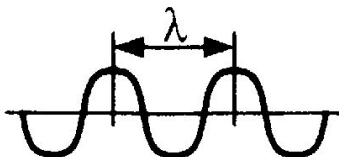


## Волны

Длина волны  $\lambda$  (м) :

- Расстояние, на которое распространится волна за время одного полного колебаний частицы (за период).
- Расстояние между двумя ближайшими «горбами» или «впадинами».



- Кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в фазе.

Механические волны	Электромагнитные волны
<b>Источники волн</b>	
Колеблющееся в упругой среде тело	Ускоренно движущаяся заряженная частица
<b>Возникновение волн</b>	
Если одна частица среды приходит в колебательное движение, то благодаря силам взаимодействия соседние с ней частицы также начнут колебаться	Ускоренно движущийся заряд создает переменный ток, вокруг которого возникает переменное магнитное поле. Оно порождает переменное электрическое поле, которое приводит к возникновению переменного магнитного поля и т.д.

## Определение

*Механическая волна* — процесс распространения колебаний в упругой среде

*Электромагнитная волна* — процесс распространения переменных магнитных и электрических полей

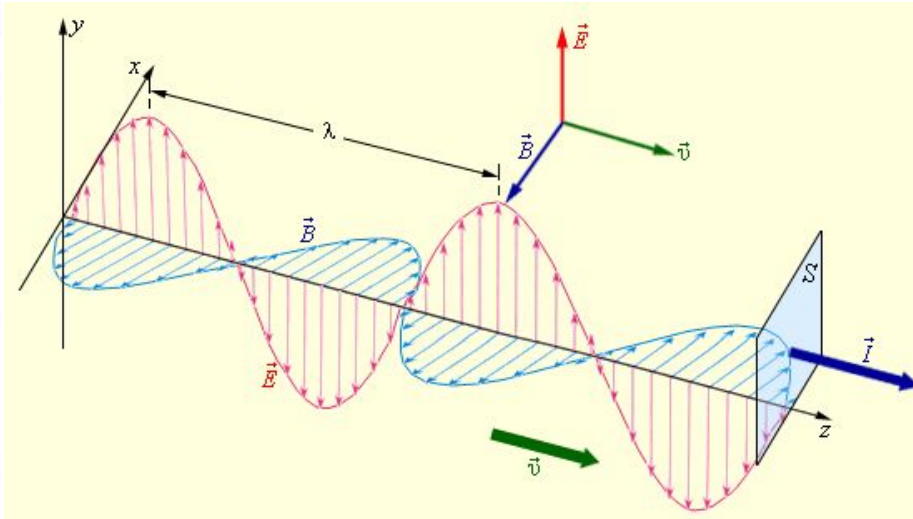
## Виды волн

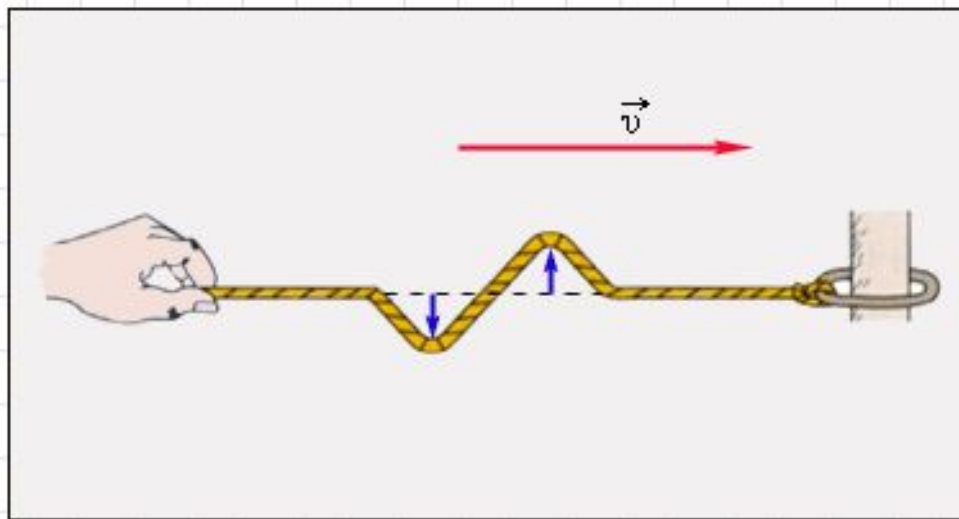
В *поперечных* волнах направление колебания частиц ( $\vec{v}_k$ ) перпендикулярно направлению распространения волны ( $\vec{v}_\phi$ ):  $\vec{v}_k \perp \vec{v}_\phi$  (пример: волны на воде)

В *продольных* волнах направление колебания частиц параллельно направлению распространения волны:  $\vec{v}_k \parallel \vec{v}_\phi$  (пример: звуковые волны)

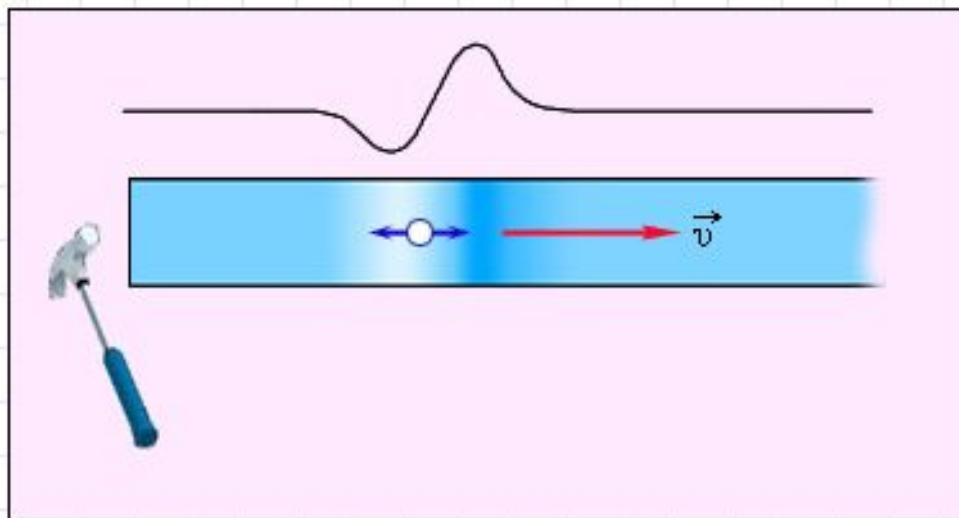
Электромагнитные волны относятся к *поперечным* волнам:

$$\vec{v} \perp \vec{B} \perp \vec{E}$$



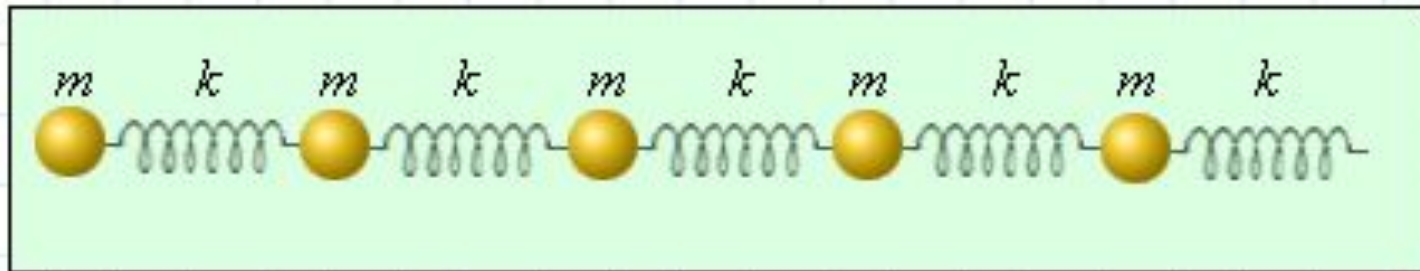


Распространение поперечного волнового импульса по натянутому резиновому жгуту



Распространение продольного волнового импульса по упругому стержню

**Продольные механические волны  
могут распространяться в любых  
средах – твердых, жидких и  
газообразных**

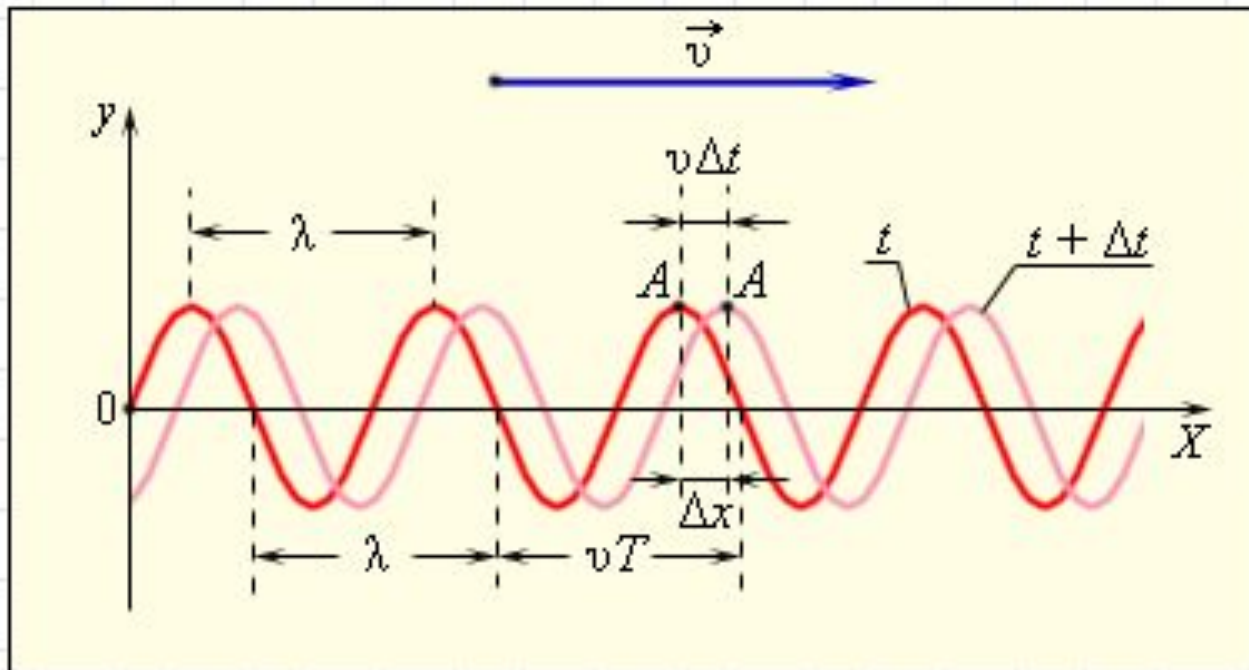


Простейшая одномерная модель твердого тела

**Поперечные механические волны не  
могут существовать в жидкой или  
газообразной средах.**

Выражение для смещения частиц среды  $y(x,t)$   
из положения равновесия

$$y(x, t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) :$$



«Моментальные фотографии» бегущей синусоидальной волны  
в момент времени  $t$  и  $t + \Delta t$

**Механические волны****Электромагнитные волны****Скорость распространения**

Механические волны быстрее всего распространяются в твердых средах, медленнее в жидких и еще медленнее в газах  
 Механические волны в вакууме не распространяются

Электромагнитные волны распространяются в вакууме со скоростью света

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

**Длина волны**

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu} = \frac{2\pi v}{\omega}$$

В вакууме

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu} = c 2\pi \sqrt{LC}$$

**Расстояние от источника до наблюдателя**

$$l = vt,$$

где  $\nu = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu = \frac{\lambda \omega}{2\pi}, \quad T = \frac{t}{N},$

$t$  — время движения волны от источника колебаний до наблюдателя

$$l = c \cdot t,$$

где  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

## Отражение волн

**Эхо** — отражение звуковых волн от преграды. Расстояние

$$\text{до преграды } l = v_{\text{зв}} \cdot \frac{\tau}{2},$$

$\tau$  — время движения волны от источника и обратно

Скорость звука в воздухе

$$v_{\text{звука}} \approx 330 \text{ м/с}$$

**Радиолокация** — способ обнаружения объекта с помощью радиоволн. Расстояние до объекта

$$l = c \cdot \frac{\tau}{2}$$

Скорость радиоволн

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

## Переход волны из одной среды в другую

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1 T}{v_2 T} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$T = \text{const}; v = \text{const}; \omega = \text{const}$$

Из среды в вакуум

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v}{c}$$

## Расстояние между точками с известной разностью фаз

$$\Delta x = \frac{\lambda \Delta \varphi}{2\pi} = \frac{v T \Delta \varphi}{2\pi} = \frac{v \Delta \varphi}{v 2\pi} = \frac{v \Delta \varphi}{\omega}$$

$\Delta x$  — разность хода

$\Delta \varphi$  — разность фаз

В вакууме

$$\Delta x = \frac{\lambda \Delta \varphi}{2\pi} = \frac{c T \Delta \varphi}{2\pi} = \frac{c \Delta \varphi}{v 2\pi} = \frac{c \Delta \varphi}{\omega}$$

Точки колеблются в фазе, если  $\Delta \varphi = 2\pi$ ; точки колеблются в противофазе, если  $\Delta \varphi = \pi$ .

**Радиосвязь** — передача любой звуковой информации на большие расстояния с помощью радиоволн. Принцип радиосвязи: слабую электромагнитную волну звуковой частоты «сажают» на высокочастотный электромагнитный сигнал. Информация о звуковой частоте содержится в законе изменения амплитуды.

Число колебаний несущей (электромагнитной волны) частоты за период звуковой частоты при радиосвязи:

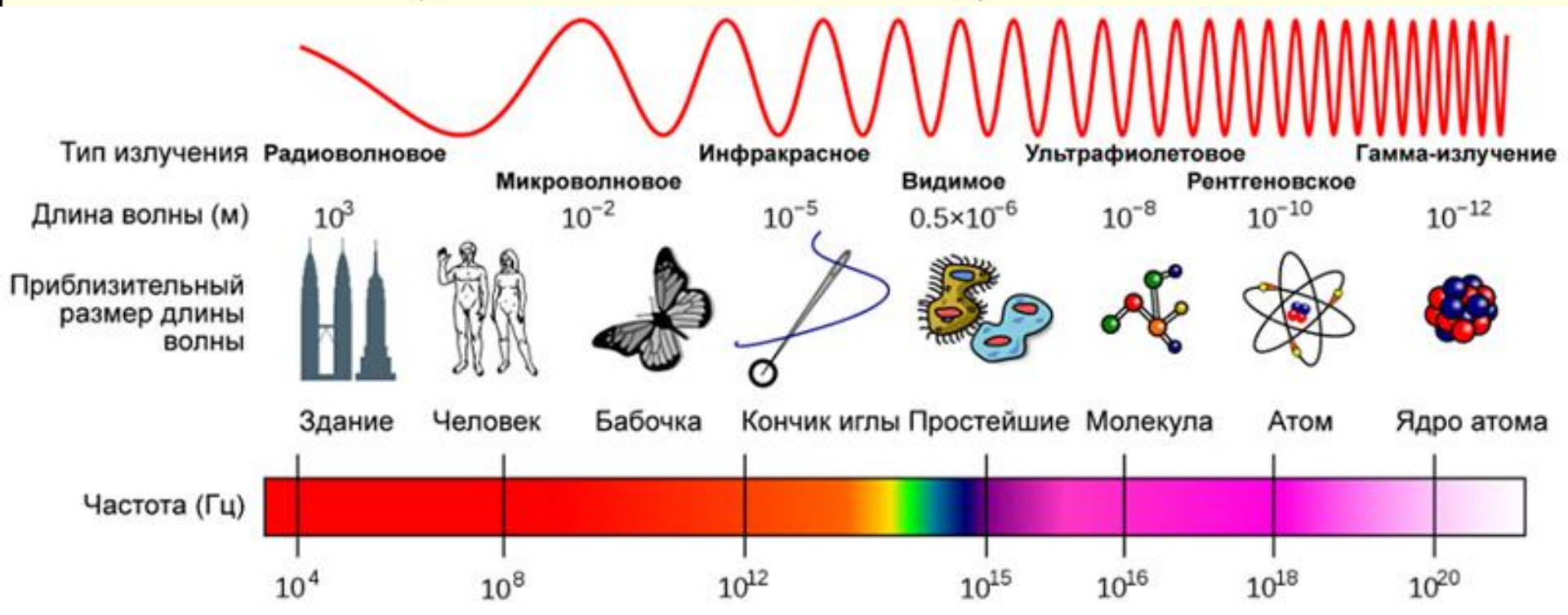
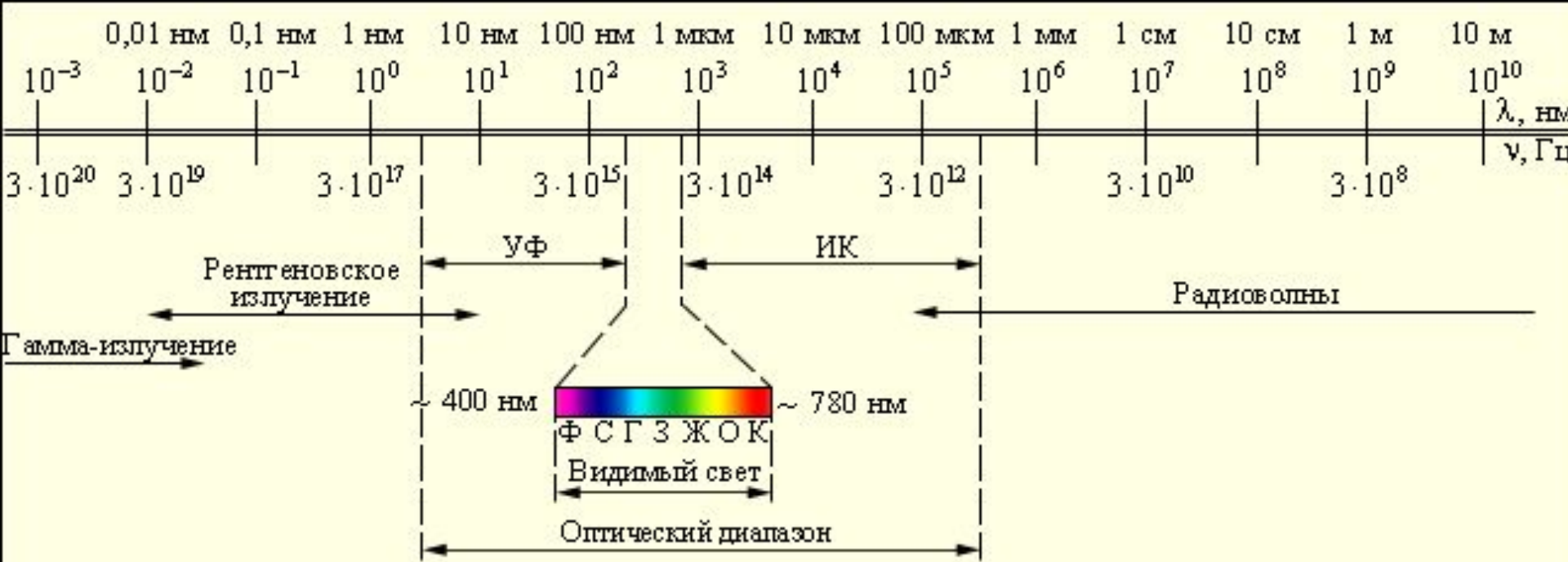
$$N = \frac{T_{\text{ЗВ}}}{T_{\text{НСС}}},$$

где  $T_{\text{ЭЛ}} = \frac{\lambda_{\text{ЭЛ}}}{c} = \frac{1}{\nu_{\text{ЭЛ}}}$ ;  $T_{\text{ЗВ}} = \frac{\lambda_{\text{ЗВ}}}{\nu} = \frac{1}{\nu_{\text{ЗВ}}}$ .



**Шкала электромагнитных волн.** Диапазоны волн располагаются в определенной последовательности. По мере перехода от одного диапазона к другому уменьшается длина волны, а частота увеличивается.

<b>Тип волны</b>	<b>Где встречаются</b>
Низкочастотные	Линии электропередач
Радиоволны	Радиосвязь, телевидение, сотовая связь
Инфракрасное излучение	Сушка лакокрасочных покрытий, овощей и фруктов, нагревательные приборы, приборы ночного видения
<i>Видимый свет</i> 390 нм < $\lambda$ < 770 нм	90 % информации об окружающем мире, фотосинтез
Ультрафиолетовое излучение	Пигментация кожи, выработка витамина <i>D</i> , бактерицидное действие
Рентгеновское излучение	В медицине — изучение внутренних органов
Гамма-излучение	Выделяется при радиоактивном распаде и при ядерном взрыве



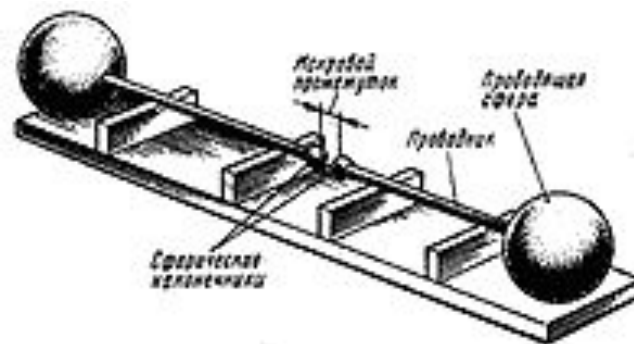


# Идея вибратора Герца.

1888 г.

## Открытый колебательный контур

- Из теории Максвелла известно,
- излучать электромагнитную волну может только ускоренно движущийся заряд,
- что энергия электромагнитной волны пропорциональна четвертой степени ее частоты.
- Понятно, что ускоренно заряды движутся в колебательном контуре, поэтому проще всего их использовать для излучения электромагнитных волн. Но надо сделать так чтобы частота колебаний зарядов стала как можно выше. Из формулы Томсона для циклической частоты колебаний в контуре следует, что для повышения частоты надо уменьшать емкость и индуктивность контура.



- Чтобы уменьшить емкость  $C$  надо увеличивать расстояние между пластинами (раздвигать их, делать контур открытым) и уменьшать площадь пластин. Самая маленькая емкость, которая может получиться, - просто провод
- Чтобы уменьшить индуктивность  $L$  надо уменьшать число витков. В результате этих преобразований получим просто кусок провода или **открытый колебательный контур ОКК**.

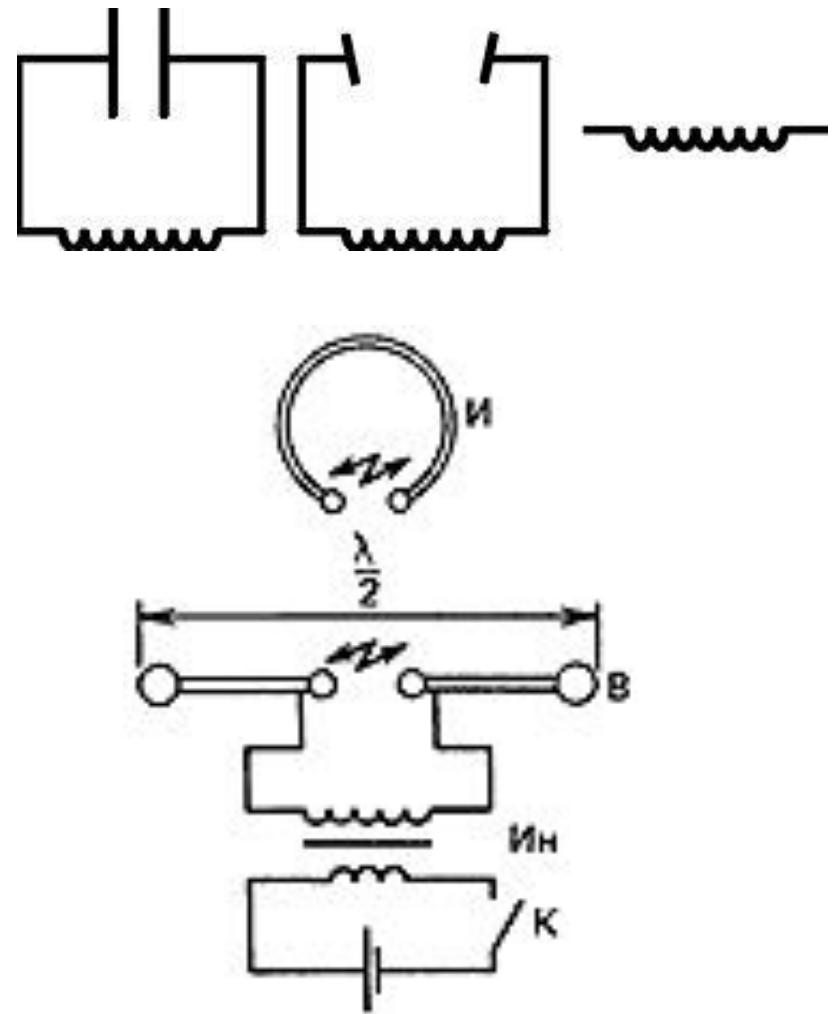
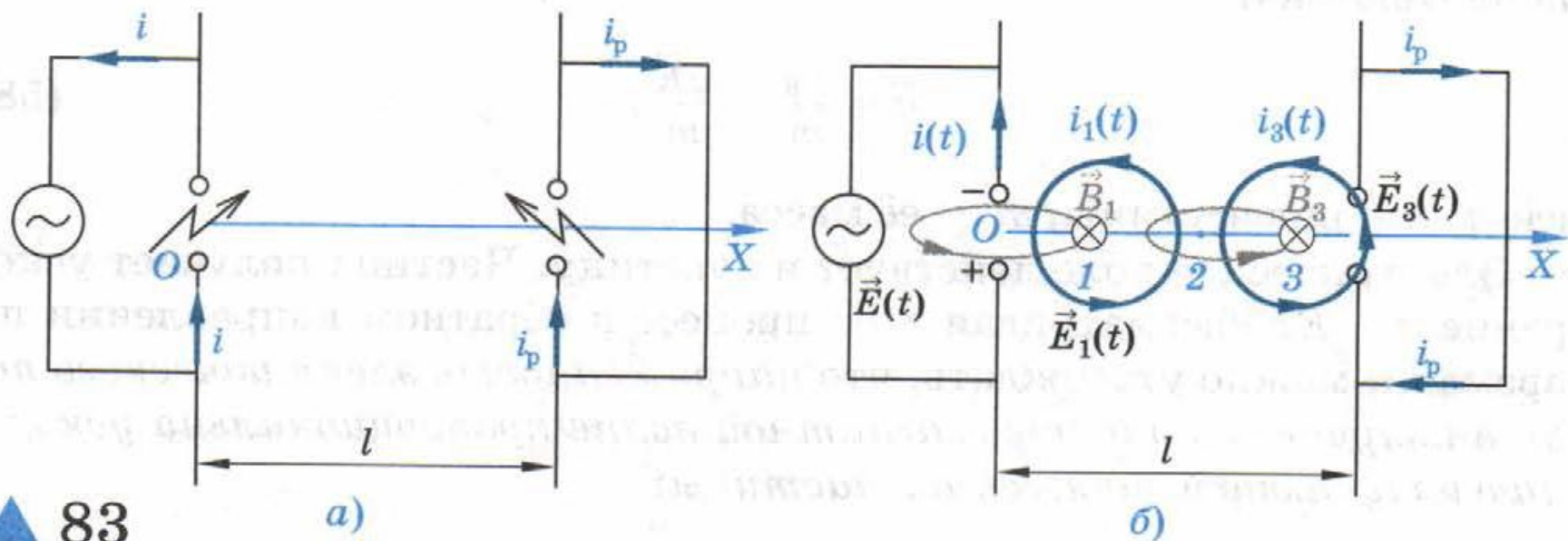


Схема опытов Герца к-ключ, ин-индуктор, в-вibrator, и-индикатор поля



▲ 83

Электромагнитные волны:

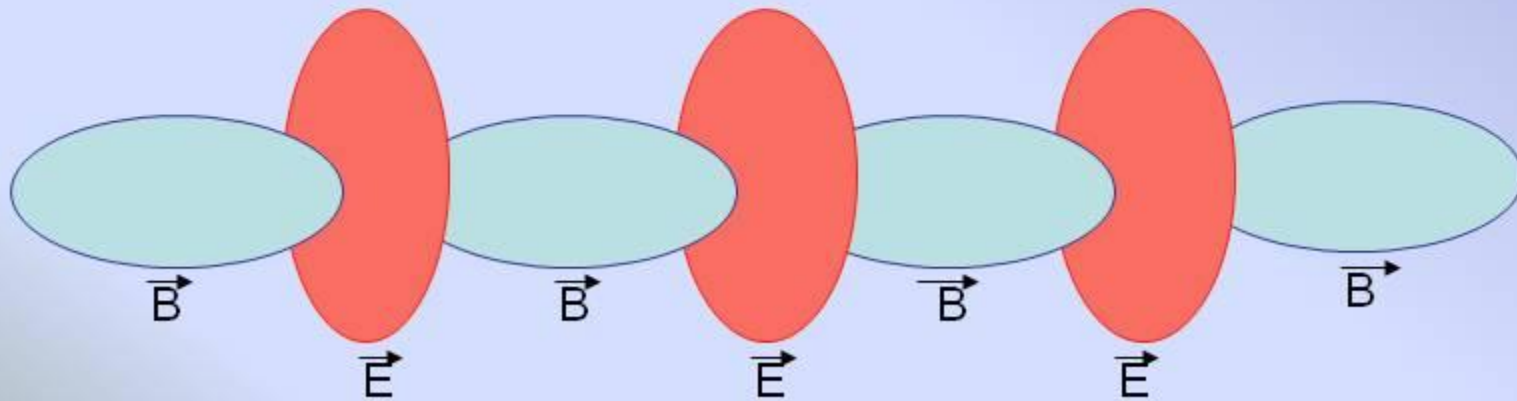
а — опыт Герца;

б — механизм распространения

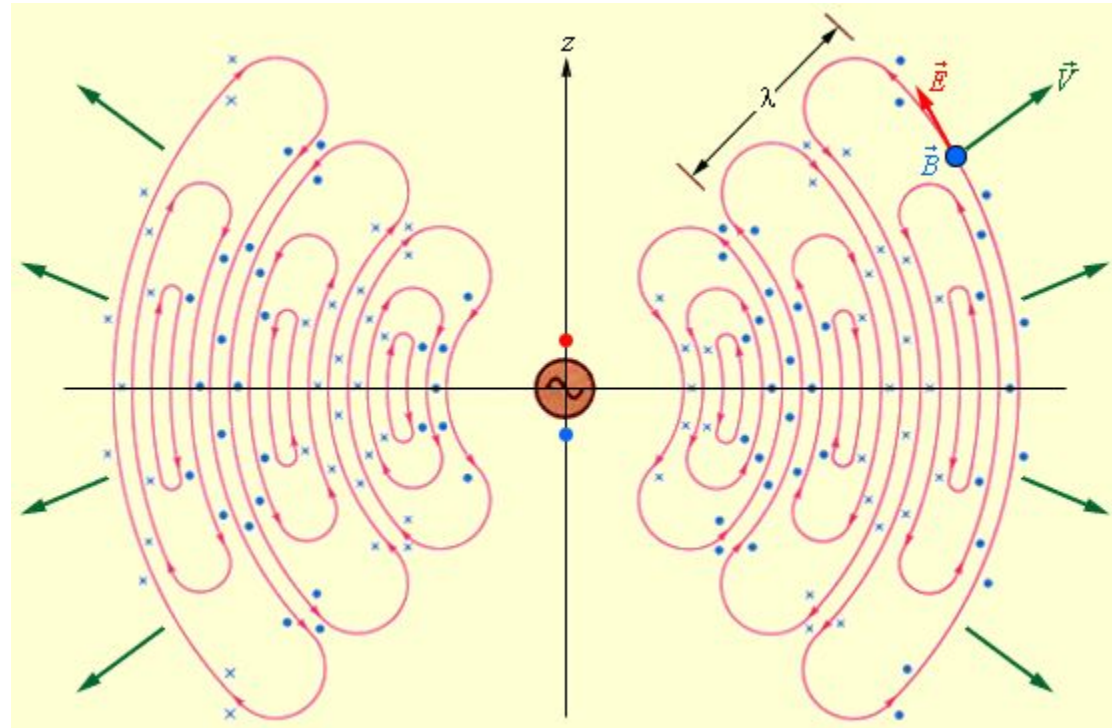
Объяснение результатов опыта Герца оказывается возможным с помощью теории Максвелла. Предположим, что в начальный момент времени переменный ток  $i(t)$  возрастает по величине и протекает через воздушный промежуток вверх (рис. 83, б). Такое направление тока (от плюса к минусу) означает, что аналогичное направление имеет напряжённость электрического поля, вызывающего этот ток, в разрядном промежутке. Ток  $i(t)$  создаёт вокруг себя магнитное поле с возрастающей индукцией  $\vec{B}_1(t)$ , направленной по правилу буравчика по касательной к окружности, лежащей в плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа. Возрастание магнитного потока в области точки 1 приводит к возникновению вихревого электрического поля, препятствующего росту магнитного потока (согласно правилу Ленца). Индукция магнитного поля, создаваемого вихревым электрическим полем в области точки 1, должна быть направлена против  $\vec{B}_1(t)$  — к нам. Вихревое электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}_1(t)$  вызывает в точке 2 ток смещения, направленный вверх. Этот ток создаёт в точке 3 магнитное поле с индукцией  $\vec{B}_3(t)$ , порождающее вихревое электрическое поле. В разрядном промежутке резонатора напряжённость  $\vec{E}_3(t)$  вихревого электрического поля будет направлена вверх. Если значение  $\vec{E}_3(t)$  оказывается достаточным для электрического пробоя воздуха в этом промежутке, в нём возникает искра, фиксируемая экспериментаторами, и через резонатор протекает ток  $i_p$ .

# Природа электромагнитной ВОЛНЫ

- Электромагнитная волна представляет собой распространение в пространстве с течением времени переменных (вихревых) электрических и магнитных полей.



Суть происходящих в вибраторе явлений коротко заключается в следующем. Индуктор Румкорфа создает на концах своей вторичной обмотки очень высокое, порядка десятков киловольт, напряжение, заряжающее сферы зарядами противоположных знаков. В определенный момент в искровом промежутке вибратора возникает электрическая искра, делающая сопротивление его воздушного промежутка столь малым, что в вибраторе возникают высокочастотные затухающие колебания, длящиеся во все время существования искры. Поскольку вибратор представляет собой открытый колебательный контур, происходит излучение электромагнитных волн.





Напряженность электрического поля и индукция магнитного поля излучающего гармонического вибратора:  
 а) в плоскости вибратора;  
 б) в пространстве (вблизи оси X)

