



В нашем мире существует огромное число таких объектов, к которым неприменима модель «частица» и её модификации. Эти объекты (например, жидкости и газы) в естественном виде не имеют собственной формы и строго очерченных границ, но способны занимать некоторый объём внутри замкнутой* или в ограниченной внешними контурами** области пространства. Подобными особенностями обладает и электромагнитное поле, в том числе и тепловое излучение.

Модель, адекватная таким объектам, называется **континуум***** или **сплошная среда**. Эта модель применяется для описания сплошных, нелокализованных сред, состоящих из большого числа частиц. Внутреннее (молекулярное) строение тел в этом случае можно игнорировать. Иногда поэтому даже кристаллы или стекло можно описывать в модели континуума.

* (например, в сосуде или другой ёмкости)

** (как река или озеро)

*** в математике континуумом называется множество бесконечного числа однотипных объектов, каждый из которых можно перенумеровать

Сыпучие тела и материалы



2

Эта модель, как и частица, является второй фундаментальной физической моделью в рамках классической ЕНКМ. Наряду с объектами, показанным на предыдущем слайде, она применяется также для описания газов и сыпучих сред, таких как песок



Твердые тела



Кристаллы



**Аморфные
вещества**

96

Эта модель может быть применима также и к твердым телам: как к аморфным, так и к кристаллическим.

Континуум – модель для среды с непрерывно
распределенными характеристиками



- Непрерывно – не значит равномерно.
- Вводятся локальные характеристики:

Плотность массы

$$\rho_m(x, y, z) = \frac{dM}{dV}$$

Плотность энергии

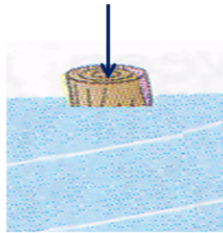
$$\rho_\varepsilon(x, y, z) = \frac{d\varepsilon}{dV}$$

4

В сплошных средах используются те же характеристики, что и в модели «частица»: масса, импульс, энергия и т.д. но надо принимать во внимание, что они характеризуют среду в целом, т.е. интегрально. В действительности, в сплошных средах эти характеристики могут различаться в разных точках пространства. А так как эти точки расположены бесконечно близко (непрерывно), то говорят **что континуум - это среда с непрерывно распределёнными параметрами.**

В этой модели надо использовать эти же параметры, но заданные в конкретных точках как функции координат. Их называют локальными характеристиками. Локальные характеристики относятся к бесконечно малому элементу среды. Поэтому они вычисляются через дифференцирование по объему таких физических, как масса, энергия и др. В итоге подобные локальные характеристики имеют смысл соответствующих плотностей – массы, энергии и т.д.

Волновые процессы – специфический тип движения в модели «континуум»



Если подтолкнуть брусок, он будет совершать собственное локальное колебание в вертикальном направлении. При этом он все время остаётся на одном месте. Но в окружающей жидкости кругами будут распространяться волны.

Волна – это распространение возмущения (колебания) в пространстве.

5

Все объекты, перечисленные выше, могут перемещаться как целое. Наглядным образом такого движения служит течение жидкости. Но для нас модель сплошной среды интересна тем, что в таких средах может происходить специфический тип внутреннего согласованного движения. Это - волновое движение.

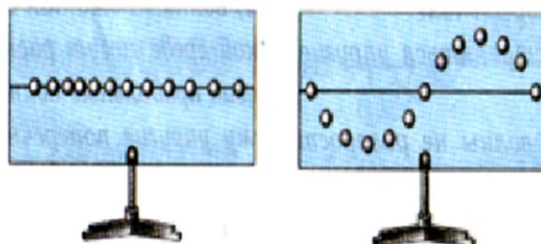
В сплошной среде возможен особый вид движения – волновое. Причиной такого движения в случае, изображенном на слайде, является толчок, который испытал брусок. Этот толчок называется **возмущением**. Благодаря тому, что в сплошной среде все соседние элементы расположены бесконечно близко и воздействуют друг на друга, это возмущение «почувствует» соседний элемент среды, и он придёт в такое же колебательное движение. Затем все повторится с другими «соседями».

Возмущение побежит по пространству, и визуально мы будем воспринимать процесс как волновой.

Волновое движение



Продольная волна



Поперечная волна

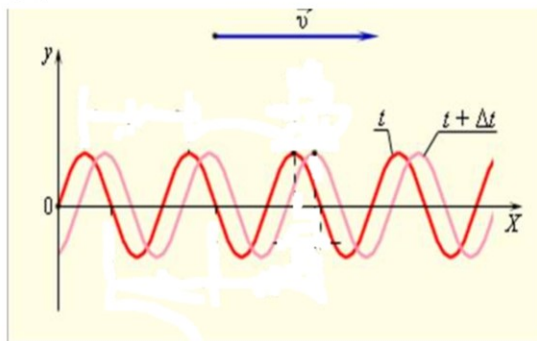
Некоторое представление о таком взаимодействии элементов сплошной среды можно получить, рассматривая рисунки. Так, удар красного шарика на верхнем рисунке будет сопровождаться передачей импульса и энергии первому ближайшему к нему соседу. Если бы этот шарик был свободным, он просто отлетел бы в сторону. Но между шариками есть связь, которая осуществляется через нити, которыми они привязаны к общей горизонтальной рейке. Далее процесс будет воспроизводиться автоматически со следующими соседями, и исходное возмущение будет распространяться в виде волны.

Аналогично, на нижнем рисунке связь между шариками осуществляется через продетую через них упругую нить.

Таким образом, по пространству будут распространяться волны.

Итак, **волна – это распространение возмущения (колебания) в пространстве**. Визуально этот процесс выглядит как чередование в пространстве горбов (максимумов) и впадин (минимумов) значений характеристик (например, смещений). Аналогичная картина наблюдается и во времени, т.е. если на графике по горизонтальной оси отложено текущее время, то наблюдатель также увидит бегущую волну. На этой картине «густота» горбов характеризуется особой величиной, называемой **частотой**. Она обозначается греческой буквой Омега (ω или Ω)

Особенности волнового движения



$$s(x, t) = s_{max} \sin\left(\omega \left(t - \frac{x}{v}\right)\right)$$

Мы уже обращали внимание на то, что деревянный брусок, совершающий вертикальное колебание, НЕ перемещается по направлению волны. Он является лишь наглядным индикатором тех волновых процессов, которые происходят в жидкости. Соприкасающиеся с ним элементы жидкости ведут себя аналогично – они так же, как брусок, не перемещаются в направлении волны. Иными словами, вещество (жидкость) при волновом процессе не переносится.

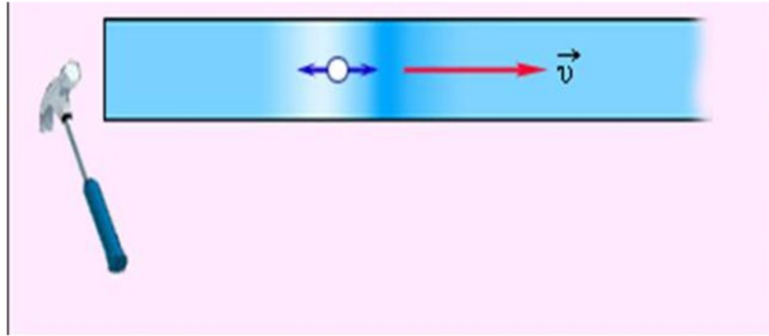
Другая особенность волнового процесса состоит в том, что всегда требуется некоторое время, чтобы возмущение передалось соседнему элементу среды. Этим объясняется запаздывание при передаче возмущения от одного элемента сплошной среды другому. Бледная линия на рисунке обозначает, что в точку пространства, расположенную правее той, где она была в момент времени t , возмущение придёт позже на Δt .

Простейший тип волны называется гармонической волной и описывается формулой синуса или косинуса (см. слайд)

Таким образом, мы рассмотрели два различных процесса – колебательный и волновой, которые происходят с разными объектами. Первый из них

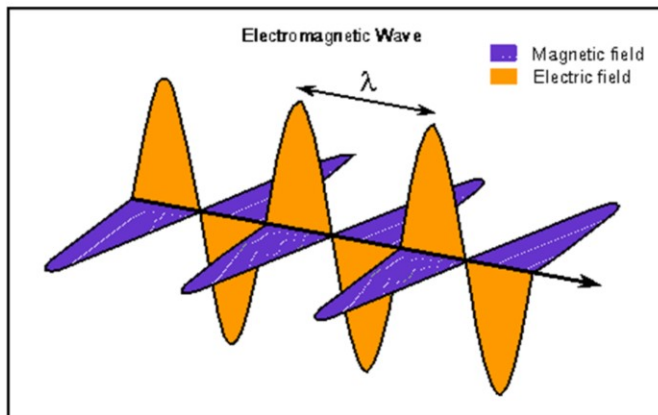
происходит с частицей (бесконечно малым объёмом среды) при наличии внешнего упругого воздействия. Второй возникает в том случае, когда рядом с такой частицей находится множество других таких же частиц (сплошная среда). Но наличие упругой связи в обоих случаях является обязательным.

Механические волны



Все сказанное выше поясняет механизм возбуждения и распространения волн, которые называются **механическими**. Наиболее известным видом механических волн являются **звуковые**. Они отличаются тем, что распространяются благодаря тому, что под влиянием внешнего воздействия возникают периодические изменения плотности среды. Кроме того, колебания элементов плотности среды происходят не в вертикальной плоскости (как на правом рисунке), а в направлении распространения волны – это продольные волны. Они **могут распространяться только в среде (например, в воздухе, жидкости или твердом теле)**.

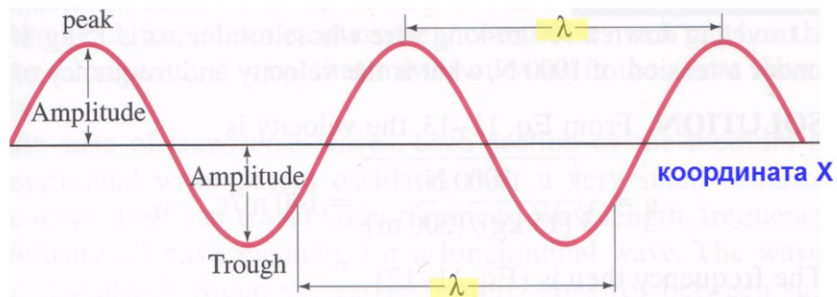
Электромагнитные волны



Другим распространенным типом волн являются электромагнитные волны. Механизм их возбуждения и распространения существенно отличается от описанного выше. Электромагнитные волны — это процесс распространения колебаний напряженностей электрического и магнитного поля, которые происходят согласованно в плоскости, перпендикулярной* к направлению распространению волны. Они распространяются в пространстве с конечной скоростью, наибольшим предельным значением которой является скорость света в пустоте.

**если колебания происходят перпендикулярно направлению распространения волны, то волну называют поперечной. Электромагнитные волны – поперечные.*

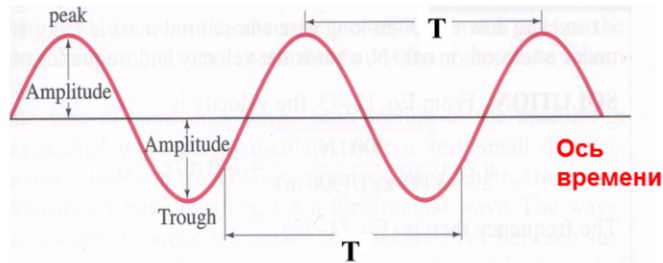
Характеристики волны
 λ – длина волны – пространственный период (измеряется в ед. длины)



10

Каждая волна имеет пространственную характеристику – длину волны – пространственное расстояние между соседними гребнями.

Период волны **T** –
временн^{ая} характеристика, измеряется в сек.



Частота волны ω ,
измеряется в Герцах:
1 Гц=1/сек

$$\omega \sim \frac{1}{T}$$

11

Другой параметр волны – это промежуток времени между возникновением соседних максимумов, называется **периодом**. Частота волны, о которой говорилось ранее, связана периодом обратной зависимостью.

В свободном пространстве

- **Направление распространения световой волны**
- **прямая линия, луч**
- **Говоря о лучах, мы забываем о волновом характере света**
- **При встрече с «большим» препятствием лучи подчиняются законам геометрической оптики – они отражаются и преломляются**

12

Если волна не встречает на своем пути никаких препятствий, то применимы представления геометрической оптики, можно считать, что волна распространяется прямолинейно. В этом случае говорят о лучевом приближении.

Образование тени

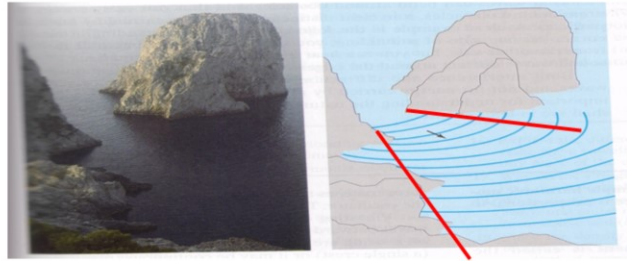


- Тень образуется там, где препятствие перекрывает световой поток, ограниченный лучами.

13

Если же на пути волны имеется достаточно большое препятствие, которое может перекрыть поток излучения, то на экране за препятствием возникает геометрическая тень.

ДИФРАКЦИЯ — особое свойство волн:
волна **огинает** препятствия или заходит в область
геометрической тени, прямолинейность нарушается



Дифракция волны на воде

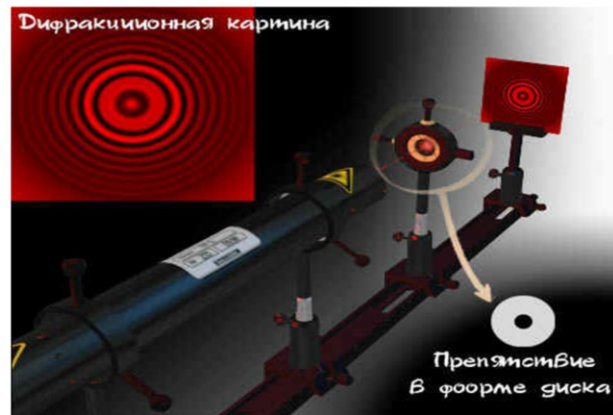
14

Совсем иная ситуация имеет место, если препятствие мало. Критерием этой малости является условие соизмеримости длины волны и размера преграды $d \sim \lambda$.

В этом случае возникает нарушение прямолинейности распространения волны — волна как бы огибает препятствие. Данное явление называется дифракцией.

Отметим, что дифракция имеет место не только при встрече с препятствием в прямом смысле слова, но при встрече с любым нарушением однородности: например, на пути волны расположен большой экран, в котором прорезана узкая щель, размер которой удовлетворяет тому же условию. Поэтому встречается дифракция на препятствии (например, на подходящем по размеру шарике), и дифракция на щели (или совокупности щелей).

Результат дифракции света на круглом отверстии/круглом экране

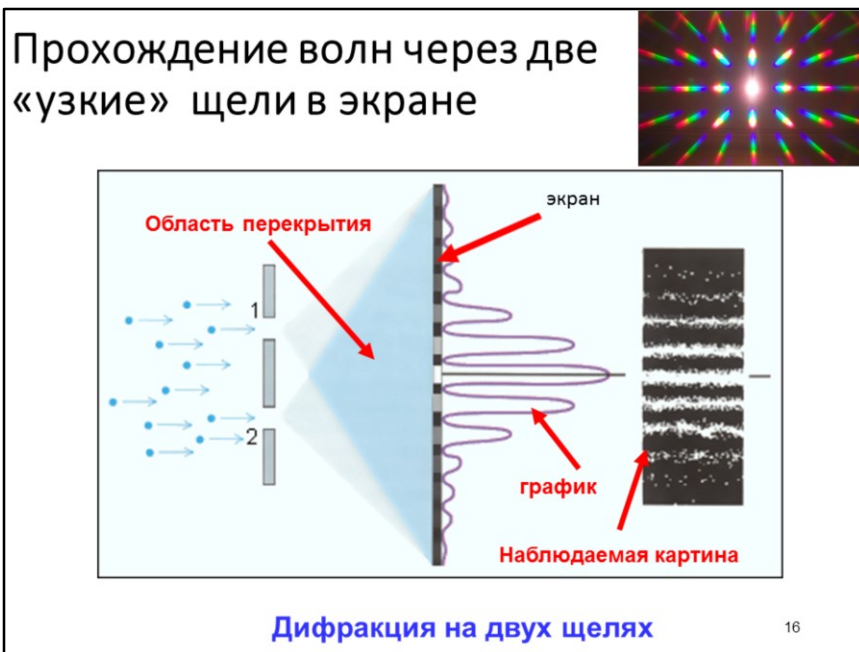


Дифракционная картина – это неоднородное распределение интенсивности на экране – чередование светлых и темных полос или колец

15

Как визуально выглядит дифракционная картина? Не вдаваясь в подробности, скажем, что на экране видно чередование темных и освещенных участков разной конфигурации (полос, окружностей и т.д. в зависимости от геометрии опыта.)

Строго говоря, результатом дифракции является закономерная (регулярная) неоднородность в распределении по пространству интенсивности излучения.



На слайде представлена система максимумов и минимумов интенсивности излучения (в области экрана) и визуальная картина в виде соответствующих ярких полос.

Мы уделяем **серьёзное внимание явлению дифракции**, имея в виду следующее:

С одной стороны, это вовсе не экзотическое явление, свойственное волновому процессу в сплошной среде. Дифракция наблюдается как в белом, так и монохромном излучении, образуя иногда причудливые разноцветные изображения (фото справа наверху).

Как показало дальнейшее развитие науки, этим не исчерпывается значимость дифракции. Сам **факт регистрации в эксперименте дифракционной картины является свидетельством того, что имеется некоторый волновой процесс**. И в том случае, когда нет явных указаний на его источник, возникает эвристическая проблема – идентифицировать доселе неизвестную причину его возникновения.