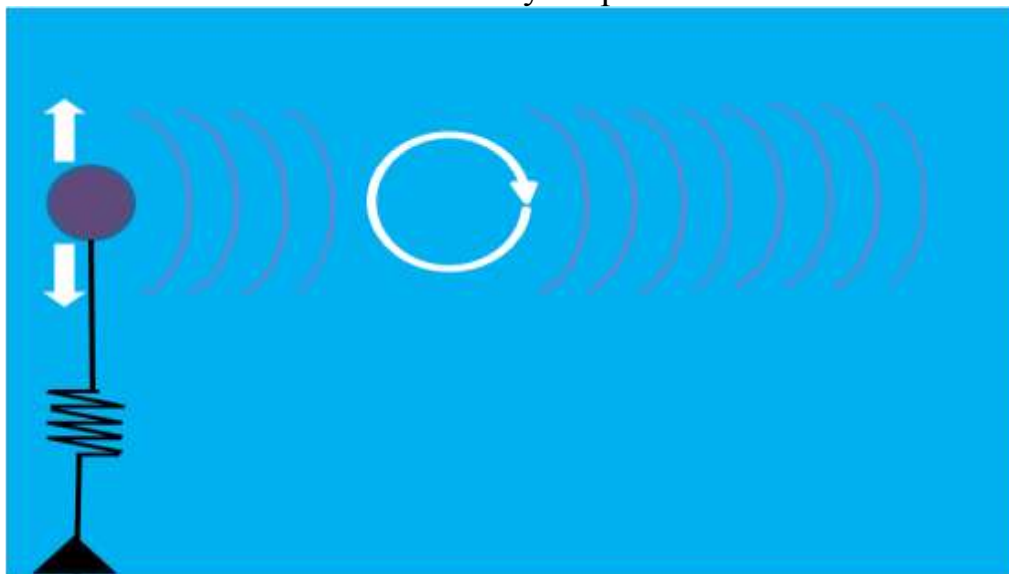


Рисунок 6-5. Распространение волн от колебаний утопленного поплавка

И опять в стороны от поплавок будет распространяться смесь продольных и поперечных волн. И опять при прохождении этих волн частицы воды будут совершать круговое движение, одновременно участвуя и в продольных колебаниях. Продольные колебания являются следствием периодического изменения плотности, что аналогично процессам при прохождении звуковых волн. А поперечные колебания являются следствием поперечных колебаний поплавок. Необходимым и достаточным условием поперечных гармонических колебаний является гармоническое поперечное движение источника колебаний.



Рисунок 6-6. Поток воздуха от проходящего поезда

Попробуем ещё найти поперечные волны внутри газообразной гидродинамической среды. Наверное, каждый сталкивался с таким явлением, когда проходящий по железной дороге поезд создаёт сильный поток воздуха, воздействующего на человека, стоящего на перроне. Первоначально человек получает толчок от ударной волны, возникающей впереди первого вагона. После этого он чувствует ветер постоянной силы. Направление движения этого потока воздуха параллельно линии дороги. Если человек стоит лицом к составу, то поток воздуха воздействует сбоку. Чем больше скорость состава, тем сильнее поток воздуха. Чем дальше находится пешеход от линии движения состава, тем слабее поток воздуха. Теперь представим, что по железной дороге с некой периодичностью двигаются с одинаковой скоростью составы, но направление движения каждый раз меняется на противоположное. Тогда и на стоящего на перроне человека будет воздействовать поток воздуха с периодической сменой направления. Движущийся состав увлекает в движение окружающие его слои воздуха. Каждый движущийся слой воздуха, в свою очередь, увлекает в движение соседний с ним слой воздуха. Будет осуществляться поперечное возмущение воздуха. Человек, стоящий максимально близко к линии движения составов, будет раньше чувствовать смену направления воздушного потока, чем человек, стоящий максимально далеко на той же линии перпендикуляра к железной дороге. Если расстояние между ними поделить на разницу времени, то найдём скорость прохождения возмущения от движения состава. И это не будет скорость распространения продольных волн (скорость звука). Это будет скорость распространения поперечного возмущения от линейного потока воздуха или та самая искомая скорость распространения поперечных волн. Очевидно, что эта скорость намного меньше скорости звука.

Для проведения второго эксперимента необходимо создать установку, способную вращать диск в горизонтальной плоскости. Если вращать диск по гармоническому закону, то он будет создавать вокруг себя переменное вихревое поле. Движущийся диск увлекает в движение окружающие его слои воздуха в горизонтальной плоскости. Каждый движущийся слой воздуха, в свою очередь, увлекает в движение соседний с ним слой воздуха. Опять будет осуществляться поперечное возмущение воздуха. Датчик, стоящий максимально близко к ребру диска, будет раньше чувствовать смену направления вихревого потока, чем датчик, стоящий максимально далеко на той же линии перпендикуляра к оси вращения. Если расстояние между датчиками поделить на разницу времени, то найдём скорость прохождения возмущения от движения диска. Это будет скорость распространения вращения воздуха в горизонтальной плоскости или опять та самая искомая скорость распространения поперечных волн.



Рисунок 6-7. Пример установки для вращения диска

В третьем эксперименте установка вращает диск в горизонтальной плоскости с постоянной скоростью и совершает гармонические колебания оси вращения в вертикальной плоскости. Теперь смены направления вращения не будет. Датчики, находящиеся в одной горизонтальной плоскости, будут периодически фиксировать наличие или отсутствие возмущённого вихревого движения. Опять датчик, стоящий максимально близко к ребру диска, будет раньше чувствовать отсутствие или появление вихревого потока, чем датчик, стоящий максимально далеко на той же линии перпендикуляра к оси вращения. Если расстояние между датчиками поделить на разницу времени, то найдём скорость прохождения возмущения от движения диска. И опять это будет скорость распространения вращения воздуха в горизонтальной плоскости или искомая скорость распространения поперечных волн.



Рисунок 6-8. Генератор простых вихревых колец на основе трубки.
(Ван-Дайк М. - Альбом течений жидкости и газа, фото 112)

Для проведения четвёртого эксперимента необходимо построить установку, способную с некой периодичностью генерировать простые вихревые кольца. Простой генератор потока вихревых колец представляет собой обычную трубку, через которую импульсами выпускается окрашенный газ. Соотношение вихревых потоков в вихревом кольце таково, что они сами себя толкают вдоль оси симметрии. Для проведения эксперимента можно также использовать модернизированный аппарат Тэта, в котором воздействие на заднюю мембрану осуществляется не однократно руками, а периодически неким автоматическим механическим устройством.



Рисунок 6-9. Примеры генераторов простых вихревых колец

На выходе модернизированной установки получим непрерывный периодический поток простых вихревых колец, летящих по одной оси в одном направлении. Каждое вихревое кольцо будет создавать вокруг себя вихревое тороидальное поле, уменьшающееся с увеличением расстояния от оси потока. Датчики, находящиеся в одной вертикальной плоскости, перпендикулярно оси полёта колец, будут периодически фиксировать наличие или отсутствие возмущённого вихревого движения. Датчик, стоящий максимально близко к пролетающим мимо кольцам, будет раньше чувствовать отсутствие или появление вихревого потока, чем датчик, стоящий максимально далеко на той же линии перпендикуляра к оси полёта колец. Если расстояние между датчиками поделить на разницу времени, то найдём скорость прохождения возмущения от движения вихревого кольца. Это снова будет скорость распространения вращения воздуха или искомая скорость распространения поперечных волн.

Для проведения следующего эксперимента необходимо построить установку, способную с некой периодичностью генерировать винтовые вихревые кольца, летящие в одном направлении под воздействием собственных движителей.



Рисунок 6-10. Направленный поток вихревых винтовых колец

Устройства типа аппарата Тэта сформировать такие кольца физически не способны. Генерируемые ими вихревые кольца не имеют кольцевого вращения. Даже одинокое винтовое вихревое кольцо, самостоятельно двигающееся в пространстве, представляет собой модель компактной одиночной поперечной волны. В самом деле, распространяется оно вдоль оси вращения. В разные стороны перпендикулярно оси одновременно распространяется кольцевое и тороидальное вращение, при котором частицы среды смещаются преимущественно поперёк направлению движения кольца.



Рисунок 6-11. Генератор тороидальных вихрей на основе вращающегося цилиндра.
(Ван-Дайк М. - Альбом течений жидкости и газа, фото 127)

Генератор пакета тороидальных винтовых вихрей представляет собой вращающийся цилиндр, окруженный прозрачной трубой большего диаметра. Вращающийся цилиндр увлекает во вращение воздух между стенками цилиндра и трубы. Через некоторое время линейный воздушный вихрь начинает равномерно делиться на тороидальные винтовые кольца. Эти кольца, в зависимости от соотношения направлений тороидального и кольцевого вращения, бывают правовинтовыми или левовинтовыми. Пакет винтовых вихрей естественным образом формируется так, что в нём правовинтовые и левовинтовые вихри чередуются. В модернизированной установке необходимо добавить механическое устройство, которое бы отделяло от пакета вихревые винтовые кольца одной полярности и придавало им направленное движение по одной линейной оси.

Датчики, находящиеся в одной вертикальной плоскости, перпендикулярно оси потока винтовых колец, будут периодически фиксировать наличие или отсутствие возмущённого вихревого движения. Датчик, стоящий максимально близко к пролетающим мимо кольцам, будет раньше чувствовать отсутствие или появление вихревого потока, чем датчик, стоящий максимально далеко на той же линии перпендикуляра к оси полёта колец. Если расстояние между датчиками поделить на разницу времени, то найдём скорость прохождения возмущения от движения вихревого кольца. Это снова будет скорость распространения вращения воздуха или искомая скорость распространения поперечных волн. Только вихревые поля, создаваемые винтовыми вихревыми кольцами, будут иметь более сложную форму, чем вихревые поля, создаваемые простыми вихревыми кольцами.

Теперь допустим, что все винтовые кольца имеют форму сферического вихря Хилла. В этом случае, как показал опыт Малюшевского, у заднего вихря не хватает сил расширить передний вихрь и чехарда колец физически осуществляться не может. Тогда можно генерировать кольца с такой большой частотой, что расстояние между кольцами становится соизмеримо с геометрическими размерами колец. Возмущения среды за внешними пределами области движения потока винтовых вихрей будут формироваться и тороидальным вращением и кольцевым. Возмущения от тороидальных вращений объединятся в единый поток гидродинамической среды, направление которого противоположно направлению движения вихрей. Возмущения от кольцевых вращений объединятся в единый кольцевой вихрь.



Рисунок 6-12. Распространение возмущений от потока вихревых винтовых колец

С течением времени в вихревое движение будут вовлекаться все новые и новые слои среды на все большем удалении от источника возмущений. Вихревые кольцевые возмущения будут распространяться радиально от источника, поперек направления течения. Распространение возмущений в пространстве должно иметь осевую симметрию. Возмущения радиально от оси симметрии должны распространяться преимущественно в экваториальной плоскости. Но чем больше длительность возмущений, тем на большее расстояние вихревое движение будет распространяться и от экваториальной плоскости. Если мощность потока винтовых колец постоянна, то создаваемые ими возмущения в пространстве можно назвать постоянным вихревым кольцевым полем. Структура поля – увеличивающийся с течением времени цилиндрический вихрь, симметричный относительно экваториальной плоскости. В этом вихре помимо вращения вокруг оси потока винтовых колец будет ещё и поступательное движение вдоль оси потока. Интенсивность вихря будет падать с увеличением расстояния от источника. Если использовать термины для атмосферы Земли, то постоянное вихревое поле в экваториальном срезе можно представить в виде урагана, сила ветра которого увеличивается при приближении к центру и падает с увеличением расстояния от центра. В центре урагана безветрие – глаз урагана. Поперечная скорость распространения вихревого движения атмосферного газа постоянна при постоянных параметрах среды, но намного меньше скорости звука. Аналогично скорость распространения волн от колеблющейся поплавка на воде на два-три порядка меньше скорости звука в воде.

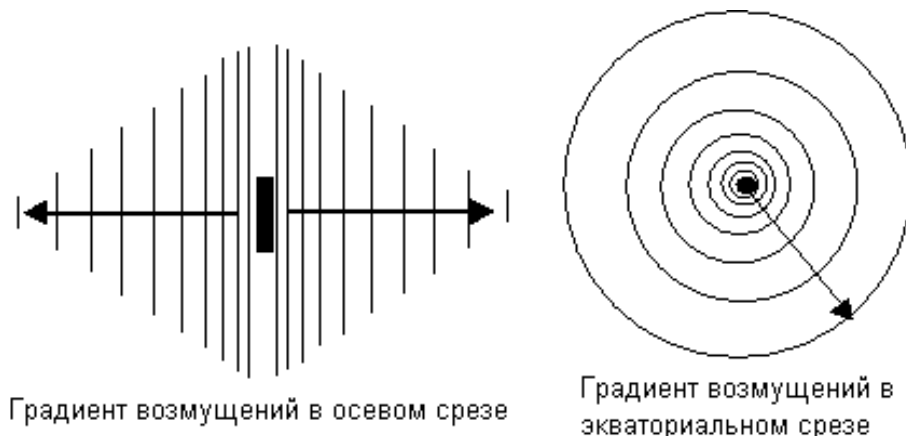


Рисунок 6-13. Направления распространения поперечных возмущений

Теперь попытаемся выяснить, какие изменения произойдут в структуре вихревого поля, если частота генерации винтовых вихревых колец будет периодически меняться. Для начала представим, что процесс генерации колец прерывистый. В первую половину периода происходит генерация, а во вторую половину периода генератор не работает. В течение времени генерации вокруг потока винтовых колец формируется цилиндрический вихрь. Этот вихрь начнет распространяться в окружающей среде со скоростью распространения поперечных возмущений. В следующий период генерации формируется новый вихрь и т.д. Вихри распространяются в среде друг за другом, образуя переменное вихревое поле. Если вихрь схематически изобразить темной полосой, а отсутствие вихря – светлой полосой, то на рисунке можно будет увидеть чередование темных и светлых полос. Если генерация строго периодическая, то расстояние между соседними вихрями можно назвать длиной волны, всю совокупность вихрей – переменным вихревым полем. Внешняя форма поля – расширяющийся эллипсоид вращения с вырезанными конусами на полюсах. Точно так же, как и постоянное поле, переменное поле обладает градиентом – ослабляется с увеличением расстояния.

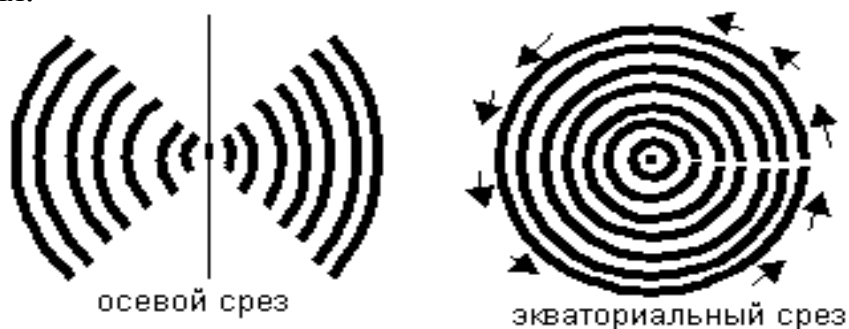


Рисунок 6-14. Волновая структура поперечных возмущений

Теперь посмотрим, что будет, если в процессе генерации периодически будет меняться направление движения потока вихревых винтовых колец. Будет формироваться последовательность цилиндрических вихрей, но направление вращения этих вихрей будет чередоваться. Если схематически изобразить темными полосами вихри с одним направлением вращения, а

светлыми полосами – вихри с противоположным направлением вращения, то опять получим чередование темных и светлых полос. Изменится внутренняя структура. Внешняя же форма будет изменяться только при изменении частоты генерации. Вдоль экваториальной плоскости каждый вихрь по-прежнему будет распространяться с прежней постоянной скоростью. Но чем больше частота генерации, тем меньше времени для формирования каждого отдельного вихря, тем меньше его мощность, тем медленнее он распространяется в стороны от экваториальной плоскости. В результате у вихревого поля более высокой частоты вырезанные на полюсах конусы будут иметь больший угол.



**Рисунок 6-15. Волновая структура вихревых
кольцевых полей разной частоты**

Таким образом, наши логические исследования привели к выводу, что если существует заполняющая всё пространство гидродинамическая среда микромира, то в этой среде возможно существование поперечных волн либо в виде распространения вращения, либо в виде поперечных возмущений от колебательного линейного движения объектов микромира в этой среде.

7. Необходимость возврата в обиход среды микромира

Решением системы уравнений Максвелла является волна, распространяемая в среде. Но его последователи исказили смысл учения учителя, отказавшись от существования среды. Вот что он писал по этому поводу: *«Однако механические трудности, связанные с допущением существования частиц, действующих на расстоянии с силами, зависящими от их скоростей, таковы, что они не дают мне возможности рассматривать эту теорию как окончательную, хотя возможно, что она и сейчас может быть полезной в отношении установления координации между явлениями. Поэтому я предпочел искать объяснения фактов в другом направлении, предполагая, что они являются результатом процессов, которые происходят как в окружающей тела среде, так и в самих возбужденных телах, и пытаясь объяснить взаимодействия между удаленными друг от друга телами без допущения существования сил, способных непосредственно действовать на заметных расстояниях. Та теория, которую я предлагаю, может быть названа теорией электромагнитного поля, потому что она имеет дело с пространством, окружающим электрические или магнитные тела, и она может быть названа также динамической теорией, поскольку она допускает, что в этом пространстве имеется материя, находящаяся в движении, посредством которой и производятся наблюдаемые электромагнитные явления. ...Мы поэтому имеем некоторое основание предполагать, исходя из явлений света и тепла, что имеется какая-то эфирная среда, заполняющая пространство и пронизывающая все тела, которая обладает способностью быть приводимой в движение, передавать это движение от одной своей части к другой и сообщать это движение плотной материи, нагревая ее и воздействуя на нее разнообразными способами. Энергия, сообщенная телу нагреванием, должна была ранее существовать в движущейся среде, ибо волновые движения оставили источник тепла за некоторое время до того, как они достигли самого нагреваемого тела, и в течение этого времени энергия должна была существовать наполовину в форме движения среды и наполовину в форме упругого напряжения. Исходя из этих соображений, профессор В.Томсон доказывал, что эта среда должна обладать плотностью, сравнимой с плотностью обычной материи, и даже определил нижнюю границу этой плотности. Поэтому мы можем как данное, выведенное из отрасли науки, независимой от той, с которой мы (в рассматриваемом случае) имеем дело, принять существование проникающей среды, обладающей малой, но реальной плотностью, обладающей способностью быть приводимой в движение и передавать движения от одной части к другой с большой, но не бесконечной скоростью».*

Необходимо избавиться от противоречия современной теории электромагнитного поля, изложенного выше. Для этого просто вернём в

обиход среды микромира, в которой первоначально распространялись волны, математически описанные Максвеллом. В основе решения научного сообщества об изъятии из обихода среды микромира лежали неверные требования к свойствам этой среды. Вот что писал сам Максвелл об предполагаемых свойствах среды микромира: *«Следовательно, части этой среды должны быть так связаны, что движение одной части каким-то способом зависит от движения остальных частей, и в то же самое время эти связи должны быть способны к определенному роду упругого смещения, поскольку сообщение движения не является мгновенным, а требует времени. Поэтому эта среда обладает способностью получать и сохранять два вида энергии, а именно «актуальную» энергию, зависящую от движения ее частей, и «потенциальную» энергию, представляющую собой работу, которую среда выполнит в силу своей упругости, возвращаясь к первоначальному состоянию, после того смещения, которое она испытала. Распространение колебаний состоит в непрерывном преобразовании одной из этих форм энергии в другую попеременно, и в любой момент количество энергии во всей среде разделено поровну, так что половина энергии является энергией движения, а другая половина - энергией упругого напряжения»*. Основные представления о физических свойствах волн были ранее получены на основе изучения продольных волн, в которых частицы любой агрегатной среды не переносятся, а колеблются относительно точки равновесия. Поперечные колебания ранее экспериментально были обнаружены только в твёрдых механических телах, когда по причине наличия сил упругости поперечные сдвиги превращались в поперечные механические колебания. В гидродинамической среде сил упругости не существует, поэтому был сделан вывод о невозможности существования поперечных волн в гидродинамической среде. То есть, имея перед собой одни лишь опытные факты о частных свойствах поперечных волн в твёрдых телах, был сделан логически неверный вывод о физическом явлении в целом. Либо никому не удалось, либо никаких попыток поиска других форм поперечных волн предпринято не было. А зря. После двух десятилетий поисков автор данной монографии нашёл всё-таки другие формы поперечных волн, для которых упругая среда не нужна. Это различные варианты распространения в пространстве вращения среды. Вращение среды всегда происходит поперёк направлению распространения вращения. Возвращать частицы среды в исходное положение не нужно. Соответственно, отпадает надобность в существовании у среды свойства упругости.

8. Противоречия современной модели эл.магн. волн

Современные научные представления об электромагнитных волнах основаны на уравнениях Максвелла. В современном виде уравнения Максвелла для вакуума без электрических зарядов и токов такие:

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \quad \operatorname{div} \mathbf{E} = 0; \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}; \quad \operatorname{div} \mathbf{H} = 0,$$

где $\mathbf{E}$ - вектор напряжённости электрического поля в вакууме,

$\mathbf{H}$ - вектор напряжённости магнитного поля в вакууме,

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}; \quad \mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

$\mathbf{D}$ – электрическая индукция,

$\mathbf{B}$ – магнитная индукция.

Решением этой системы дифференциальных уравнений является гармоническая, плоская волна. Векторы электрического и магнитного полей находятся в одной фазе, перпендикулярны друг к другу и к направлению распространения волны. Современная форма уравнений Максвелла появилась около 1884 года после работ Хевисайда, Герца и Гиббса. Ещё позднее из теории Максвелла была изъята материальная среда, в которой распространяются волны. Уравнения Максвелла были опубликованы в 1873 году в книге «Трактат об электричестве и магнетизме». Максвелл признаётся, что создал математическую модель электромагнитного поля на основе известных в то время экспериментальных данных. Если же рассматривать её с физической точки зрения, предусматривающей существование гидродинамической среды микромира, то можно найти несколько противоречий.

Противоречие первое. Рассмотрим уравнение, называемое законом индукции Фарадея. В 1831 году Фарадей обнаружил, что электродвижущая сила, появляющаяся в замкнутом проводящем контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром и не зависит от того, что вызывает изменение потока:

$\varepsilon = - d\Phi/dt$. Знак «минус» в формуле отражает правило Ленца: индукционный ток, возникающий в замкнутом проводящем контуре, имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле противодействует тому изменению магнитного потока, которым был вызван данный ток. Электродвижущая сила ε с физической точки зрения является разностью потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$. Связь напряжённости потенциального электрического поля с потенциалом выражается следующим образом:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} \varphi \equiv \nabla \varphi. \quad \text{или} \quad \vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k} \right)$$

С другой стороны, поток Φ как интеграл вектора магнитной индукции $\mathbf{B}$ через конечную поверхность S определяется через интеграл по поверхности: $\Phi = \iint_S \mathbf{B} d\mathbf{S}$.

Максвелл привёл уравнение Фарадея к следующей форме: $\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \partial \mathbf{B} / \partial t$ (это современный вид уравнения). В словесном выражении это звучит следующим образом: изменение магнитной индукции порождает вихревое

электрическое поле. В результате математических преобразований потенциальное электрическое поле в уравнении Фарадея превратилось в вихревое электрическое поле. Очевидно, что данное выражение противоречит исходному определению электрического поля. По определению, потенциальные линии напряженности электрического поля исходят из положительных зарядов и входят в отрицательные заряды. В самом крайнем случае, когда между зарядами бесконечно большое расстояние, линии уходят в бесконечность. В любом случае, линии напряжённости электрического поля не замкнуты. У Максвелла эти линии оторвались от зарядов, их породивших, и стали замкнутыми. Из данного противоречия возможны всего два вывода – либо уравнение Максвелла неверно, либо при изменении магнитной индукции порождается новое вихревое поле, никакого отношения не имеющее к электрическому полю. И, при распространении электромагнитной волны, колебания в вакууме, в котором отсутствуют заряды, совершает не вектор E , а какой-то совершенно другой вектор, не имеющий никакого отношения к зарядам.

Противоречие второе. Уравнение $\text{div}E = 0$ в словесном выражении звучит следующим образом: в вакууме не существует никаких монополей, способных стать источниками электрического поля. Опять вернулись к исходному противоречию: по определению источником электрического поля могут быть только электрические заряды. Отсюда следует, что в вакууме не может распространяться электрическое поле.

Противоречие третье. Уравнение $\text{rot } H = \epsilon_0 * \partial E / \partial t$ в словесном выражении звучит следующим образом: изменение электрического поля порождает вихревое магнитное поле. С этим утверждением можно согласиться только для пограничного случая, когда изменения электрического поля в антенне порождают магнитное поле вокруг антенны. Но дальше, в вакууме магнитное поле возникать не может, по причине невозможности существования в вакууме электрического поля – нечему изменяться. Опять возможны только два вывода – либо уравнения Максвелла неверны, либо в вакууме существуют два новых вихревых поля, никакого отношения не имеющие к электрическому вектору E и магнитному вектору H .

Противоречие четвёртое. Поляризационная решётка из металлических проволочек пропускает электромагнитные волны только тогда, когда проволочки параллельны антенне. Соответственно, электрическая антенна принимает электромагнитные волны только тогда, когда она параллельна передающей антенне. Получается, что через поляризационную решётку проходят одновременно оба взаимно перпендикулярных вектора. Из противоречия возможны два вывода: либо уравнения Максвелла неверны - второй вектор лишний, либо второй вектор физически не перпендикулярен первому, является лишь математическим описанием какого-то физического явления.

Противоречие пятое. Вернёмся к опытам с электромагнитными волнами. Проволочный виток принимает электромагнитные волны только тогда, когда плоскость витка находится в плоскости передающей антенны.

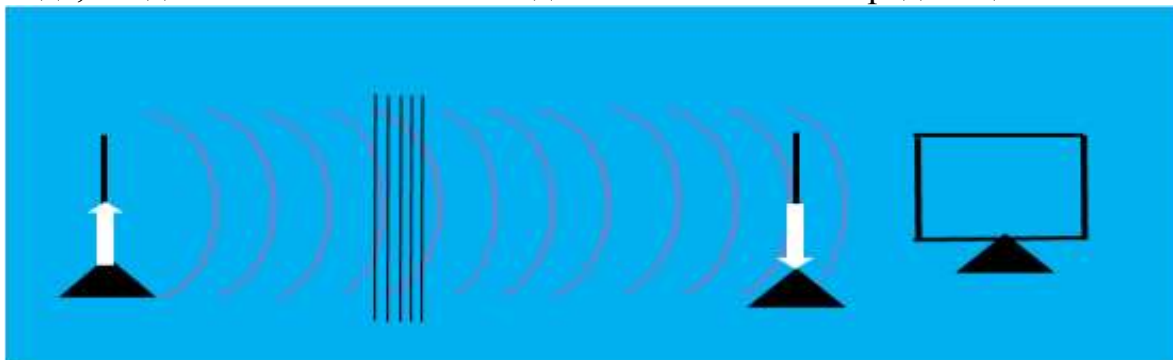


Рисунок 8-1. Обобщение опытов с электромагнитными волнами

На рисунке выше в одной плоскости находятся передающая антенна и после поляризационной решётки электрическая приёмная антенна с проволочным витком. По теории электрический вектор возбуждает электромагнитные колебания в электрической приёмной антенне, а перпендикулярный ему магнитный вектор возбуждает электромагнитные колебания в магнитной приёмной антенне в виде проволочного витка. Но магнитная антенна располагается после проволочной решётки. Снова следует два вывода. Первый вывод: уравнения Максвелла неверны - второй вектор в уравнениях лишний, а колебания в магнитной антенне возбуждает тот же самый электрический вектор. Второй вывод: второй вектор в уравнениях Максвелла физически не перпендикулярен первому, является лишь математическим описанием какого-то физического явления, а все события в электромагнитной волне происходят в одной плоскости. Примером математического вектора является вектор момента вращения.

9. Разрешение противоречий электрического вектора

Итак, в нашей модели электромагнитные волны распространяются не в абсолютно пустом пространстве, названном физическим вакуумом, а в гидродинамической среде микромира, состоящей из частиц, которые на много порядков меньше электрона. Упорядоченное переменное течение среды способно увлекать в упорядоченное переменное движение свободные электроны в проводнике. Упорядоченное движение свободных электронов в проводнике антенны способно увлекать в движение окружающие антенну слои среды.

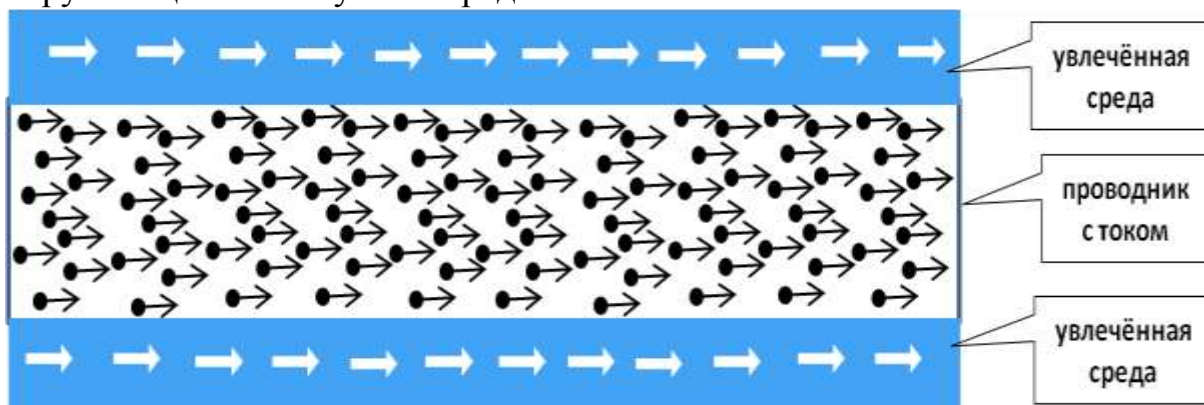


Рисунок 9-1. Ток электронов в проводнике увлекает в движение среду

В простейшем случае, при постоянном токе в проводнике, в нашей модели происходит градиентное увлечение среды (рисунок ниже).



Рисунок 9-2. Градиентное увлечение среды

Самой большой интенсивностью упорядоченного движения обладает слой среды, непосредственно примыкающей к проводнику с током. Этот слой, в свою очередь, увлекает в движение соседний слой среды. Тот слой увлекает в движение следующий соседний с ним слой и т.д. За счёт потерь на расширение длины увлечённого слоя (особенно при сферическом или цилиндрическом распространении) интенсивность движения каждого последующего слоя чуть меньше интенсивности движения предыдущего слоя - формируется градиент скорости среды. Увлекаемая в движение среда будет двигаться в одном направлении поперёк направлению градиентного распространения в пространстве. Но такое постоянное течение среды не вызывает постоянного тока в приёмной антенне. Парадоксально, но это факт – постоянный ток создаёт вокруг собственного проводника постоянное магнитное поле, но постоянный ток в параллельном проводнике не создаёт. По экспериментальным данным, ток в приёмной антенне возникает только при импульсном токе в передающей антенне. Автор данной монографии считает, что причины данного парадокса скрываются в физических свойствах атомно-молекулярной

структуры проводника. В нормальных условиях, при отсутствии электромагнитных возмущений свободные электроны в проводнике отсутствуют. Так должно быть по закону Кулона. Отрицательно заряженные свободные электроны притягиваются к положительным ионам и образуют нейтрально заряженные атомы. Только внешние возмущения способны выбивать электроны из атомов. Проводники от непроводников отличаются тем, что в них электроны начинают выбиваться из атомов уже при самых минимальных внешних возмущениях. Чем сильнее возмущения, тем больше свободных электронов в проводнике (рисунок ниже). Стандартным внешним возмущением является подключение разных потенциалов к концам проводника, при этом возникает внешнее электрическое поле, под воздействием которого в проводнике некоторые электроны атомов покидают свои орбиты и начинают двигаться к положительному полюсу источника напряжения.

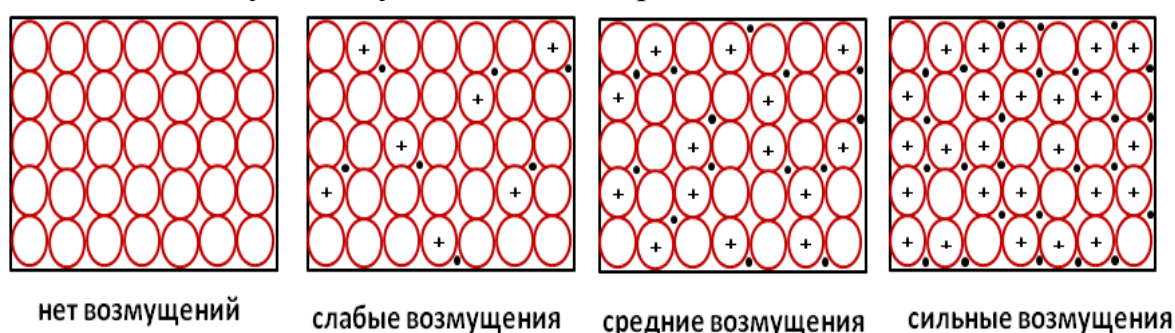


Рисунок 9-3. Плотность свободных электронов в проводнике

Постоянное течение среды вокруг проводника не является возмущением, способным выбить электрон из атома. А вот импульсный скачок скорости течения среды способен на такое воздействие - при включении или отключении постоянного тока в передающей антенне скачки тока возникают и в приёмной антенне!

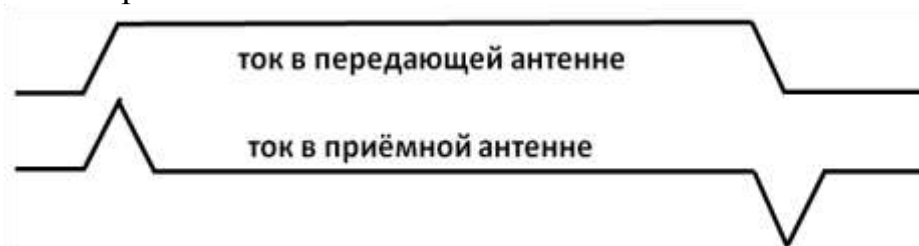


Рисунок 9-4. Реакция приёмной антенны на скачки тока в передающей антенне

Если постоянный ток в передающей антенне заменить переменным током, то соответственно начнёт попеременно меняться направление движения увлекаемой в поперечное движение среды. На рисунке ниже изображён принцип волнового распространения увлекаемой в движение среды. Интенсивность поперечного движения среды показана интенсивностью цвета. Области с нулевой скоростью движения показаны светлыми полосами. Области с максимальной скоростью движения показаны наиболее темными полосами.

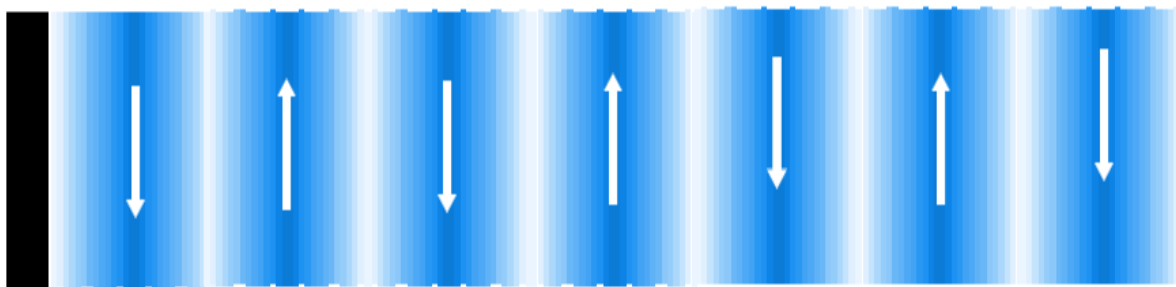


Рисунок 9-5. Волновое распространение увлекаемой в движение среды

Электромагнитные волны от вертикально расположенной передающей штыревой антенны распространяются симметрично во все стороны. Поэтому для понимания сути происходящих физических процессов вблизи антенны достаточно рассмотреть процессы в одной любой плоскости, проходящей через линию передающей антенны. Обозначим концы антенны: 'О' – нижняя точка для подключения фидера, 'А' – верхняя конечная точка. На передающую антенну с колебательного контура радиопередатчика подаётся переменное напряжение. Под его действием в антенне возбуждаются переменные токи. Точка 'А' антенны является границей движения электронов в антенне, поэтому в этой точке существуют граничные условия – ток всегда равен нулю. Точка 'О' антенны является для электронов одновременно и входом в антенну и выходом из антенны, поэтому в этой точке тоже существуют граничные условия - ток в этой точке всегда больше тока в любой другой точке антенны. Рассмотрим один период электрических колебаний в антенне.

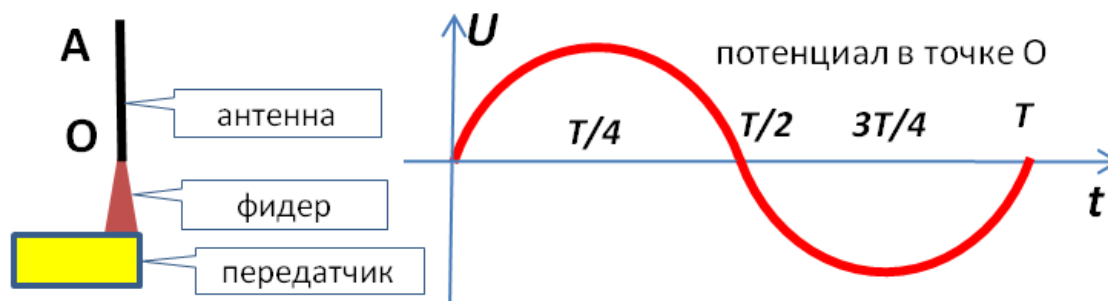


Рисунок 9-6. Устройство штыревой антенны

Пусть в течение первой четверти периода ($t = 0 - T/4$) напряжение, подаваемое на антенну, будет увеличиваться по гармоническому закону от нуля до некоторого максимального положительного значения (момент t_3).

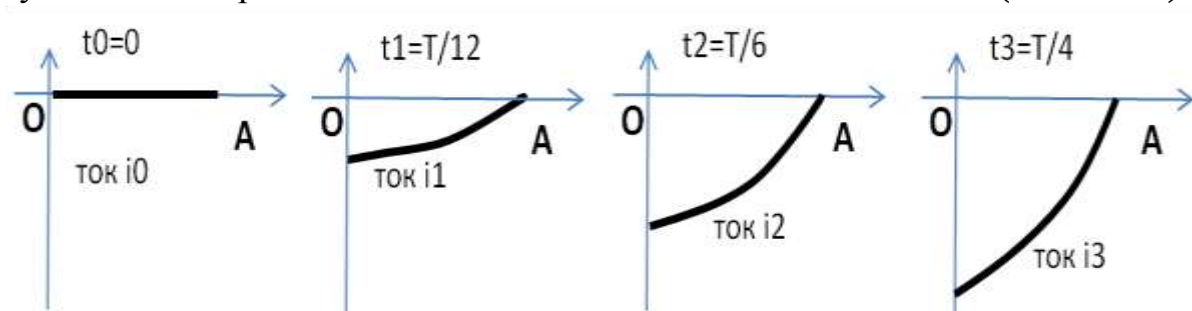


Рисунок 9-7. Токи в разных точках антенны в первой четверти периода

Тогда свободные электроны всего штыря начнут покидать антенну через общий выход в точке 'О', в которой появится суммарный ток, текущий по антенне сверху вниз и изменяющийся от нуля до некоторого максимального значения. По аналогии с механическими колебаниями это будет соответствовать состоянию "пружина растянулась".

Во второй четверти периода ($t = T/4 - T/2$) напряжение, подаваемое на антенну, будет уменьшаться по гармоническому закону от максимального положительного значения до нуля. Соответственно, в точке 'О' суммарный ток электронов, текущий по антенне сверху вниз, будет изменяться от максимального значения до нуля. По аналогии с механическими колебаниями это будет соответствовать состоянию "пружина расслабилась".

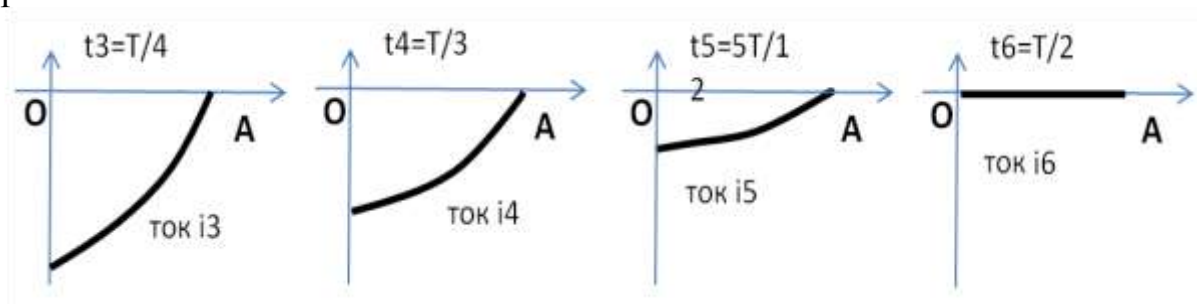


Рисунок 9-8. Токи в разных точках антенны во второй четверти периода

В третьей четверти периода ($t = T/2 - 3T/4$) напряжение, подаваемое на антенну, будет увеличиваться по гармоническому закону от нуля до некоторого максимального отрицательного значения (момент t_9). Тогда свободные электроны через общий вход начнут возвращаться в антенну и распределяться по всему штырю. В точке 'О' появится суммарный ток электронов, текущий по антенне снизу вверх и изменяющийся от нуля до некоторого максимального значения. По аналогии с механическими колебаниями это будет соответствовать состоянию "пружина сжалась".

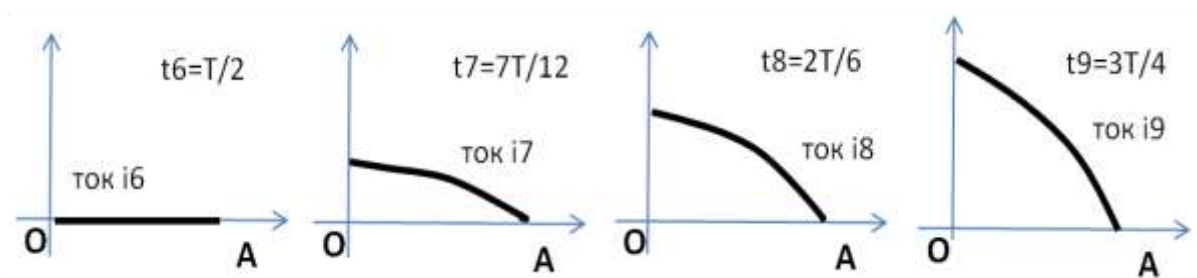


Рисунок 9-9. Токи в разных точках антенны в третьей четверти периода

В четвёртой четверти периода ($t = 3T/4 - T$) напряжение, подаваемое на антенну, будет уменьшаться по гармоническому закону от максимального отрицательного значения до нуля. Соответственно, в точке 'О' суммарный ток электронов, текущий по антенне снизу вверх, будет изменяться от максимального значения до нуля. По аналогии с механическими колебаниями это будет соответствовать состоянию "пружина расслабилась".

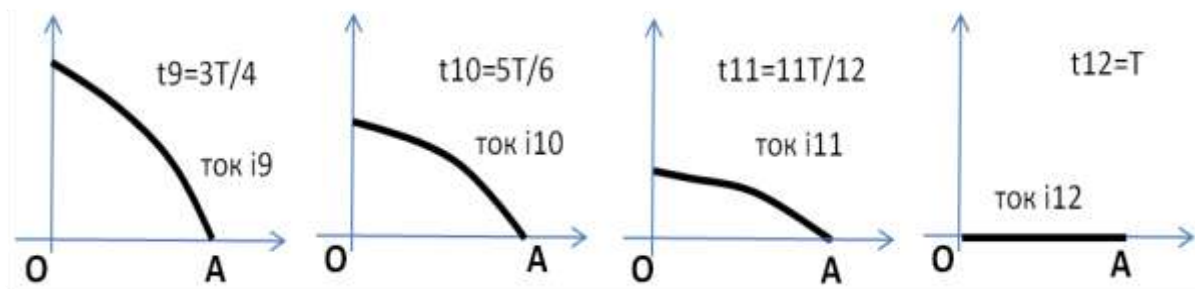


Рисунок 9-10. Токи в разных точках антенны в четвёртой четверти периода

Видим, что в течение одного периода колебаний в передающей антенне произошло два импульса электронного тока. В первом импульсе электроны в вертикальной штыревой антенне двигались сверху вниз, во втором – снизу вверх. Так же, как колеблющийся поплавоч в воде, электронный ток будет увлекать в движение окружающую антенну гидродинамическую среду микромира. При движении электронного тока в антенне сверху вниз увлекающаяся среда тоже начнёт двигаться сверху вниз. При движении электронного тока в антенне снизу вверх увлекающаяся среда тоже начнёт двигаться снизу вверх. Каждый увлечённый в поперечное движение слой среды увлекает в движение соседний слой среды. Тот, в свою очередь, увлекает в движение следующий слой. Процесс увлечения в движение среды распространяется в пространстве со скоростью распространения вращения в среде микромира – со скоростью света. Пусть в момент времени t_0 вокруг антенны находится слой среды s_1 . В момент времени t_1 этот слой увлекается в поперечное движение током i_1 . В момент времени t_2 слой s_1 увлечёт в движение слой s_2 , находящийся на расстоянии $r_2 = c \cdot t_2$ от антенны. А слой вокруг антенны в это время будет увлекаться в движение уже током i_2 . В момент времени t_3 слой s_2 увлечёт в движение слой s_3 , находящийся на расстоянии $r_3 = c \cdot t_3$ от антенны. В момент времени t_4 слой s_3 увлечёт в движение слой s_4 , находящийся на расстоянии $r_4 = c \cdot t_4$ от антенны и т.д. В течении одного периода колебаний первоначальное нулевое возмущение среды вокруг антенны сместится на расстояние $r_{12} = c \cdot t_{12}$.

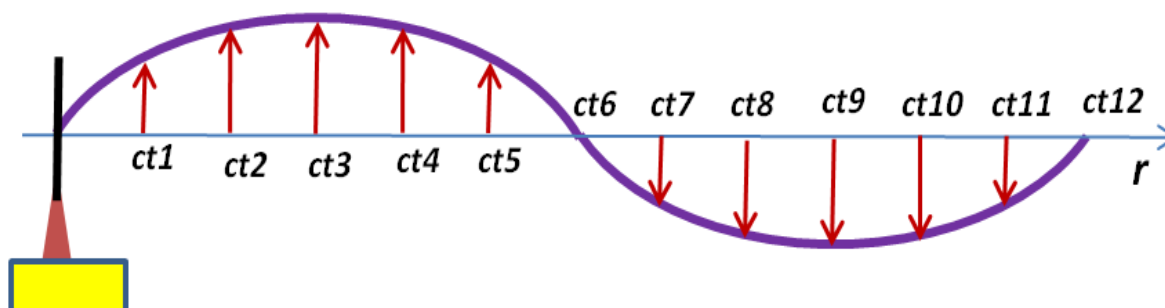


Рисунок 9-11. Возмущения вокруг антенны после одного периода колебаний

На рисунке выше изображено распределение возмущений среды в любой вертикальной плоскости, проходящей через передающую антенну, после одного периода электрических колебаний в антенне. Возмущения среды

показаны векторами, у которых направление поперечного смещения среды показывает стрелка, а относительную скорость поперечного смещения среды показывает амплитуда вектора. В течение времени одного периода электрических колебаний в антенне окружающая среда испытывает два противоположно направленных импульсных толчка. Во время первого импульсного толчка окружающая среда увлекается в движение и движется сверху вниз. Во время второго импульсного толчка окружающая среда увлекается в движение и движется снизу вверх. Свойство упругости среды здесь не используется. Возвращение среды через точку равновесия обеспечивается не упругостью, а сменой направления действия возмущающей силы. Подобно тому, как распространяются волны в воде от колебаний поплавка, здесь перемещается в пространстве не среда, а поперечные возмущения среды, вызванные электрическими колебаниями тока в антенне. Возмущения среды, происходящие на расстоянии $r=c*t_2$ от антенны, были возбуждены антенной $t=t_2$ времени назад (см. рисунок выше). Возмущения среды, происходящие на расстоянии $r=c*t_5$ от антенны, были возбуждены антенной $t=t_5$ времени назад. Возмущения среды, происходящие на расстоянии $r=c*t_9$ от антенны, были возбуждены антенной $t=t_9$ времени назад. При непрерывном изменении тока в передающей антенне непрерывно меняется интенсивность течения среды. Соответственно, атомы в проводнике приёмной антенны непрерывно подвергаются возмущениям со стороны окружающей среды, в результате чего непрерывно возникают свободные электроны. Упорядоченное переменное течение среды увлекает в упорядоченное переменное движение свободные электроны в приёмной антенне.

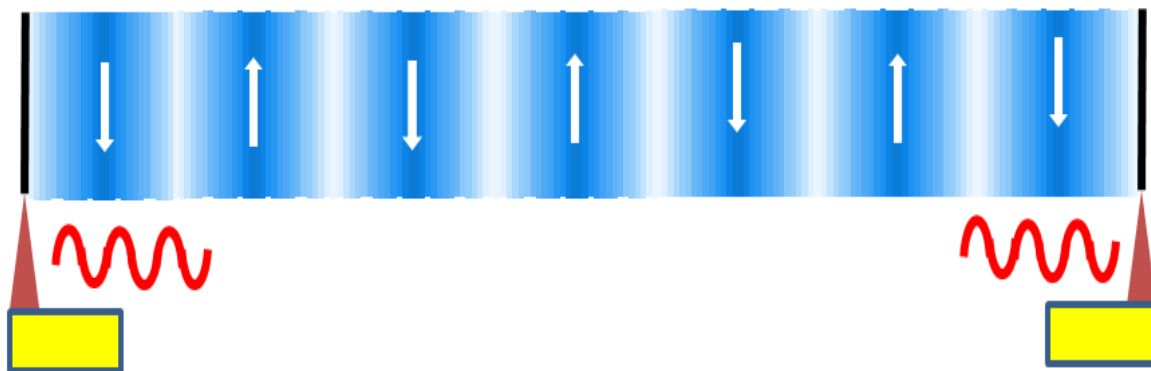


Рисунок 9-12. Движение среды между передающей и приёмной антеннами

Таким образом, делаем вывод, что в нашей модели колебания в плоскости антенны совершает не вектор электрической напряжённости, как утверждает Максвелл своими уравнениями, а вектор скорости поперечного смещения среды. Так как амплитуда этого нового вектора совершает боковые колебания поперёк направлению распространения волны, то можно, например, обозначить этот вектор L (от lateral – боковой) или V_L .

10. Разрешение противоречий магнитного вектора

Электромагнитные волны воспринимаются проволочным витком магнитной антенны, если плоскость витка лежит в плоскости передающей антенны. В теории Максвелла ток в витке вызывается составляющей магнитного поля, которая перпендикулярна плоскости витка. Ранее мы выяснили, что в нашей модели при распространении электромагнитной волны все физические процессы происходят в одной плоскости с передающей антенной. На рисунке ниже изображён проволочный виток на фоне электромагнитной волны, где интенсивность поперечного движения среды показана интенсивностью цвета. Ширина витка равна ровно половине длины волны. В этом случае вертикальные составляющие витка всегда находятся в противофазах волны. Если вокруг одной вертикальной составляющей среда течёт сверху вниз, то вокруг противоположной вертикальной составляющей среда обязательно течёт снизу вверх. Соответственно, увлекаемые в движение свободные электроны в вертикальных составляющих антенны, всегда будут двигаться в противоположных направлениях. Это как раз и является необходимым и достаточным условием для формирования кругового тока в проволочном витке. Форма витка (прямоугольная, эллиптическая) не имеет значения.

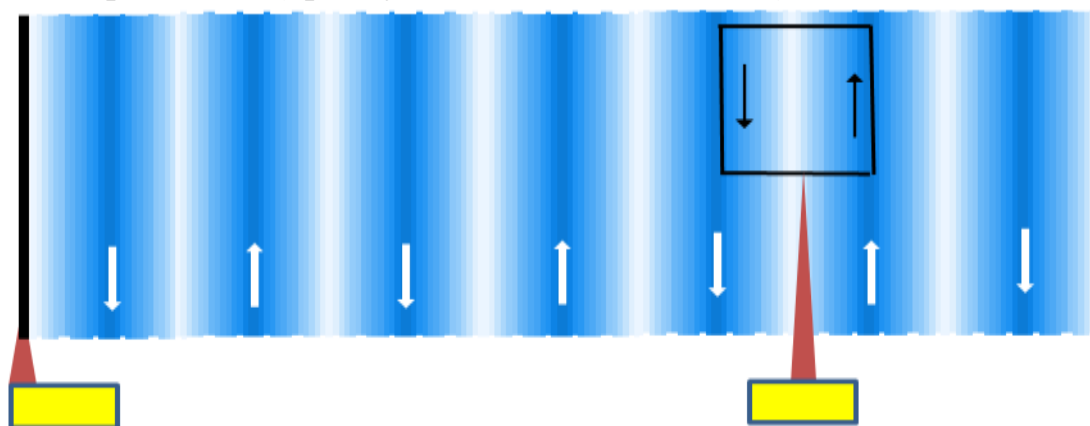


Рисунок 10-1. Приём радиосигнала проволочным витком

В данной интерпретации математическому вектору $\mathbf{H}$ нельзя поставить в соответствие какой-либо физический процесс, происходящий за пределами рассматриваемой плоскости. Как было показано выше, ток в проволочном витке может создавать единолично вектор скорости поперечного смещения среды. Попробуем в нашем частном случае в рассматриваемой плоскости найти ещё какие-либо физические процессы, которые бы могли дополнительно способствовать увлечению в движение свободных электронов и в горизонтальных составляющих проволочного витка. Такой процесс был бы физически возможен, если бы в данной плоскости среда совершала бы ещё и вращательные движения. И тут опять стоит вспомнить эксперименты с колебаниями поплавка в воде. От колебаний поплавок во все стороны распространяются волны в воде, которые

являются геометрической суммой продольных и поперечных колебаний частичек воды. В результате чего частицы воды совершают круговые движения. В нашей модели среда микромира тоже является гидродинамической, поэтому физические процессы, происходящие при колебаниях тока в антенне, должны быть полностью идентичны физическим процессам, происходящим при колебаниях поплавок. То есть, электромагнитные волны должны быть геометрической суммой поперечных и продольных колебаний гидродинамической среды микромира. Попробуем представить эти процессы визуально. Наиболее наглядно выглядят процессы, происходящие в пространстве, ограниченном двумя плоскостями, проходящими через точки 'О' и 'А' антенны и перпендикулярными антенне. Рассмотрим случай, когда ток электронов в антенне течёт сверху вниз. Разделим условно длину антенны на восемь частей. На первом участке антенны, прилегающем к точке 'О' всегда будет проходить полный ток антенны. Граничное условие – интенсивность потока среды, соприкасающейся с первым участком антенны, тоже будет максимальной. Чуть повыше на втором участке антенны уже не будет тока электронов возникающего на первом участке – ток электронов уменьшится на одну восьмую часть. Граничное условие – интенсивность потока среды, соприкасающейся со вторым участком антенны, тоже уменьшится на одну восьмую часть. Но суммарная интенсивность потока среды должна сохраняться. Тогда недостающую интенсивность поток среды, прилегающий к первому участку, будет увлекать из окружающего пространства. На третьем участке антенны уже не будет токов электронов, возникающих на первых двух участках. Граничное условие – интенсивность потока среды, соприкасающейся с третьим участком антенны, тоже уменьшится уже на две восьмых частей. Для сохранения общей интенсивности потока среды, увлекаемой антенным током, из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие две восьмых части общей интенсивности. На рисунке ниже величина интенсивности увлекаемого в поперечное движение потока среды изображается шириной голубой линии – чем меньше интенсивность потока, тем уже линия.

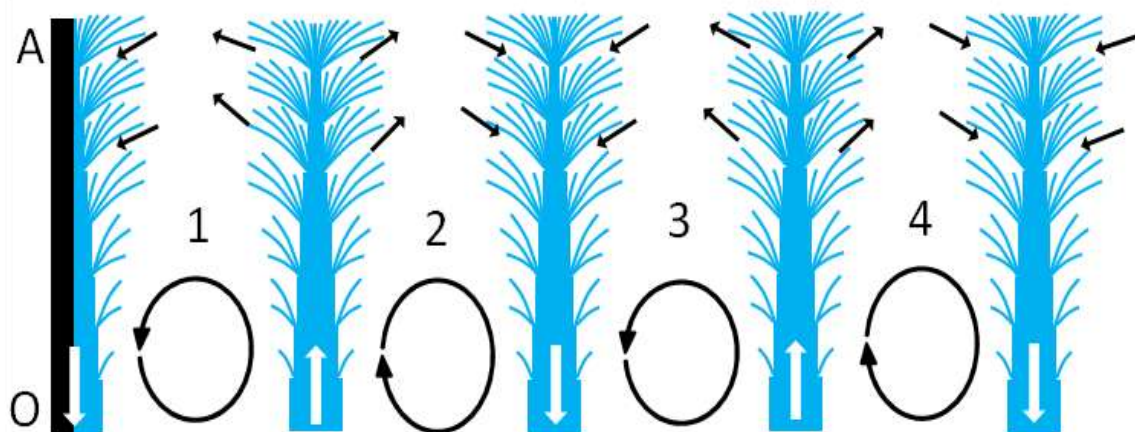


Рисунок 10-2. Структура электромагнитной волны от штыревой антенны

На четвёртом участке антенны не будет токов электронов, возникающих на первых трёх участках – интенсивность потока прилегающей среды уменьшится на три восьмых части. Для сохранения общей интенсивности потока среды из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие три восьмых части общей интенсивности (на рисунке этот процесс показан тремя тонкими линиями). На пятом участке антенны не будет токов электронов, возникающих на первых четырёх участках – интенсивность потока прилегающей среды уменьшится на четыре восьмых части. Для сохранения общей интенсивности потока среды из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие четыре восьмых части общей интенсивности (на рисунке этот процесс показан четырьмя тонкими линиями). На шестом участке антенны не будет токов электронов, возникающих на первых пяти участках – интенсивность потока прилегающей среды уменьшится на пять восьмых части. Для сохранения общей интенсивности потока среды из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие пять восьмых части общей интенсивности (на рисунке этот процесс показан пятью тонкими линиями). На седьмом участке антенны не будет токов электронов, возникающих на первых шести участках – интенсивность потока прилегающей среды уменьшится на шесть восьмых части. Для сохранения общей интенсивности потока среды из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие шесть восьмых части общей интенсивности (на рисунке этот процесс показан шестью тонкими линиями). На последнем восьмом участке антенны не будет токов электронов, возникающих на предыдущих семи участках – интенсивность потока прилегающей среды будет составлять всего одну восьмую часть общей интенсивности. Для сохранения общей интенсивности потока среды из окружающего пространства будут вытягиваться недостающие семь восьмых части общей интенсивности (на рисунке этот процесс показан семью тонкими линиями). Получившийся рисунок структуры увлекаемого потока среды напоминает дерево. Если ток в антенне сменит направление, то вид дерева не изменится, изменятся лишь направления потоков в основном стволе и в прилегающих ветках. Всего на рисунке изображено пять деревьев. На первом и третьем промежутках рисунка среда всасывается ветками левого дерева и вытягивается из веток правого дерева. На втором и четвёртом промежутках рисунка среда всасывается ветками правого дерева и вытягивается из веток левого дерева. Если какая-либо частица среды начинает движение из основания второго дерева, то она поднимается по стволу вверх, переходит по веткам на соседнее дерево (первое или третье) и спускается по нему вниз, совершив полуоборот. Полный оборот по эллиптической линии частица совершит за пределами рисунка (там тоже должны быть деревья, но перевёрнутые). Частицы среды совершают эллиптические движения, откуда следует, что они одновременно участвуют и в поперечных и в продольных колебаниях.

Выше было рассмотрено состояние среды вблизи работающей штыревой передающей антенны. Рассмотрим теперь общий случай, когда расстояние до антенны далеко и её можно представить точечным источником. В этом случае о каких-либо деревьях не может быть и речи. Вдали от передающей антенны под любым углом к антенне в электромагнитной волне имеется чёткое разделение на полосы с максимальной интенсивностью поперечного течения среды и полосы с минимальной интенсивностью течения. Тогда по гидродинамическим законам (из формулы Бернулли следует, что при увеличении скорости должно падать давление) в полосах с максимальной скоростью направленного упорядоченного течения должно быть минимальное давление, а в полосах с минимальной скоростью течения – максимальное давление. Именно по этим причинам в электромагнитной волне помимо поперечного движения среды однозначно должны существовать продольные колебания среды – среда вынуждена двигаться из полос с повышенным давлением в сторону полос с пониженным давлением. Тогда, по аналогии с волнами от колебаний поплавка, полосы с минимальной скоростью поперечного движения и максимальным давлением можно назвать гребнями волны. А полосы с максимальной скоростью поперечного движения и минимальным давлением можно назвать впадинами волны. Токи, возникающие в горизонтальных участках проволочного витка приёмной антенны, компенсируют друг друга и добавочного вклада в антенный ток не вносят.

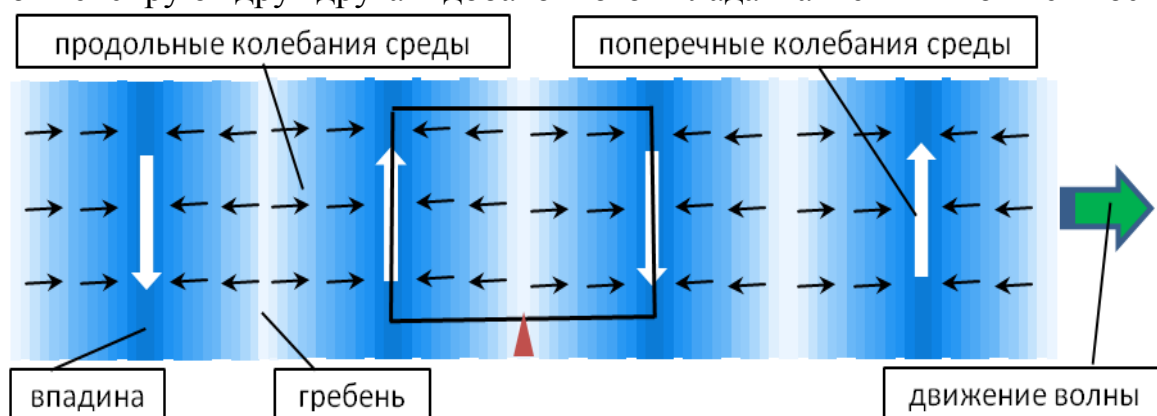


Рисунок 10-3. Полное графическое описание электромагнитной волны

На рисунке выше показано, что в электромагнитной волне происходит одновременно три физических процесса. **Первый процесс** – во впадинах происходит поперечное движение среды со сменой направления, чем дальше от линии впадины, тем меньше скорость поперечного движения. **Второй процесс** – среда постоянно стекает с гребней во впадины.

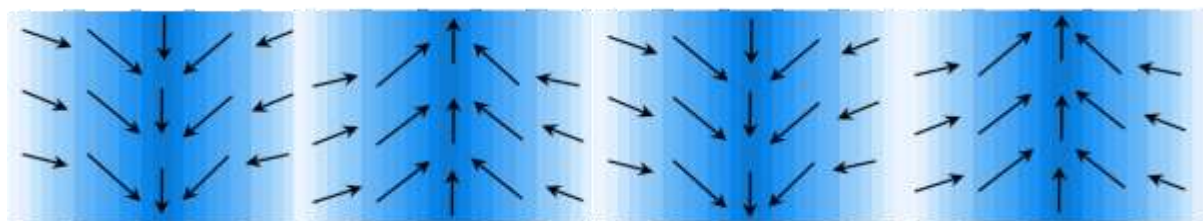


Рисунок 10-4. Геометрическое суммирование двух движений в волне

Третий процесс – гребни и впадины движутся с постоянной скоростью (со скоростью света) в направлении распространения волны. Каждая частица среды одновременно участвует во всех трёх движениях. Трудно сразу сказать однозначно, какую траекторию она при этом будет описывать. Попробуем логически получить качественную картинку. На рисунке ниже слева от изображения волны показана примерная траектория движения одной частицы среды. Пусть 1-начальное положение частицы на гребне волны. В этом месте движения первого и второго процесса отсутствуют. Двигается только волна. По мере приближения ближайшей впадины волны частица всё сильнее и сильнее увлекается в движение. С одной стороны, впадина приближается к частице со скоростью света. С другой стороны, частица сама стекает во впадину двигаясь налево и вверх по течению.

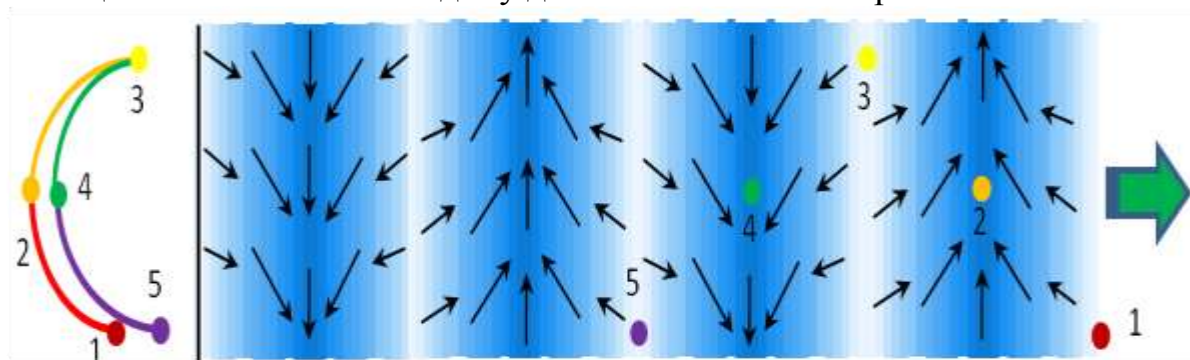


Рисунок 10-5. Оценка траектории движения произвольной частицы среды

Точка 2- соответствует попаданию частицы во впадину. После этой точки впадина проходит через частицу и двигается дальше в направлении распространения волны. Стекая с нового гребня, частица начинает двигаться вслед за впадиной вправо и вверх до тех пор, пока её не догонит гребень в точке 3. На участке между точками 2 и 3 скорость волны и продольная составляющая скорости частицы направлены в одном направлении, поэтому время нахождения на этом участке больше, чем время нахождения на участке между точками 1 и 2. Соответственно, на участке 2-3 частица должна пройти несколько большее расстояние. Начиная с точки 3 процессы повторяются, меняется только направление поперечного движения. Частица стекает в очередную впадину, двигаясь налево и вниз до точки встречи с впадиной (4), а впадина движется ей навстречу со скоростью света. Расстояние, пройденное на участке 3-4, равно расстоянию 1-2, но меньше расстояния 2-3. После точки 4 впадина проходит через частицу и двигается дальше в направлении распространения волны. Стекая с нового гребня, частица начинает двигаться вслед за впадиной вправо и вниз до тех пор, пока её не догонит гребень в точке 5. Длина участка 4-5 равна длине участка 2-3. Полученная траектория эллипсом не является, тут нет места спорам. Спорить можно лишь о том, что совпадают или не совпадают точки 1 и 5.

Можно сделать однозначный вывод, что причиной одновременного возникновения поперечных и продольных колебаний в электромагнитной волне в общем случае является наличие переменного тока в антенне. Наличие градиента тока в передающей антенне (нулевой ток в точке 'А', наибольший ток в точке 'О') обязательным условием не является.

Другой вывод: уравнения Максвелла являются чисто математической моделью электромагнитной волны, так как никакие физические процессы в гидродинамической среде этим уравнениям не соответствуют. Максвелл описал два вихревых поля, взаимно порождающих друг друга, а в гидродинамической модели вихревых полей не существует.

Максвелл писал: *«Приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был так же математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символов. Я также нашёл, что этот метод можно выразить в обычной математической форме и таким образом сравнить с методами профессиональных математиков. ...Я сам посвятил себя почти целиком математической трактовке предмета».*

Все физические события происходят в одной плоскости. Амплитуда математического вектора $\mathbf{H}$ совершает математические колебания в другой плоскости лишь в соответствии с физическими колебаниями направления вращения среды в плоскости поперечных колебаний среды. Сам Максвелл по этому поводу писал: *«Сейчас мы знаем, что светонесущая среда в отдельных случаях испытывает действие магнетизма, так как Фарадей открыл, что в тех случаях, когда плоскополяризованный луч проходит через прозрачную диамагнитную среду в направлении магнитных силовых линий, образуемых магнитами или токами, то плоскость поляризации начинает вращаться. Это вращение всегда происходит в том направлении, в котором положительное электричество должно проходить вокруг диамагнитного тела для того, чтобы образовать действующее магнитное поле. Верде с тех пор открыл, что если заменить диамагнитное тело парамагнитным, например раствором треххлористого железа в эфире, то вращение происходит в обратном направлении. Профессор В. Томсон указал, что никакое распределение сил, действующих между частями какой-либо среды, единственным движением которой является движение световых колебаний, недостаточно для объяснения этих явлений, но что мы должны допустить существование в среде движения, зависящего от намагничивания, в дополнение к тому колебательному движению, которое представляет собой свет. Совершенно правильно, что вращение плоскости поляризации вследствие магнитного воздействия наблюдалось только в средах, обладающих заметной плотностью. Но свойства магнитного поля не так уже сильно изменяются при замене одной среды другой или вакуумом, чтобы позволить нам допустить, что плотная среда делает нечто большее, чем простое изменение движения эфира. Мы поэтому имеем законное основание поставить вопрос: не происходит*

ли движение эфирной среды везде, где бы ни наблюдались магнитные эффекты? Мы имеем некоторое основание предположить, что это движение является движением вращения, имеющим своей осью направление магнитной силы».

Продольные колебания в уравнениях Максвелла никак не отображаются. Именно поэтому, если мягко сказать, эти уравнения не полны. Сам Максвелл по этому поводу писал: *«Следовательно, наука об электромагнетизме ведет к совершенно таким же заключениям, как и оптика в отношении направления возмущений, которые могут распространяться через поле; обе эти науки утверждают поперечность этих колебаний, и обе дают ту же самую скорость распространения. С другой стороны, обе науки бессильны, когда к ним обращаются с вопросом о подтверждении или отрицании существования продольных колебаний».*

Литература

1. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир. 1986. 184 с.
2. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. —2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 1959.
3. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т.3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. —12-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
4. Литвинов О.С., Павлов К.Б., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. Кафедра физики. 2002, 763с.
5. Максвелл Д.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. Перевод З.А.Цейтлина под ред. П.С.Кудрявцева. - М.: ТЕХТЕОРИТ, 1952.
6. Малюшевский П.П. Явление кумуляции при взаимодействии вихревых колец (Часть II. Обсуждение экспериментальных наблюдений). Электронная обработка материалов. 2005, N.3, сс.36-40
7. Основы радиотехники: Учебное пособие / сост.: С.В. Францевич., В.М. Сигай. – Минск: МГВАК, 2009. – 124 с.
8. Старостина И.А., Кондратьева О.И., Бурдова Е.В. Волновая и квантовая оптика. Электронный учебник по физике. КГТУ-КХТИ. Кафедра физики.
9. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие для вузов. — 11-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
10. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Том 2. Электрические и электромагнитные явления. —9-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 1962.
11. Яковлев В.В. Особенности вращения. Часть 1. Исторический обзор представлений об особенностях явлений гидродинамики. Пенза. 2017.
12. Яковлев В.В. Особенности вращения. Часть 2. Взгляд независимого аналитика на вращение и на гидродинамические явления. Пенза. 2017.