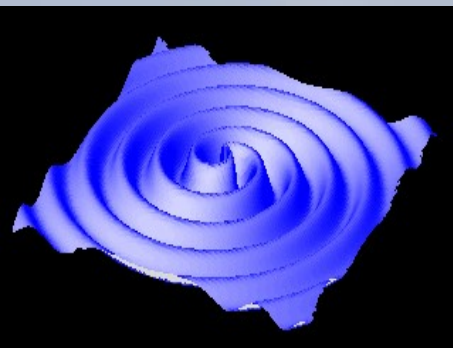


Волны







Волна

— это явление

распространения
в пространстве
с течением времени

возмущения физической
величины
(вынужденных колебаний)

Система из двух
нейтронных звезд
порождает среду
— «рябь»
пространства-
времени

Имеются, однако, волны, которые являются не «рябью» какой-либо иной среды, а представляют собой именно новые физические сущности.

Так, **электромагнитные волны** в современной физике — это не колебание некоторой среды (называвшейся в XIX веке эфиром), а самостоятельное, самоподдерживающееся поле, способное распространяться в вакууме.

Аналогично обстоит дело и с **волнами вероятности материальных частиц**.

Некоторые явления также называют волнами, однако каждая из них обладают собственной спецификой.

Так, с **определёнными оговорками**, говорят про:

температурные волны, волны вероятности электрона и других частиц,

волны горения,

волны химической реакции,

волны плотности реагентов,

волны плотности транспортных потоков.

Волны

В зависимости от физической среды

По отношению к направлению колебаний частиц среды

Источник возникновения (природа)

По виду фронта волны

По демонстрируемым физическим проявлениям

В зависимости от физической среды, в которой распространяются волны, их свойства различны и поэтому различают:

волны на поверхности жидкости;

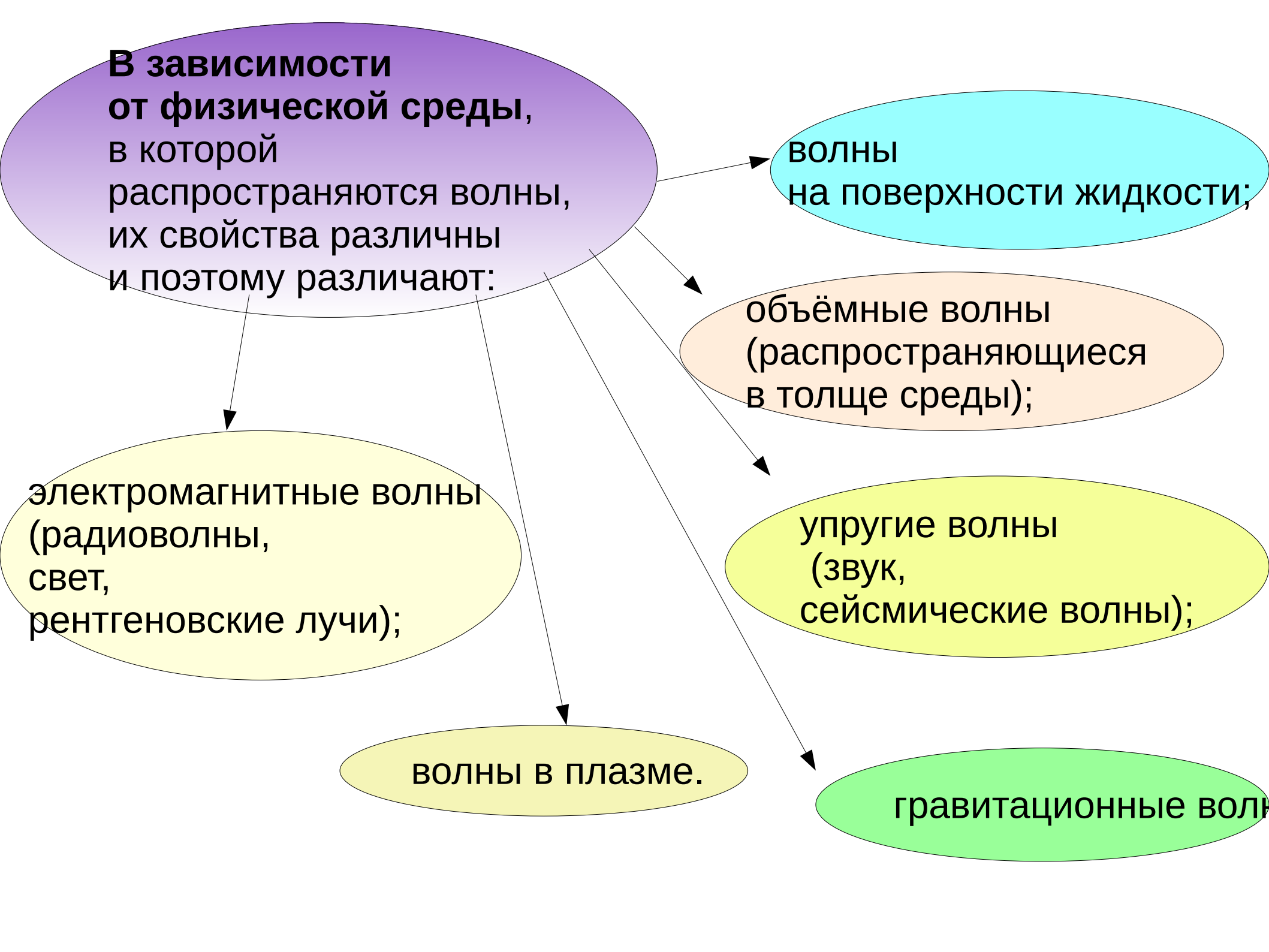
объёмные волны (распространяющиеся в толще среды);

электромагнитные волны (радиоволны, свет, рентгеновские лучи);

упругие волны (звук, сейсмические волны);

волны в плазме.

гравитационные волны



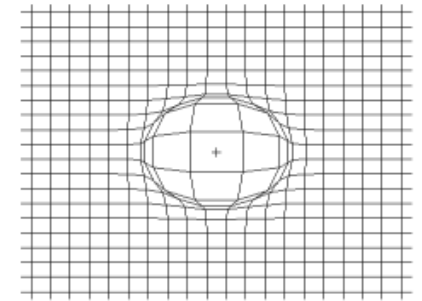
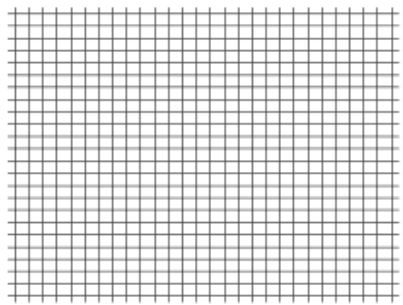
По отношению к направлению колебаний частиц среды

* продольные волны

(волны сжатия, Р-волны) — волна распространяется параллельно колебаниям частиц среды (звук);

* поперечные волны (волны сдвига, S-волны) — частицы среды колеблются перпендикулярно

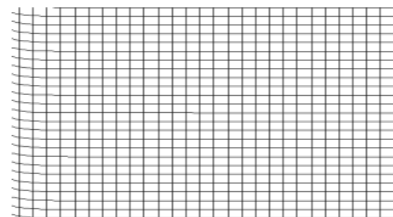
направлению распространения волны



Направление распространения волны

Направление смещения частиц

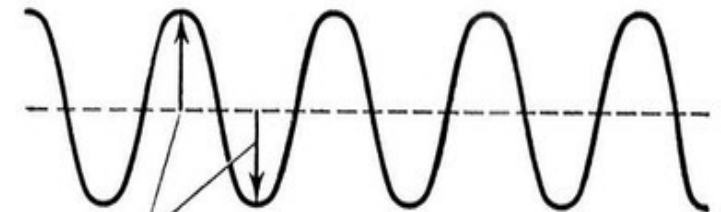
Смешанные



Направление распространения волны

Направление смещения частиц

б



- **Продольные волны**

В продольной волне возмущения представляют собой сжатие (или разрежение) среды.

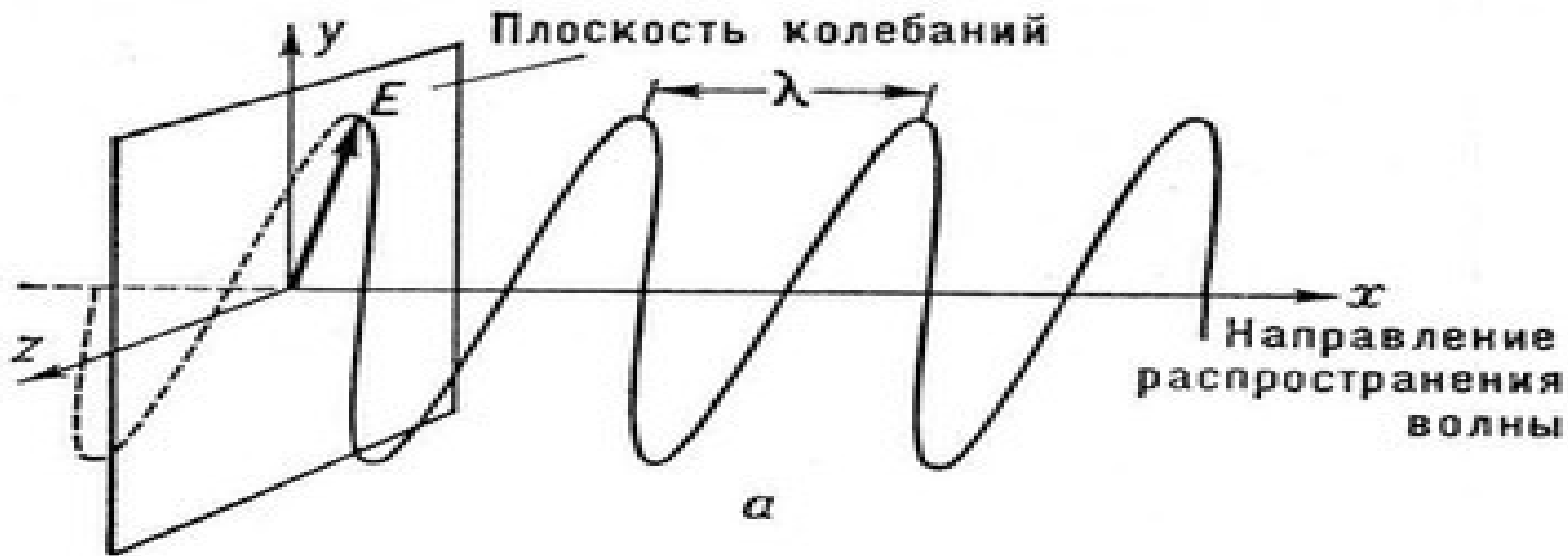
Пример продольных волн – распространение звука (зон сжатия) в газах, жидкостях и твердых телах.

- **Поперечные волны**

В поперечной волне возмущения представляют собой – смещение (сдвиг) одних слоев среды относительно других.

пример поперечных волн – распространение звука в твердом теле, волны на поверхности воды

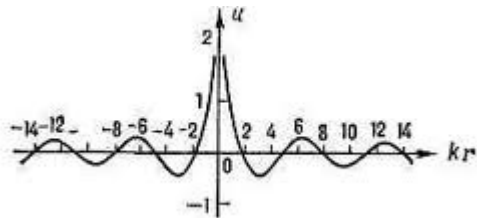
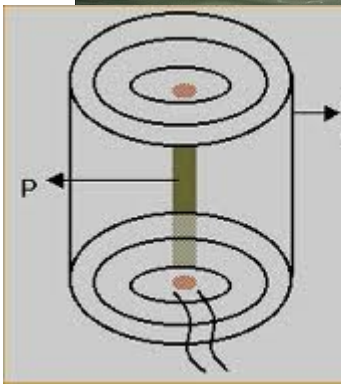
Деформация сжатия всегда сопровождается возникновением силы упругости, в то время как деформация сдвига приводит к появлению сил упругости только в твердых телах; сдвиг слоев в газах и жидкостях возникновением сил упругости не сопровождается. Поэтому продольные волны могут распространяться во всех средах: жидких, твердых, газообразных, а поперечные – только в твердых.



По виду фронта волны (поверхности равных фаз)

цилиндрическая волна —

поверхность фаз напоминает цилиндр.



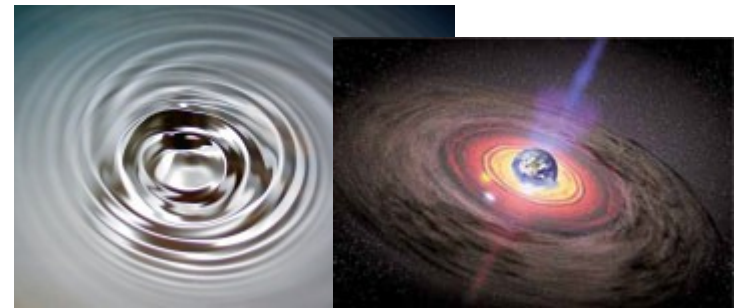
сферическая волна —

поверхностью фаз является сфера;



плоская волна —

плоскости фаз перпендикулярны направлению распространения волны и параллельны друг другу;

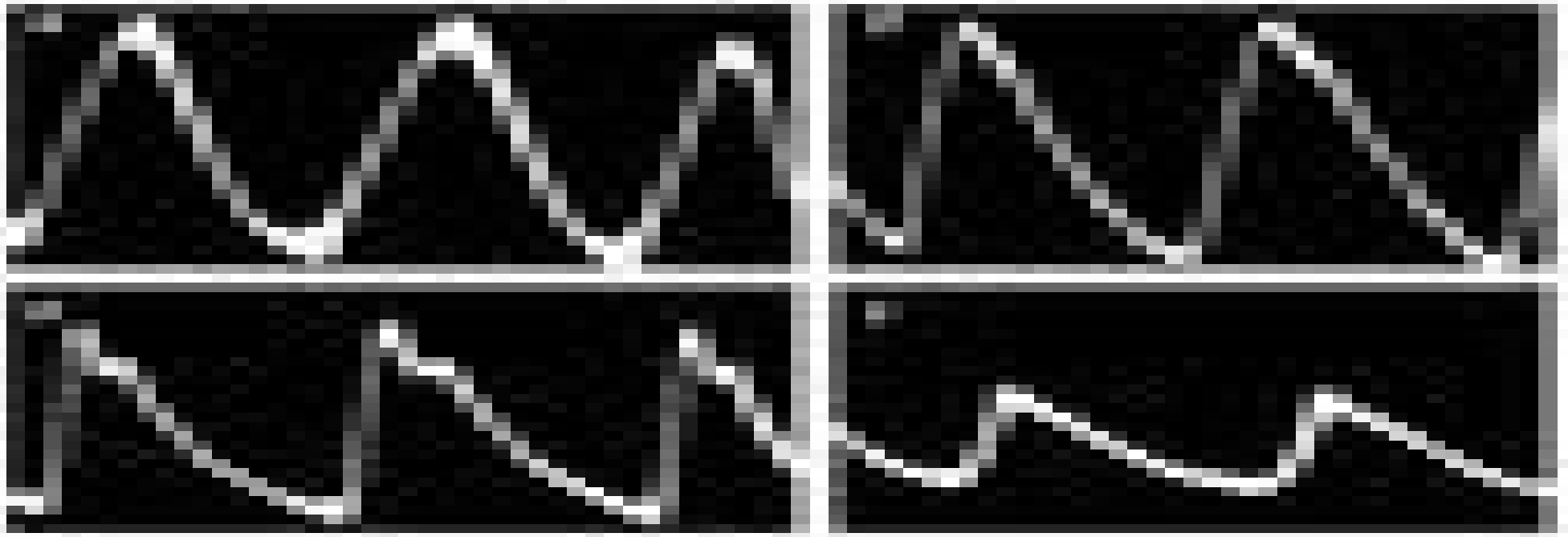


линейные волны —
волны с небольшой амплитудой,
свойства которых описываются
простыми линейными зависимостями;

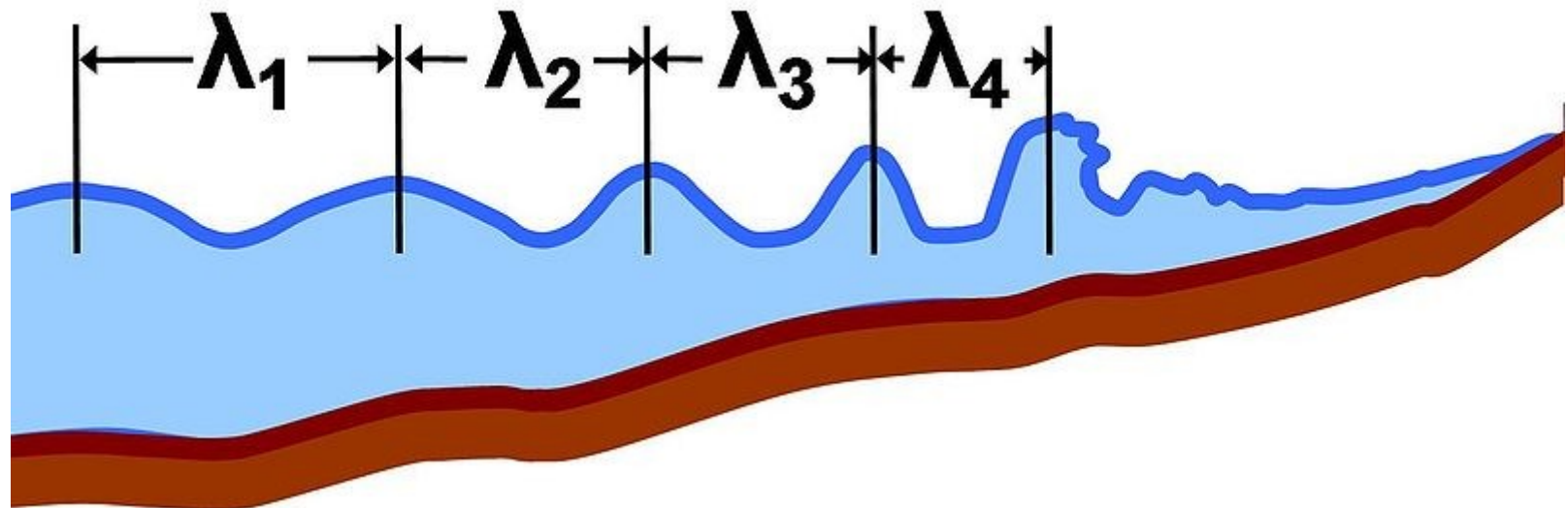
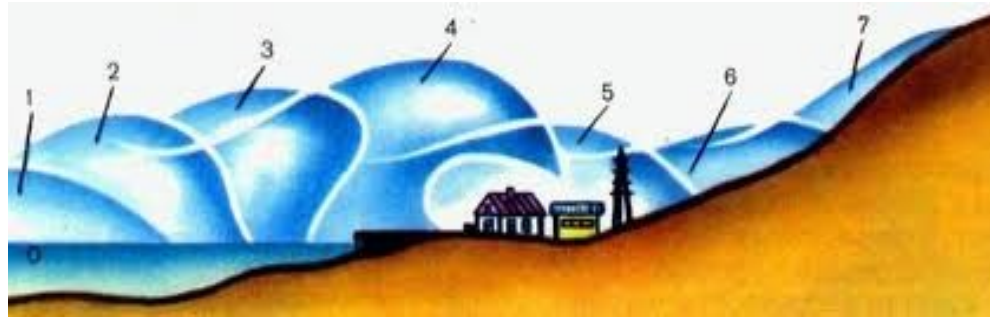
**По демонстрируемым
волнами
физическим проявлениям**

нелинейные волны —
волны с большими амплитудами,
что приводит к возникновению
совершенно новых эффектов и
существенно изменяет характер
уже известных явлений;

**ударные волны
или нормальные разрывы.**




Искажение формы синусоидальной волны большой интенсивности. На некотором расстоянии синусоидальная волна а превращается в пилообразную г (б и в — промежуточные стадии). Направление распространения волны справа налево.



По постоянству во времени

одиночная волна

короткое
одиночное
возмущение
(солитоны);



волновой пакет —

это ряд возмущений, ограниченных во времени с перерывами между ними. Одно непрерывное возмущение такого ряда называется цуг волн. В теории волновой пакет описывается как сумма всевозможных плоских волн, взятых с определёнными весами. В случае нелинейных волн, форма огибающей волнового пакета эволюционирует с течением времени;

Происхождение волн

Волны могут генерироваться различными способами.

Генерация локализованным источником колебаний (излучателем, антенной).

Переход волн одного типа в волны другого типа.

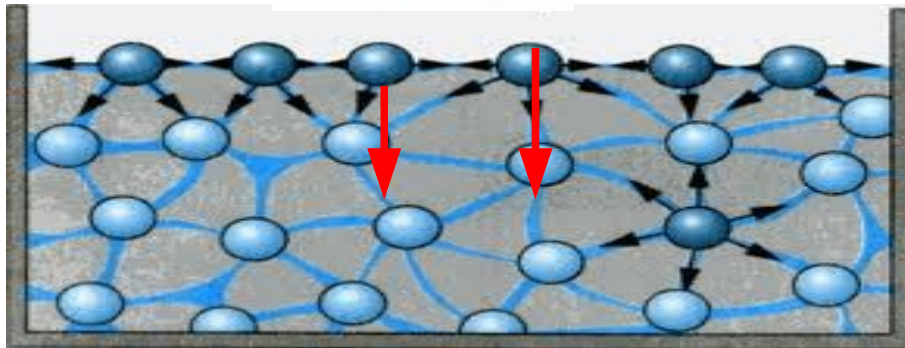
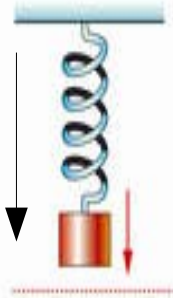
Например, при распространении электромагнитных волн в кристаллическом твёрдом теле могут генерироваться звуковые волны.

Спонтанная генерация волн в объёме при возникновении гидродинамических неустойчивостей.

Такую природу могут иметь, например, волны на воде при достаточно большой скорости ветра, дующего над водной гладью.

Механические

- В твердых телах и жидкостях



$$v_{\phi} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

- В газах

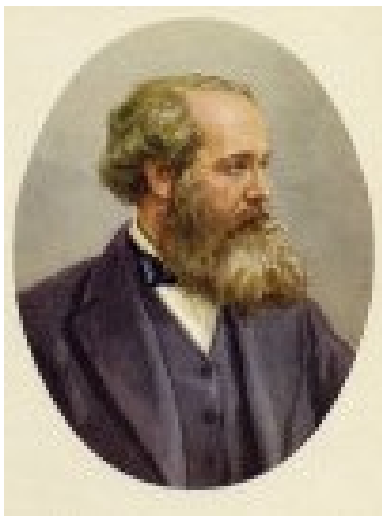


Механизм возникновения механических волн.

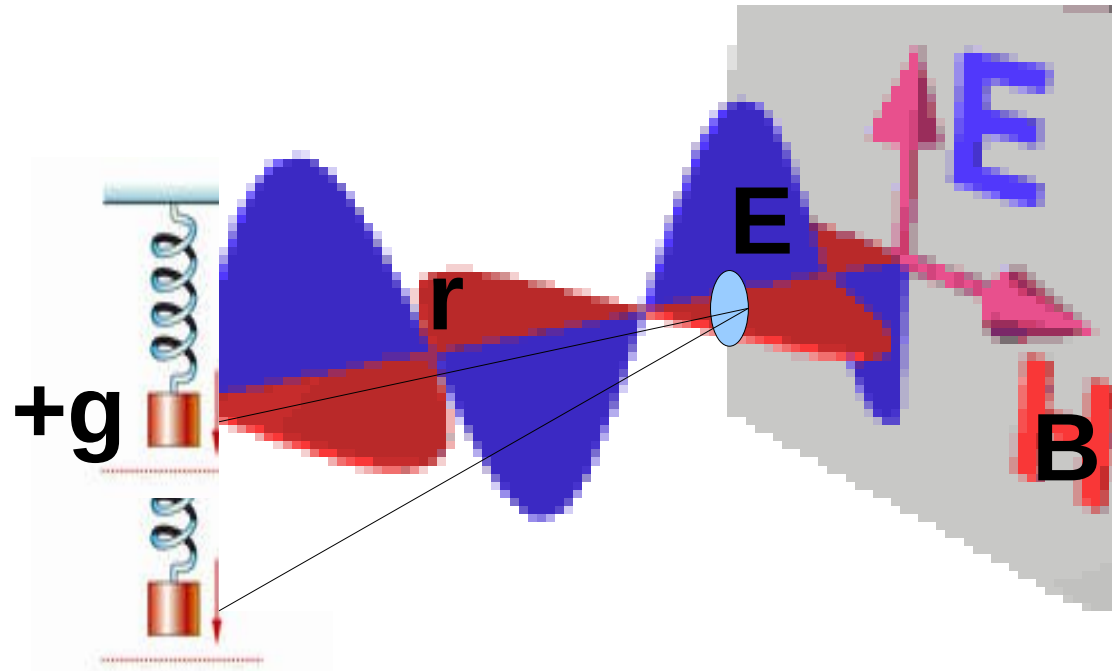
В среде между ее частицами существуют силы взаимодействия.

Если за счет внешнего источника энергии (внешней силы) вызвать колебания одних частиц среды, то возникают вынужденные колебания соседних частиц, которые, в свою очередь, вызывают колебания следующих частиц среды.

Процесс распространения колебаний частиц среды или другого типа возмущения среды называют механической волной.



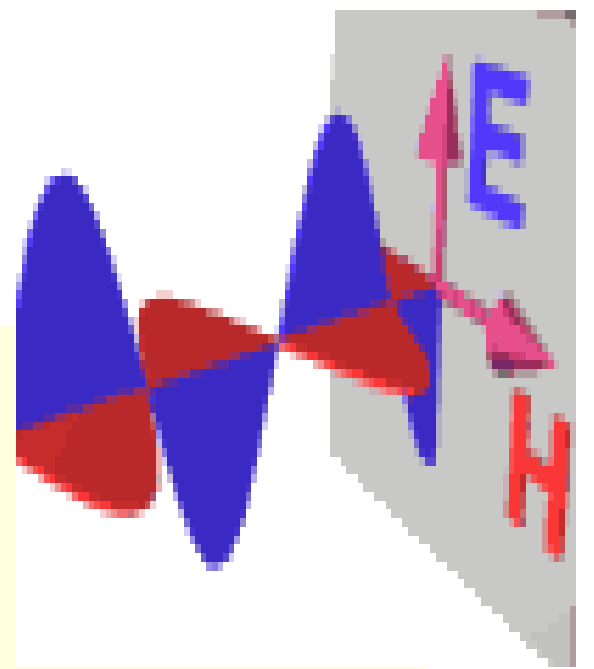
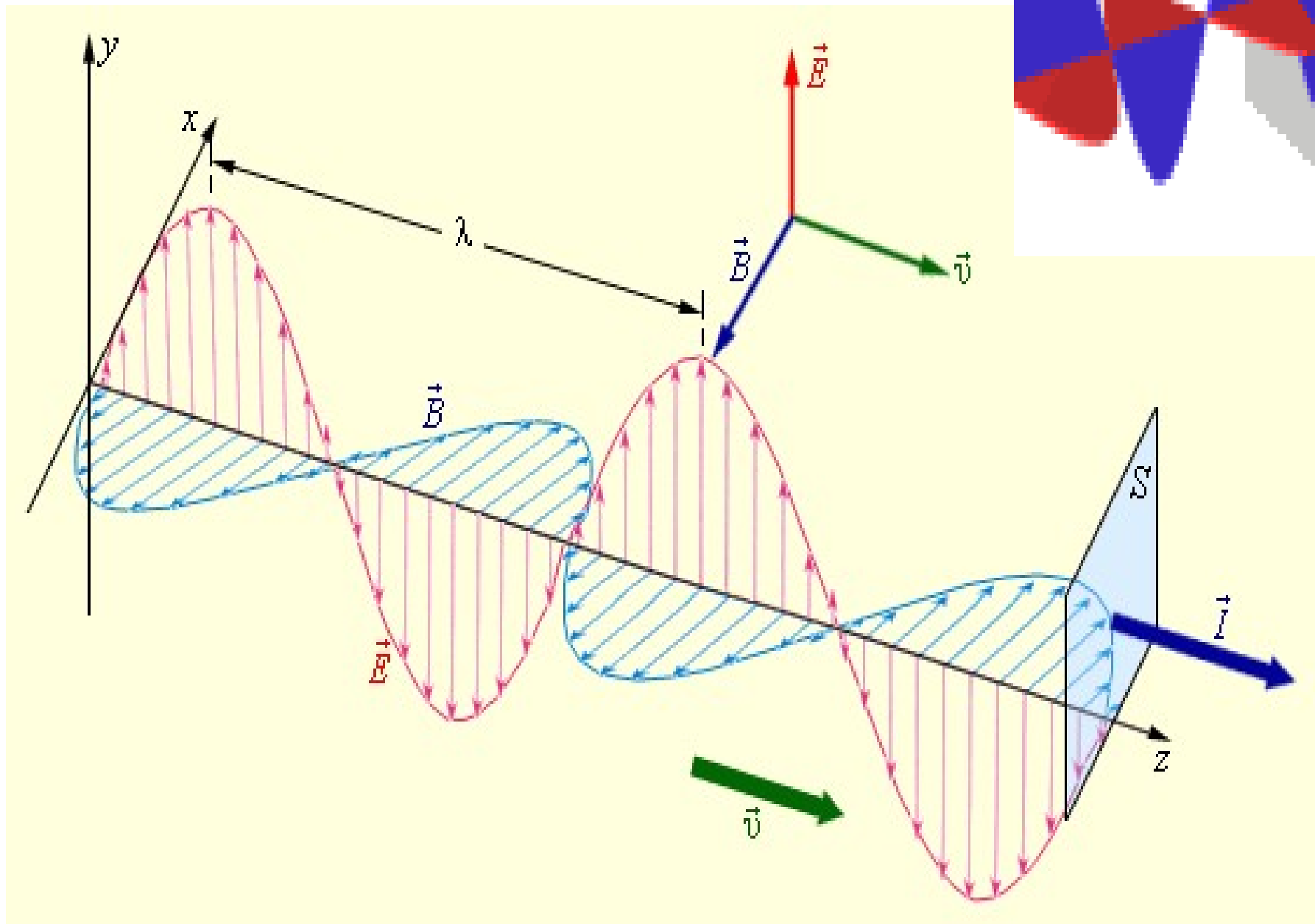
Электромагнитные волны



**Электромагнитная волна-
распространение в пространстве
электромагнитного поля.**

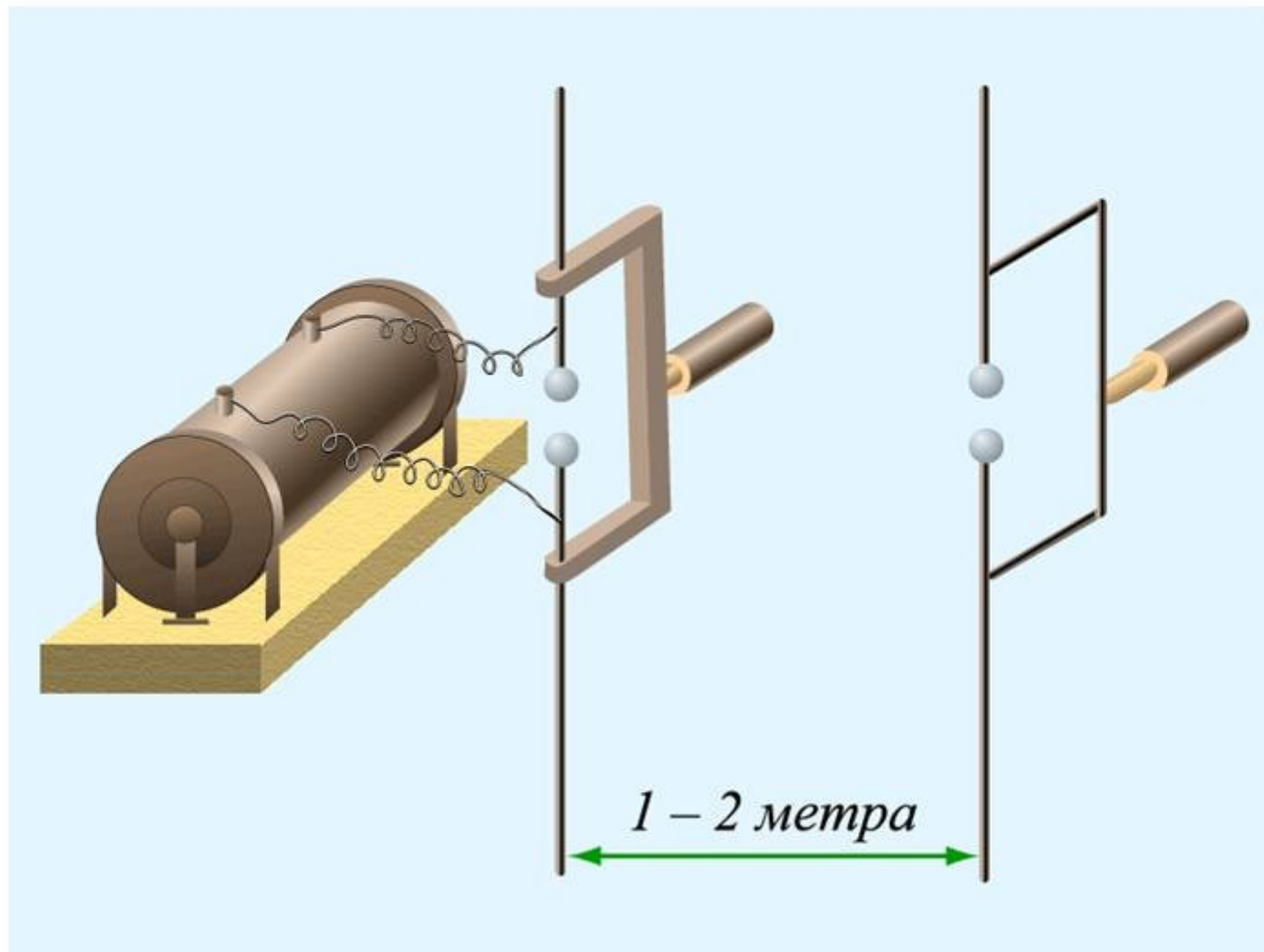
**Источник-
ускоренно движущиеся заряды.**

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$



Электромагнитные волны

регистрировались с помощью приемного резонатора, в котором возбуждаются колебания тока.



Опыты Герца

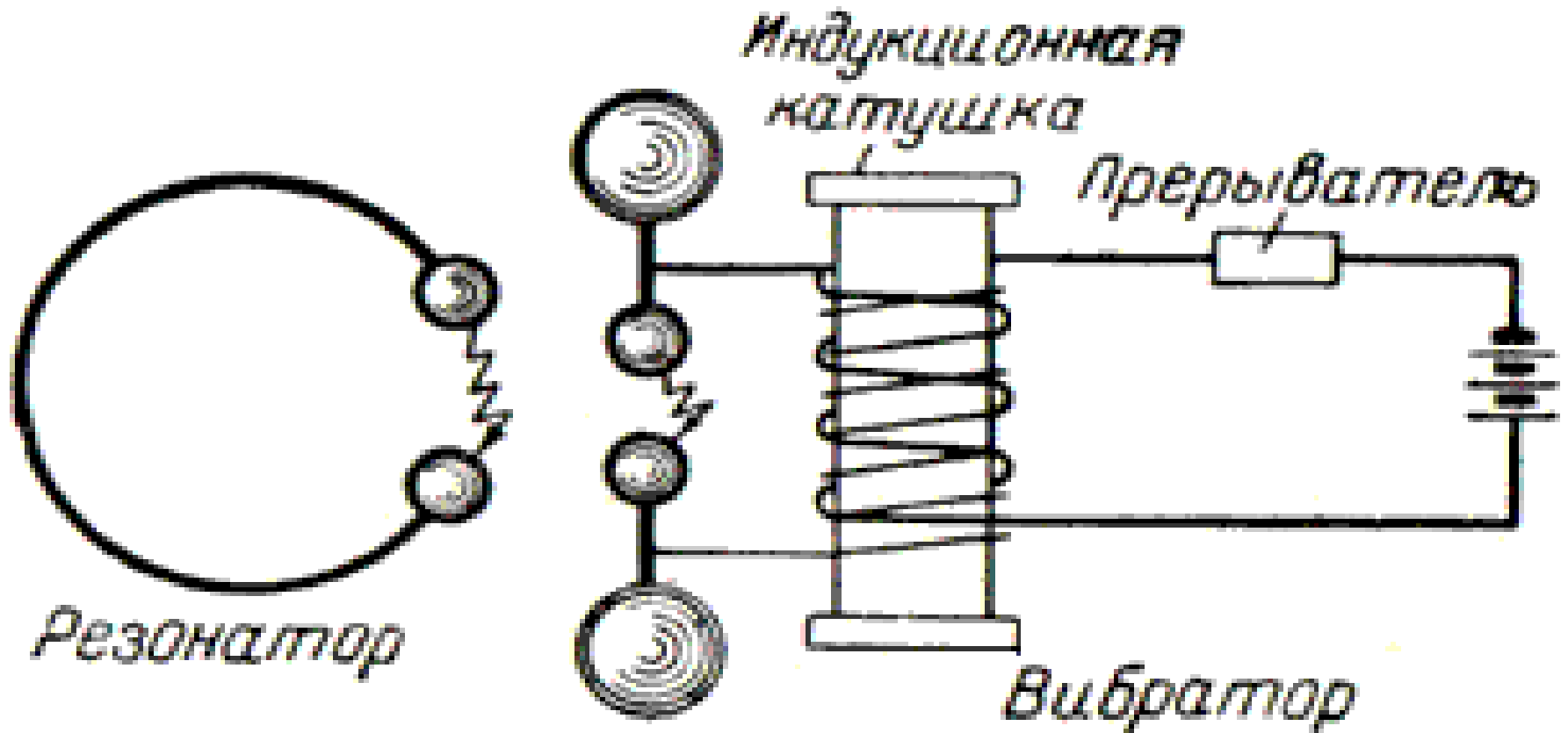


Рис. 79. Вибратор и резонатор Герца

Гипотеза Максвелла

$q \vec{E}, \vec{E} \Phi$
 \vec{F}_A, \vec{F}_L
 \vec{B}
 $\epsilon = -\Phi'$

Максвелл

ТОК смещения

~ М. П. ⇔ ~ Э. П.
~ Э. П. ⇔ ~ М. П.

Э-М п о л е	материально
	вакуум
	излучают Э-М волны
	300 000 км/с
энергия!	
$W = \left(\frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) \cdot V$	
<p>$B' > 0$</p>	<p>$B' < 0$</p>
<p>$E' < 0$</p>	<p>$E' > 0$</p>

Опыты Герца ...

ДИФРАКЦИЯ И РЕФРАКЦИЯ

16

OT: RUV. ATOME? $\iint \beta \rho_{\text{free}} dS$ was done in the most general form in 1867. I have now lagged ϵ & μ from T & T' and done the numerical value of $\iint (\rho_i^{(0)}) dS$ in 6 lines. thus verifying T+T' value of $\iint (\rho_i^{(0)}) dS$

Your plan seems indep't of T+T' or of me. Publish! I am busy supplying the physical necessities of scientific life. I have 11 Servojet Ferraris, Cambridge. Prooves have got ad for as grooves, corrugated plates, gratings and other things. I may have time for criticism then only on 11/11/11.

$\iint (\rho_i^{(0)}) dS = \frac{8\pi a^2}{2i+1} \frac{i+5}{2^{2i}} \frac{i-5}{i}$

except when $s=0$ when $\iint (\rho_i^{(0)}) dS = \frac{4\pi a^2}{2i+1}$

Hence $\int_{-1}^{+1} (\rho_i^{(0)})^2 d\mu = \frac{2}{2i+1} \frac{2^{2i} (i-5) (i+5)}{(i+5)}$ without exception you do it

$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 4\pi k \rho$ $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\nabla \times \vec{B} = \frac{\vec{J}}{\epsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$
---	--

Уравнения Максвелла:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0,$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}.$$

И их решения:

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t},$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A},$$

$$\varphi(1, t) = \int \frac{\rho(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} dV_2,$$

$$\mathbf{A}(1, t) = \int \frac{\mathbf{j}(2, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2.$$

$$1. \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},$$

$$2. \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$3. \operatorname{div} \vec{D} = \rho,$$

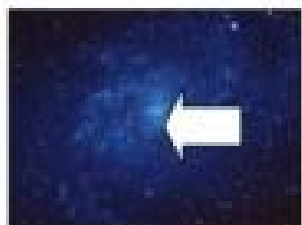
$$4. \operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

Частота ν , Гц	Длина волны λ , м	Название диапазона	Источники. Основные методы возбуждения
10^3	$3 \cdot 10^5$	Радиоволны	Переменные токи в проводниках и электронных потоках (генераторы радиочастот, генераторы СВЧ)
10^{12}	$30 \cdot 10^{-4}$	ИК-излучение	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях
$3,75 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}$		
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	Видимый свет	
$3 \cdot 10^{17}$	10^{-9}	УФ-излучение, мягкий рентген	Излучение атомов при воздействиях ускоренных электронов
$3 \cdot 10^{20}$	10^{-12}	Рентген, γ -излучение	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц
10^{23}	$3 \cdot 10^{-15}$	γ -излучение	Ядерные процессы, радиоактивный распад, космические процессы

невидимая область

ультрафиолетовое

космические γ -лучи



рентгеновское

400 нм



800 нм

Смесь этих цветов мы
воспринимаем как белый
цвет

невидимая область

радиоволны

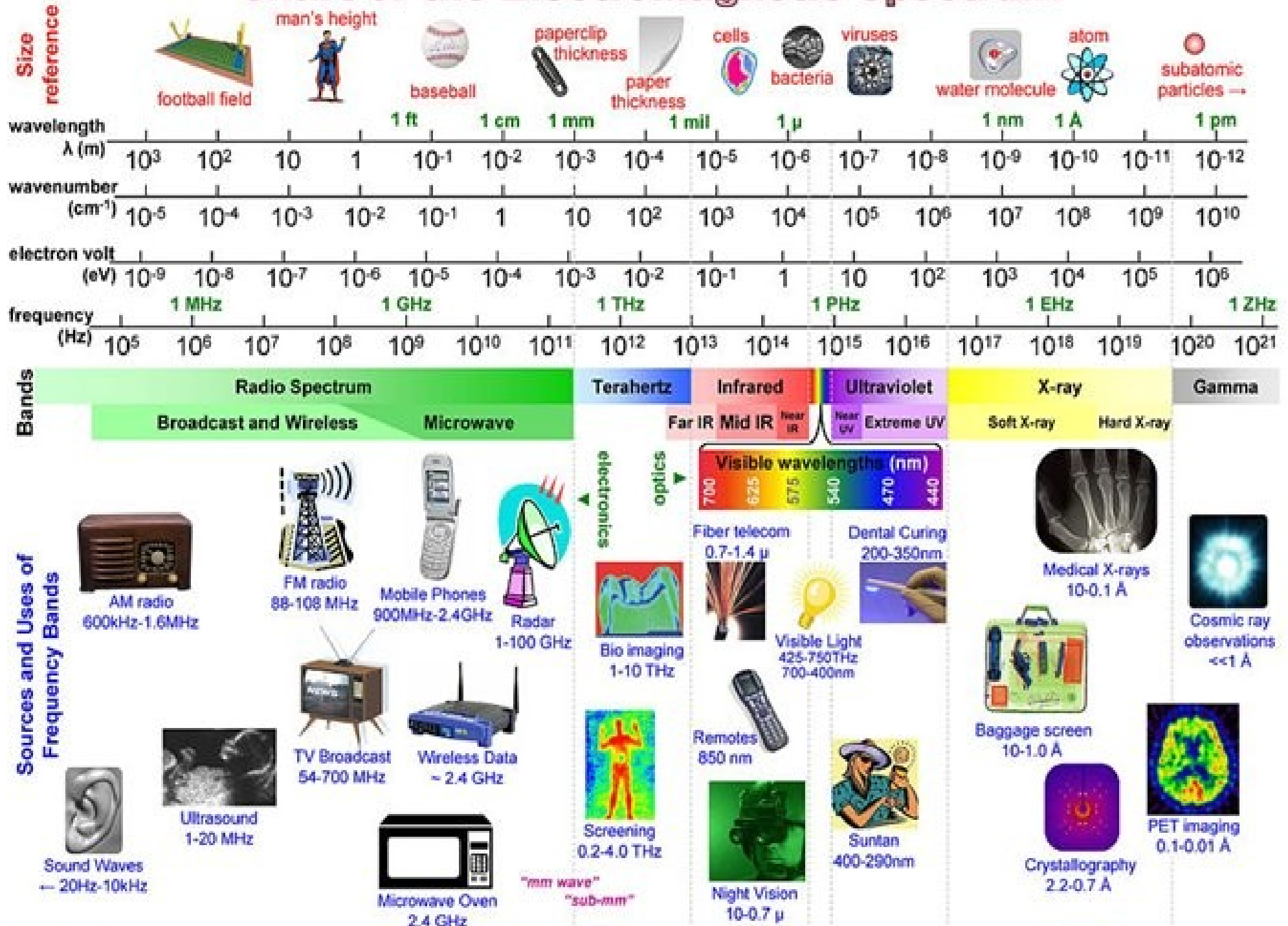
микроволны



инфракрасное



Chart of the Electromagnetic Spectrum

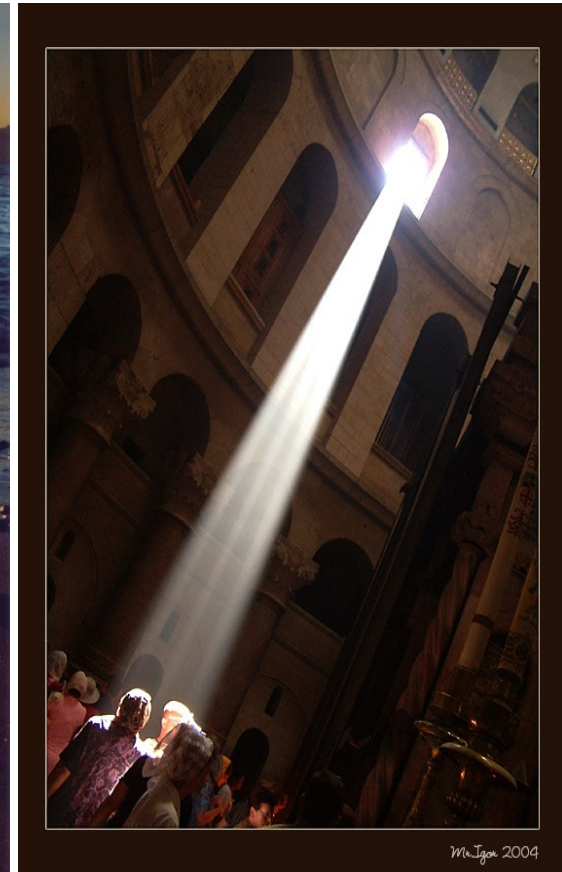
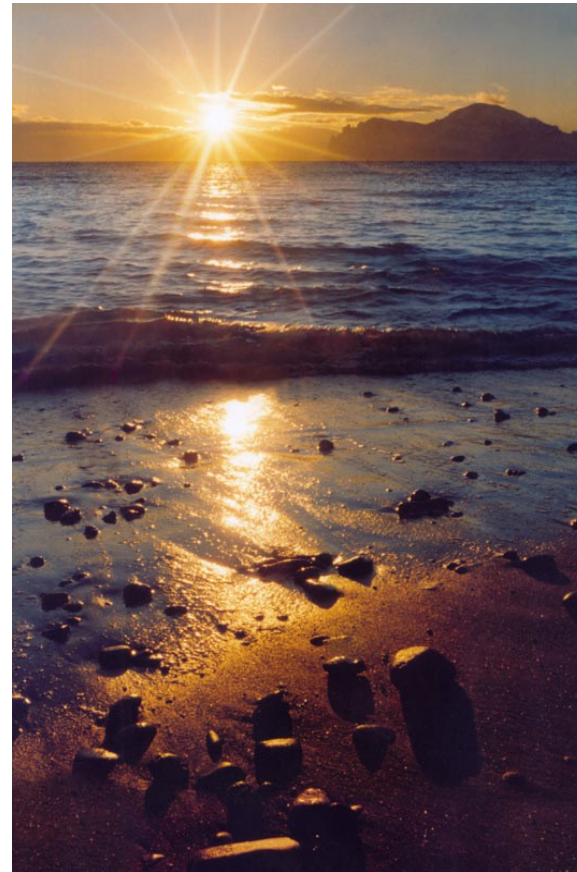
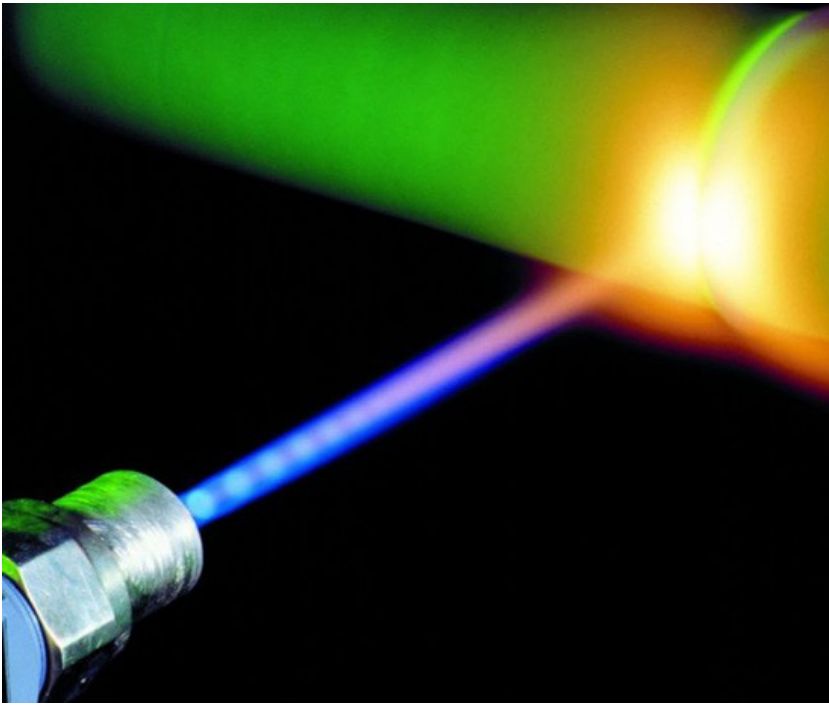


$$\lambda = 3 \times 10^8 / \text{freq} = 1 / (\text{wn} \times 100) = 1.24 \times 10^{-4} / \text{eV}$$

Термины

1. Точечный источник

2. луч- линия, направление которой совпадает с направлением потока энергии в этой волне в каждой её точке.



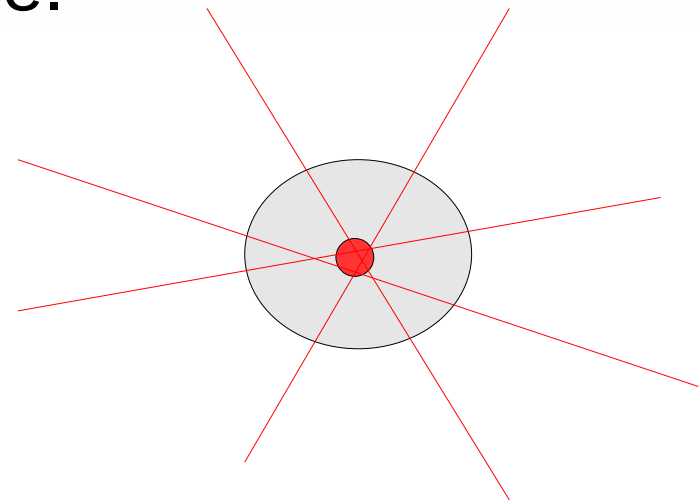
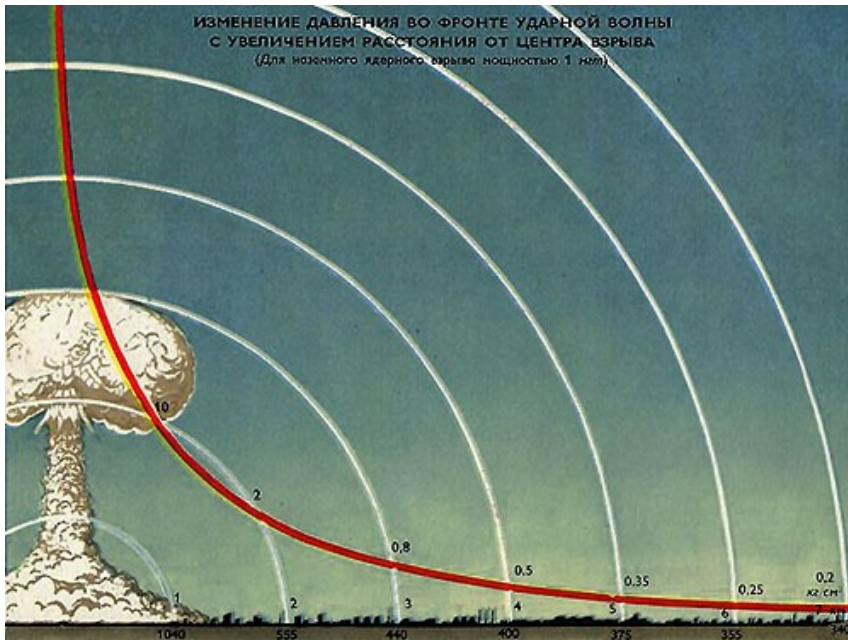
Термины

Фронт волны-

Геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t .

волновая поверхность-

Геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.



Лучи перпендикулярны фронту.

В частности, это может быть передний фронт волны – поверхность в пространстве, отделяющая в данный момент времени часть пространства, вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли.

Принцип Гюйгенса

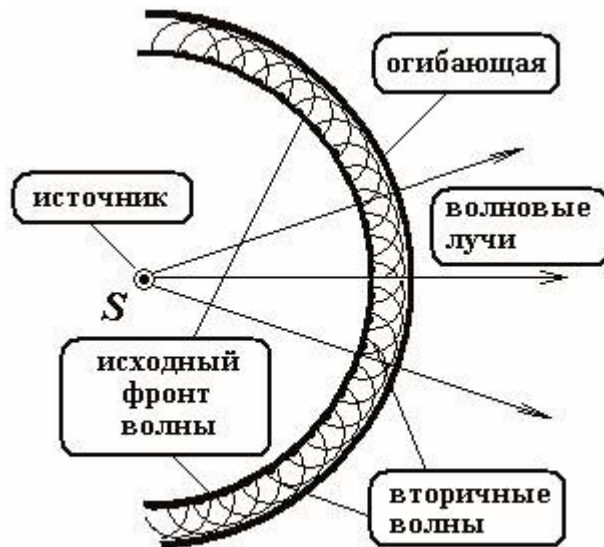


Рис. 303

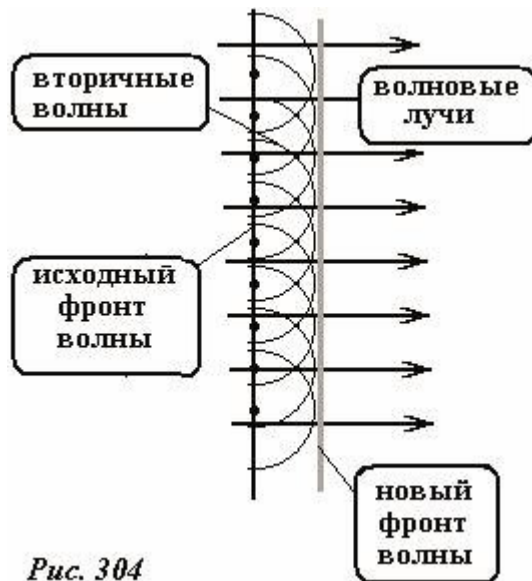
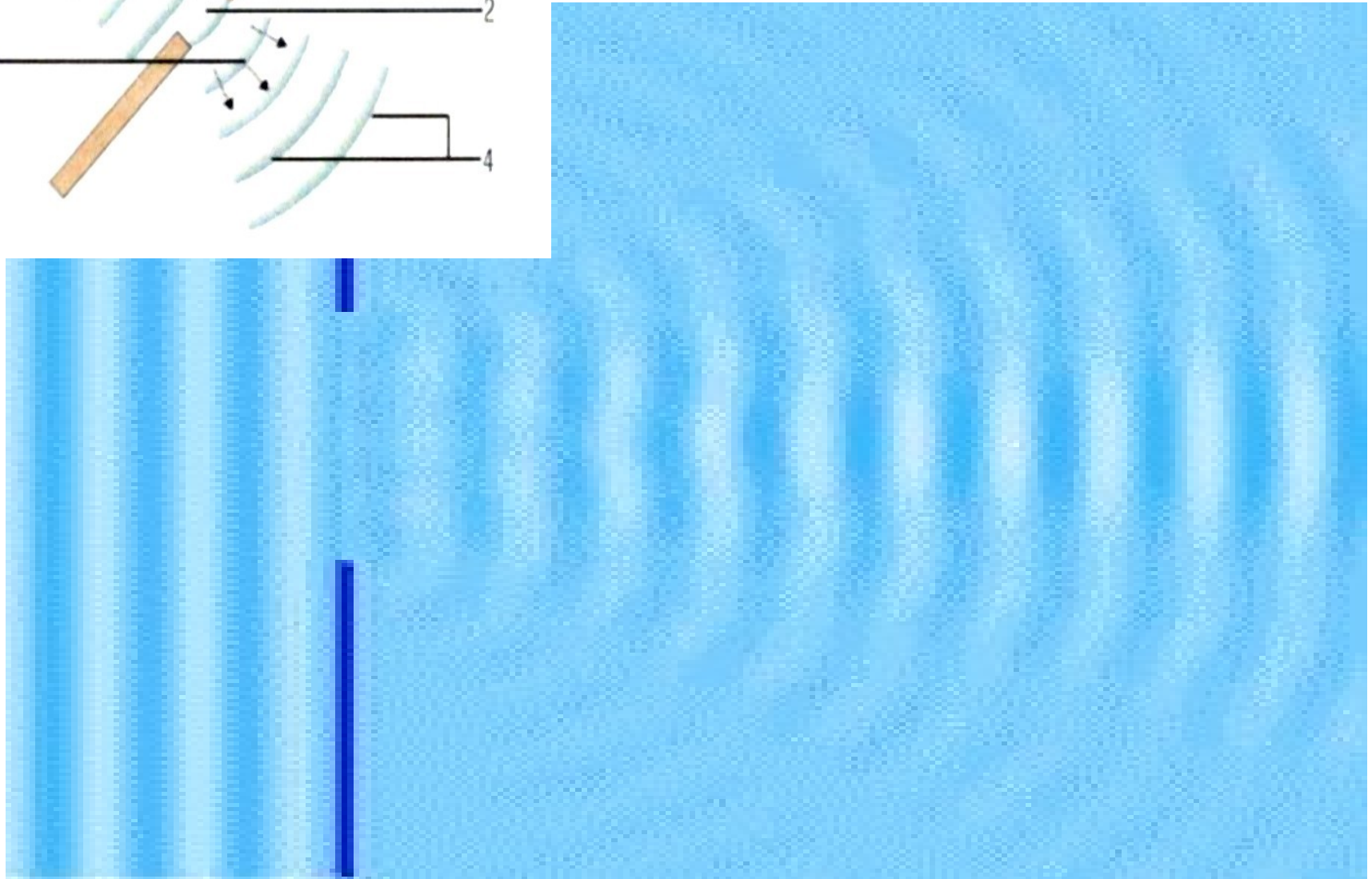
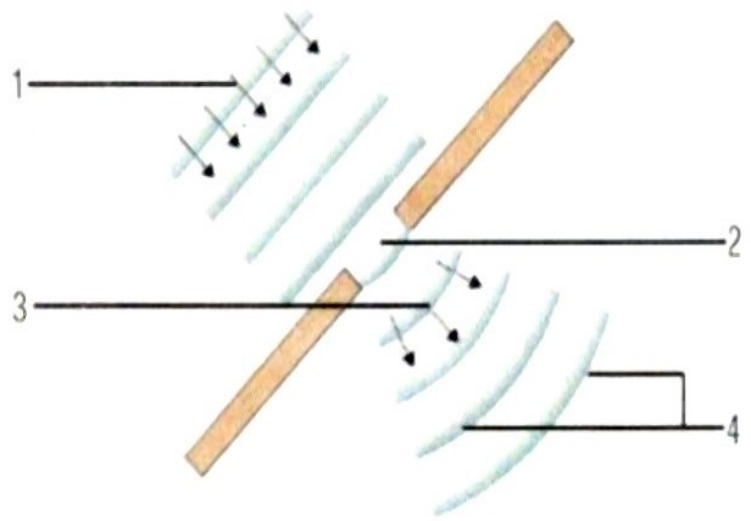


Рис. 304

Распространение волны в среде можно рассматривать как движение волнового фронта.

При этом согласно принципу Гюйгенса – Френеля

Каждую точку фронта волны можно считать источником вторичной сферической волны, а огибающая вторичных волн показывает, как распространяется фронт.



Характеристики

Волна — это явление распространения в пространстве с течением времени возмущения физической величины

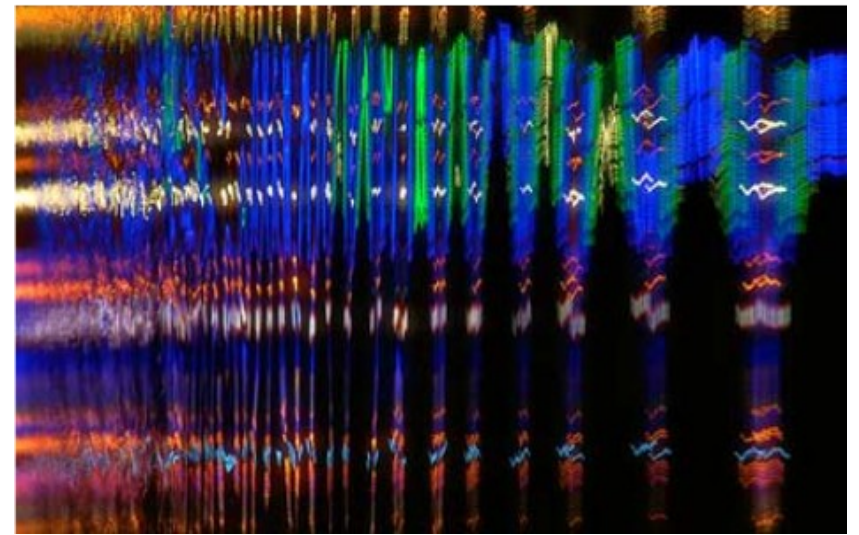
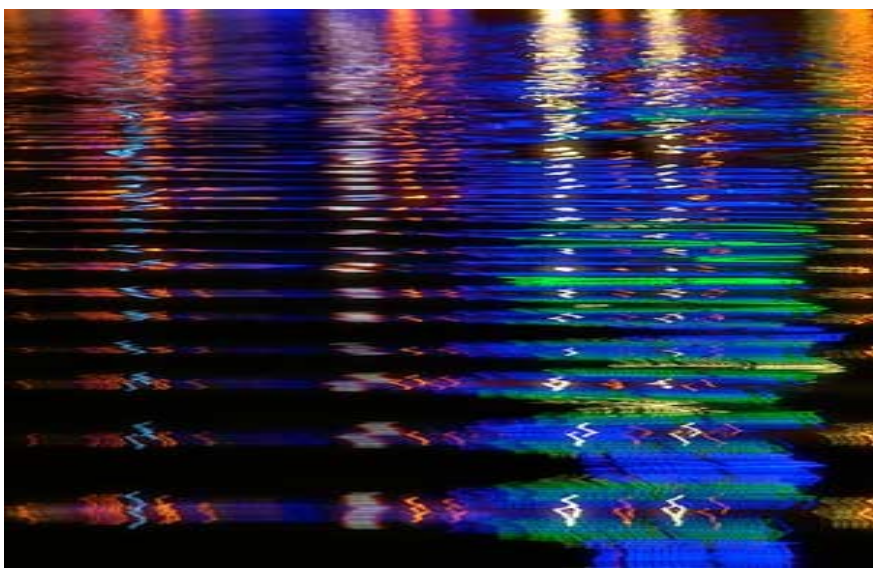
(вынужденных колебаний).

- **Источника**
-
- Частота
- Период
- амплитуда

- **Среды**
- **Скорость** распространения (для гармонической волны называется фазовой скоростью. Она равна скорости перемещения волновой поверхности.)

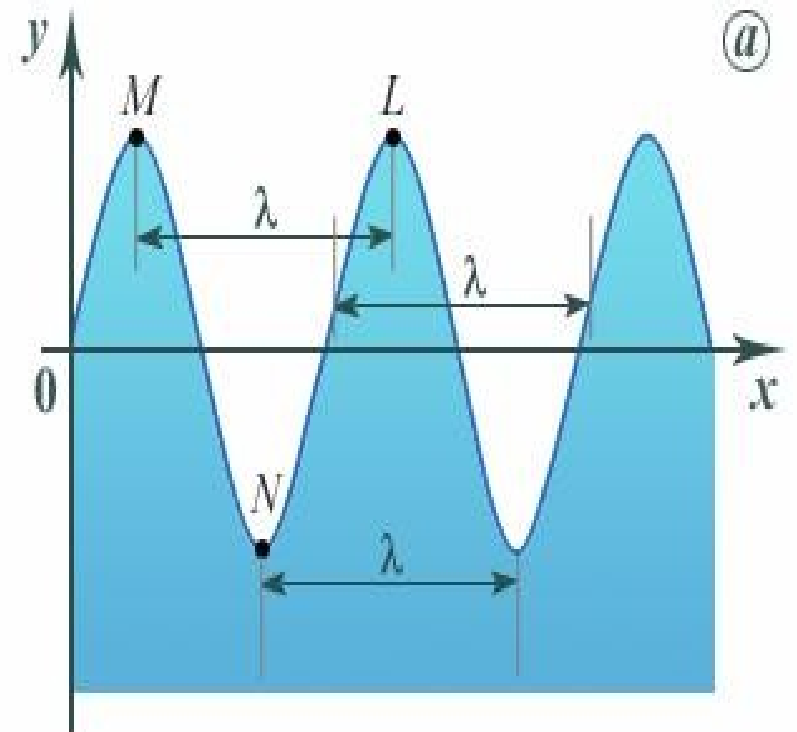
Обобщенная
Длина волны

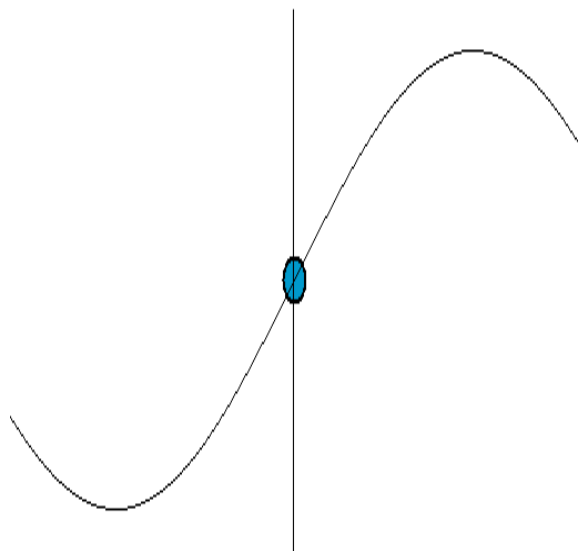
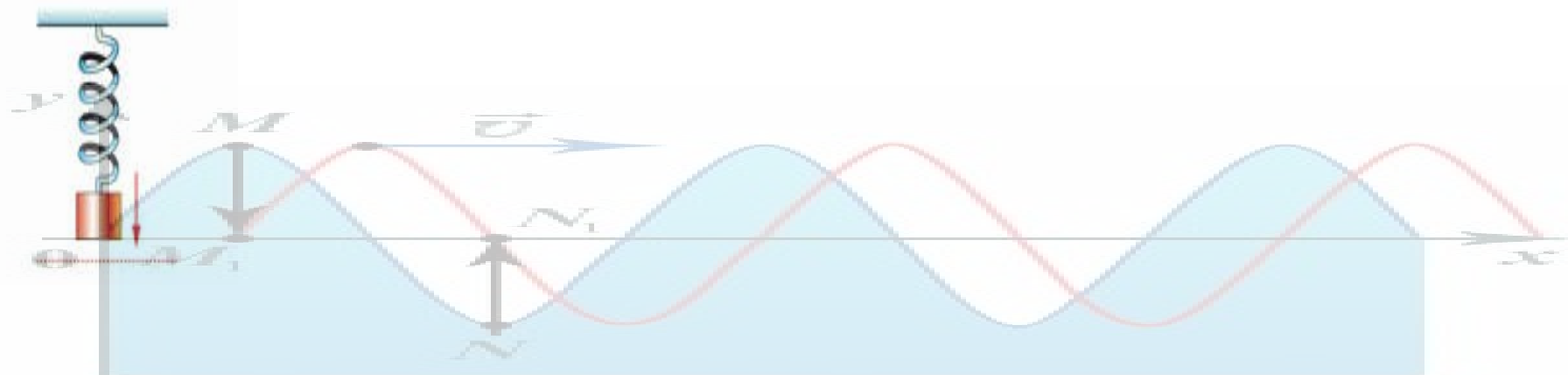
$$v_{\phi} = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$



Длина волны -
расстояние между
ближайшими точками,
колеблющимися синфазно
(в одинаковой фазе).

$$\lambda = v \cdot T$$

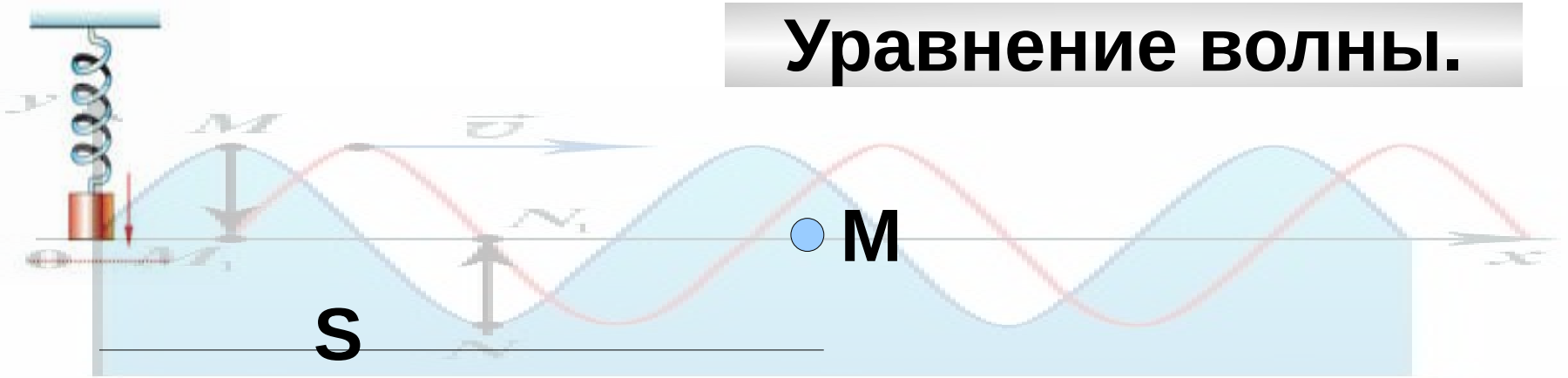




При распространении волн нет переноса вещества, а только перенос энергии.

Перенос энергии — принципиальное отличие волн от колебаний

Уравнение волны.



- ИСТОЧНИК

$$y = y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}\right)$$

- В точке M
- на расстоянии S от источника колебания возникнут спустя $\Delta t = \frac{S}{v}$
- Без учета затухания

$$\begin{aligned} y_m &= y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (t + \Delta t)}{T}\right) = y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \frac{2 \pi \cdot S}{v \cdot T}\right) = \\ &= y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \Delta \varphi\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_m &= y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (t + \Delta t)}{T}\right) = y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \frac{2 \pi \cdot S}{v \cdot T}\right) = \\ &= y_{max} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} + \Delta \varphi\right) \end{aligned}$$

Без учета затухания колебания в точке М будут происходить с той же амплитудой и периодом но со сдвигом по фазе

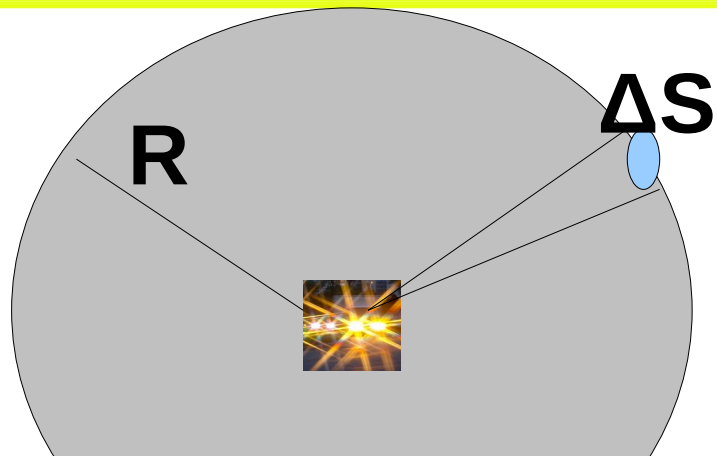
$$\Delta \varphi = \frac{2 \pi \cdot S}{v \cdot T}$$

Энергия волны



Интенсивность волны

плотности потока энергии.



количество энергии, переносимой волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения.

$$I = \frac{W}{\Delta S \cdot t} \quad [I] = \frac{Вт}{м^2}$$

Интенсивность волны зависит от

Энергии источника, расстояния до источника (для точечного- обратно пропорционально квадрату расстояния), от угла падения волны, от частоты

(прямо пропорционально четвертой степени частоты).

$$I = f \left(W_{\text{источника}}, \alpha, \frac{1}{R^2}, \nu^4 \right)$$

Вектор Умова-Пойтинга (энергия электромагнитной волны)

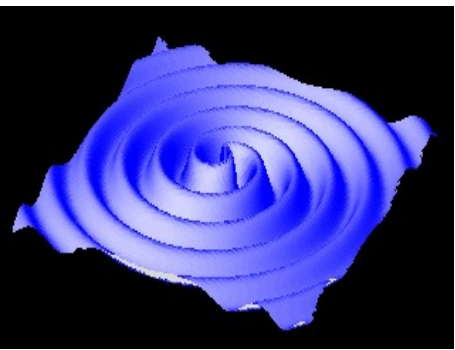
$$W_{EM} = W_E + W_M = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} V + \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \epsilon\epsilon_0 E^2 V = \frac{B^2}{\mu\mu_0} V,$$
$$w_{EM} = \frac{W_{EM}}{V}; w_{EM} = \epsilon\epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu\mu_0}. \quad w = \frac{E \cdot B}{c}$$

zhurnal.lib.ru/a/anemow_e_m/vibration.shtml

Поскольку волна переносит энергию и импульс, её **можно использовать для передачи информации.**

максимально возможная скорость передачи информации с помощью волн данного типа (чаще всего речь идёт об электромагнитных волнах).

Скорость передачи информации не может превышать скорости света, что было подтверждено экспериментально даже для волн, в которых групповая скорость превышает скорость света



11 февраля 2016

две обсерватории

с помощью детектора LIGO

зафиксировали наличие гравитационных волн.

Аппаратура специально создана для фиксации волн от нейтронных звезд и слияния массивных черных дыр.

Именно последнее и удалось уловить:

14 сентября 2015 года прошла гравитационная волна, вызванная столкновением двух черных дыр массой в 29 и в 26 раз больше массы Солнца, а детекторы зафиксировали характерный звук.

Они стали единым объектом, где-то в стороне созвездия Магелланово облако.

Гравитационные волны — это колебания гравитационного поля: периодические изменения метрики пространства-времени (так называемая «рябь пространства-времени»).

В общей теории относительности и в большинстве других современных теорий гравитации гравитационные волны порождаются **движением массивных тел с переменным ускорением.**

Гравитационные волны свободно распространяются в пространстве со скоростью света.

Ввиду относительной слабости гравитационных сил (по сравнению с прочими) эти волны имеют весьма малую величину, с трудом поддающуюся

Сильным источником гравитационной волны являются нейтронные звезды или черные дыры, потому что они - самые массивные объекты в галактике.

Когда они сближаются между собой или двигаются в пространстве, становятся заметны и эффекты данного перемещения.

Однако также испускать их может любое тело, имеющее ускорение и массу.

ПЛАНЕТАРИЙ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Космологические гравитационные волны испускаются в эпоху ранней Вселенной вследствие взаимодействия неоднородностями вещества. Это единственный вид излучения, способный донести до нас информацию о первых секундах существования Вселенной.

$T = 10^{-43}$ с

Вселенная становится прозрачной для гравитационных волн

$T = 10^{-35}$ с

эпоха инфляции

$T = 300$ тыс. лет

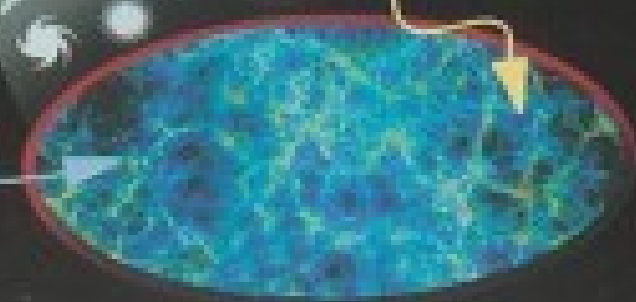
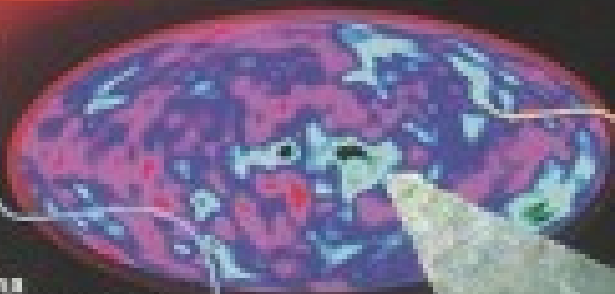
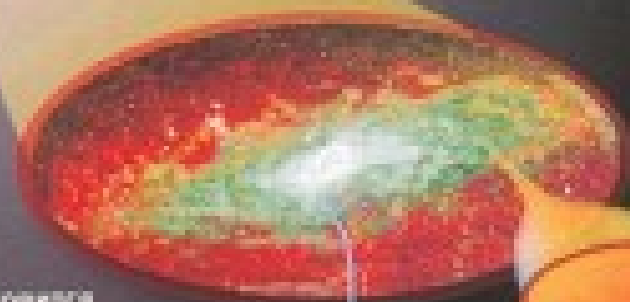
Вселенная прозрачна для собственного теплового излучения

Реликтовое микроволновое излучение

Космологические гравитационные волны

$T = 14$ млрд. лет
наше время

Космический лазерный интерферометр LISA



Порождаемые землетрясениями **сейсмические волны**, как известно, делятся на несколько типов, причем для построек наибольшую опасность представляют так называемые поверхностные волны.

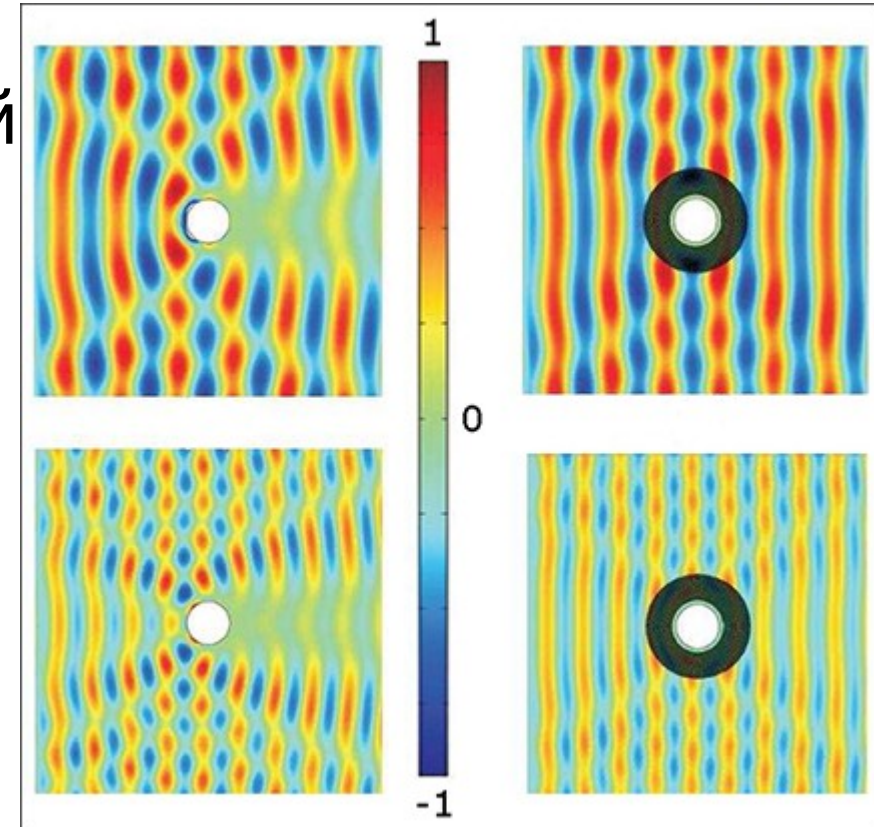
Можно защищаться от их воздействия с помощью набора концентрических пластиковых колец, размещенного в области фундамента здания.

Идея состоит в том, что волна направляется внутрь материала, где преобразуется в сравнительно небольшие по амплитуде колебания давления и плотности, а затем выводится наружу в стороне от жилых объектов.

Можно «настраивать» защитный материал на работу с различными длинами волн.

В разных диапазонах частот основную работу выполняют разные пары колец.

Выйдя наружу, волны вновь приобретают свою разрушительную силу; таким образом, не устраняется опасность полностью, а лишь изолируется определенный участок поверхности.





цунами

