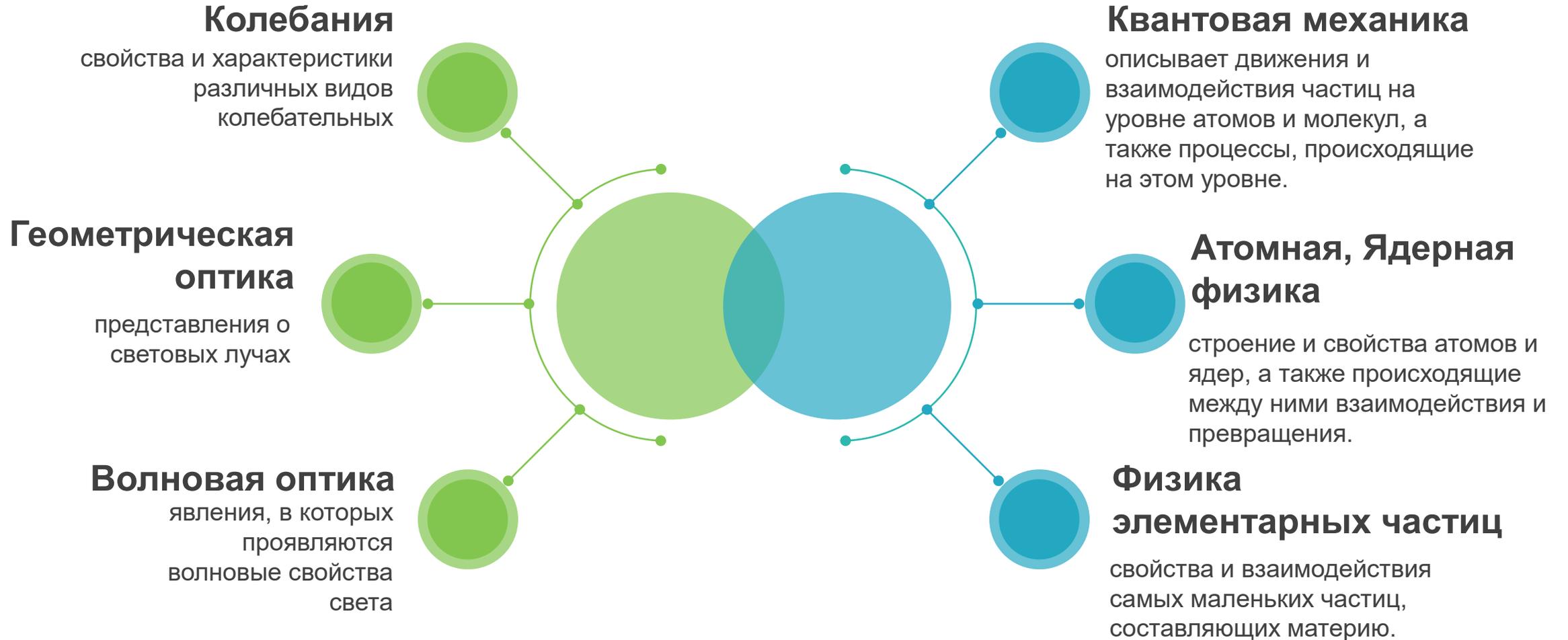


Физика 3

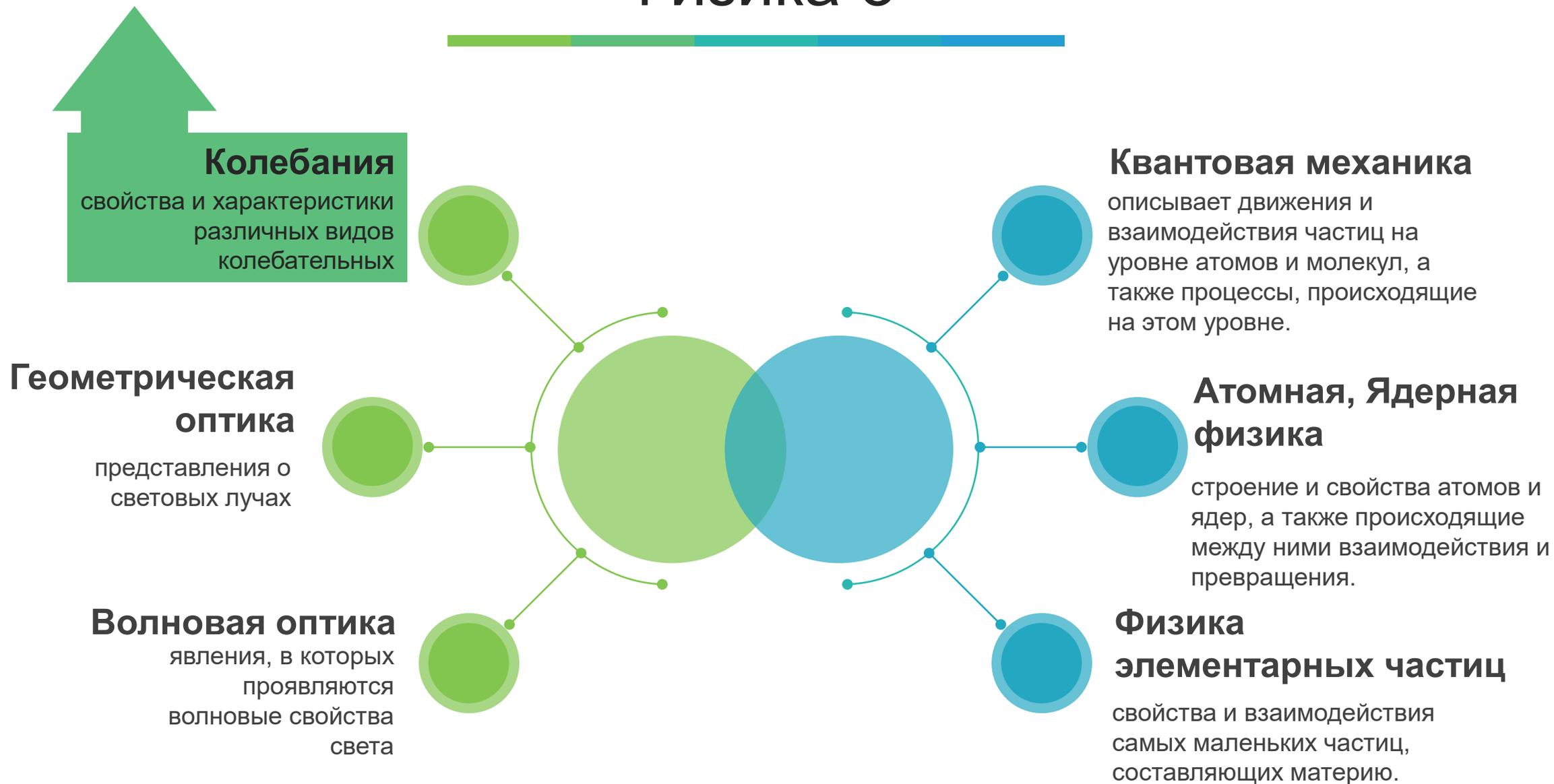
Доцент ИШФВП к.ф.-м.н. Аслаповская Юлия Сергеевна

Физика 3

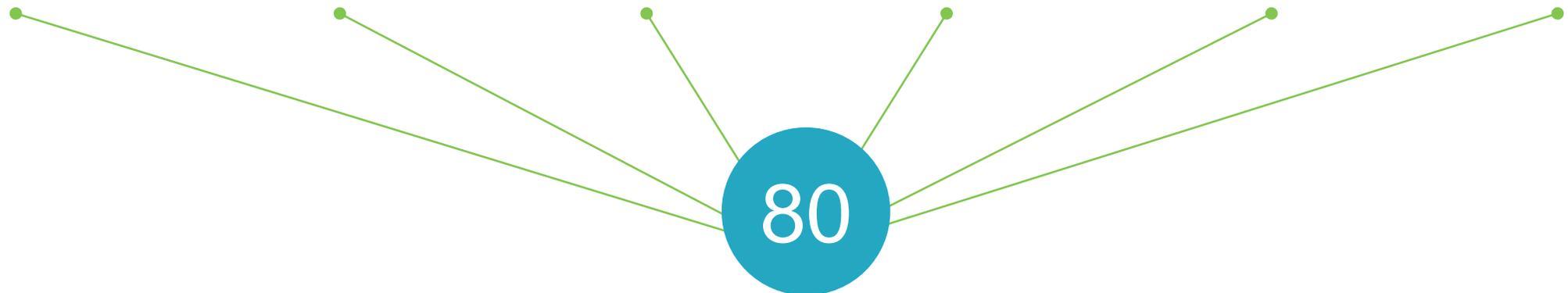


Повторить самостоятельно!

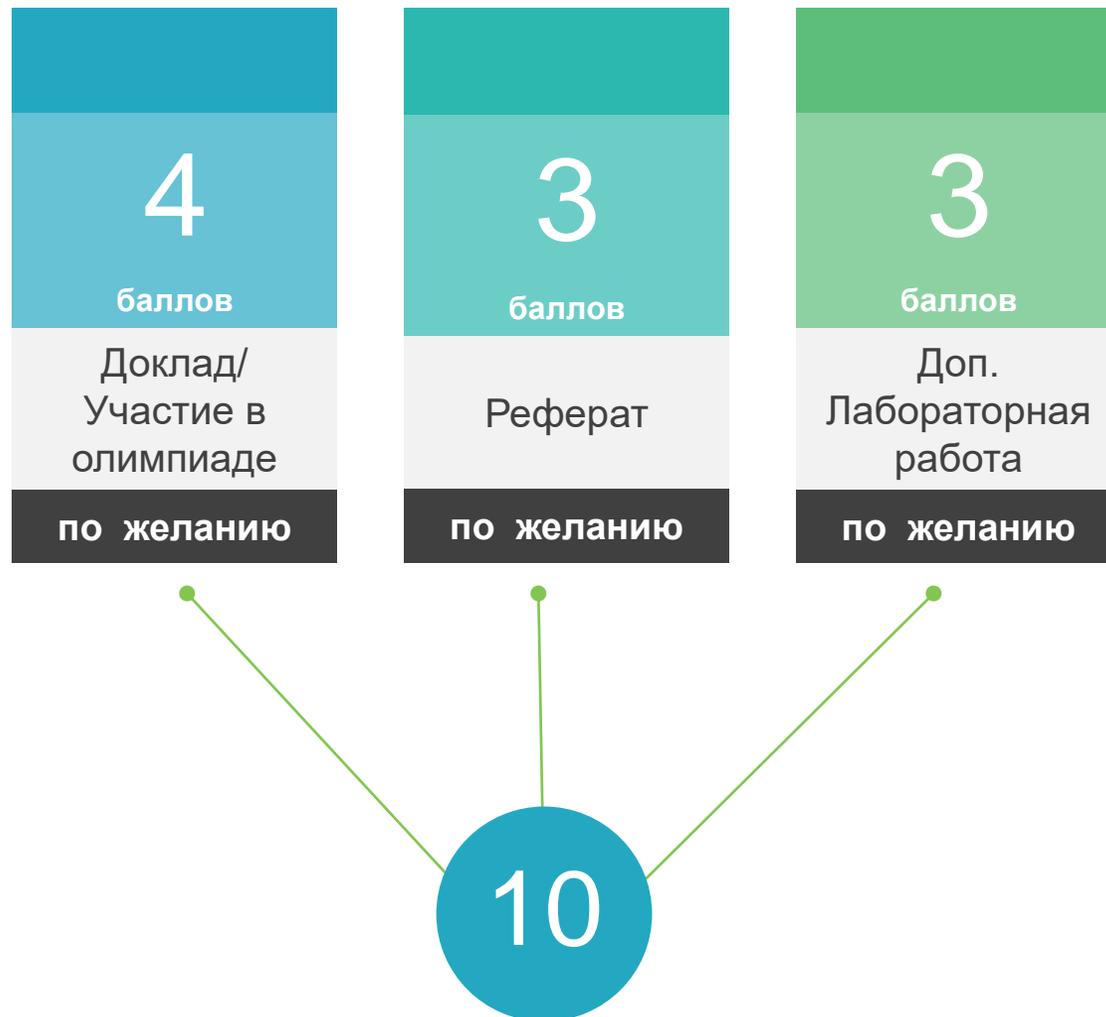
Физика 3



Балльно-рейтинговая система

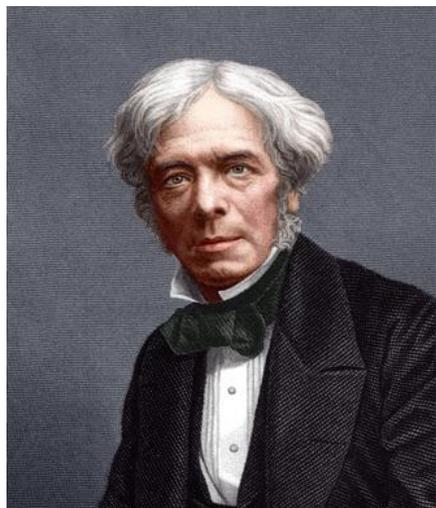


Дополнительные баллы



Лекция 1. Электромагнитные волны

Генерация ЭВМ

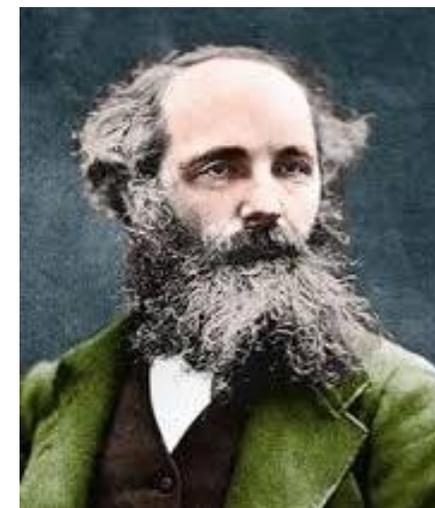


Майкл Фарадей
1791-1867 гг.

Фарадей в 1832 г. утверждал возможность существования электромагнитных волн (ЭВМ). Теоретическое обоснование этому предложил Максвелл.

Из теории Максвелла следует, что изменяющееся электрическое поле порождает в пустом пространстве магнитное поле. Изменяющееся магнитное поле приводит, в свою очередь, к появлению изменяющегося электрического поля и т.д.

Результат - появление волны, которая содержит электрическое и магнитное поля и способна распространяться в пустом пространстве



Максвелл Джеймс
Клерк
1831-1879 гг.

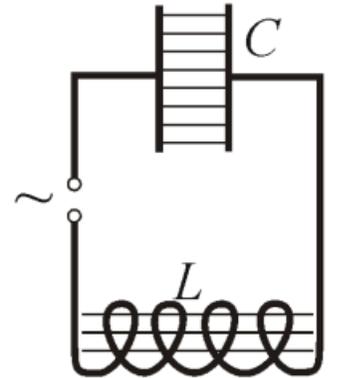
Генерация ЭВМ



Герц Генрих
Рудольф
1757-1894 гг.

Впервые электромагнитные волны были обнаружены в 1887 г. Генрихом Герцем.

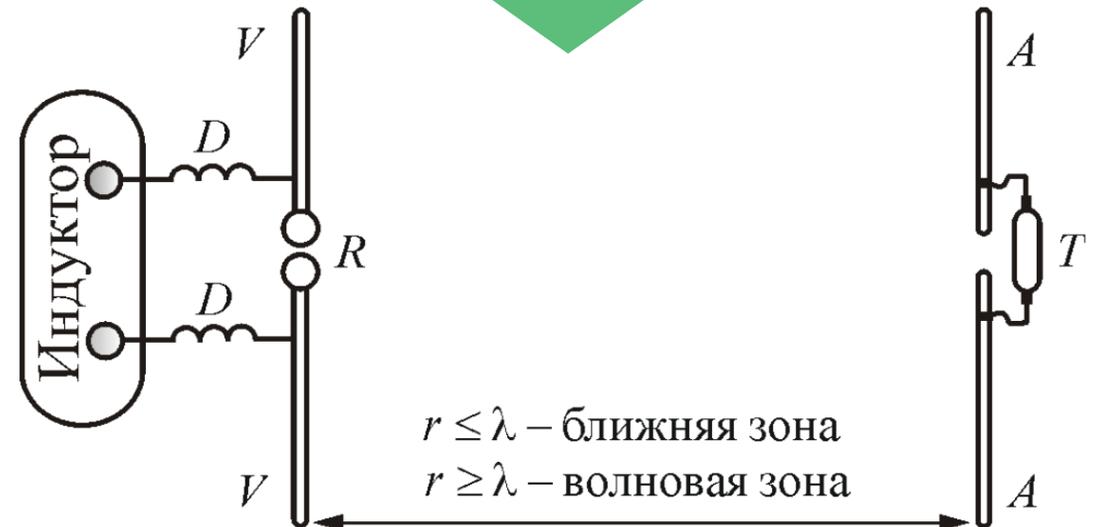
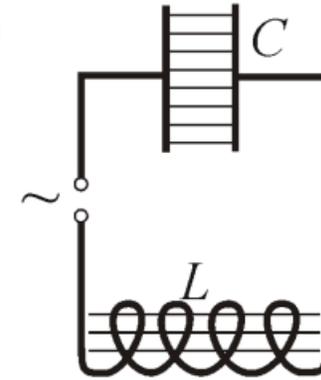
В колебательном контуре, образованном конденсатором C и катушкой L , электрическое поле сосредоточено в зазоре между обкладками, а магнитное – внутри катушки. Такого рода прибор имел название - **Вибратор Герца**



Генерация ЭВМ

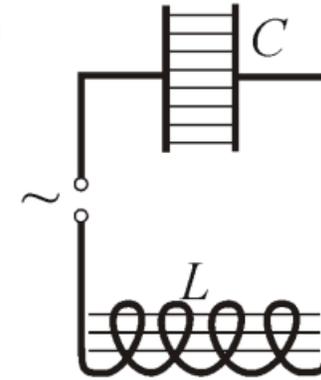
Рассмотрим два одинаковых металлических стержней $V - V$, разделенных регулируемым искровым промежутком R и соединенных через дроссели D с индуктором – источником высокого напряжения.

В приборе возникали затухающие электрические колебания высокой частоты. Уходу колебаний в индуктор препятствовали дроссели, соединяющие элементы вибратора с индуктором. Когда электромагнитная волна достигает резонатора, она возбуждает в нем токи.

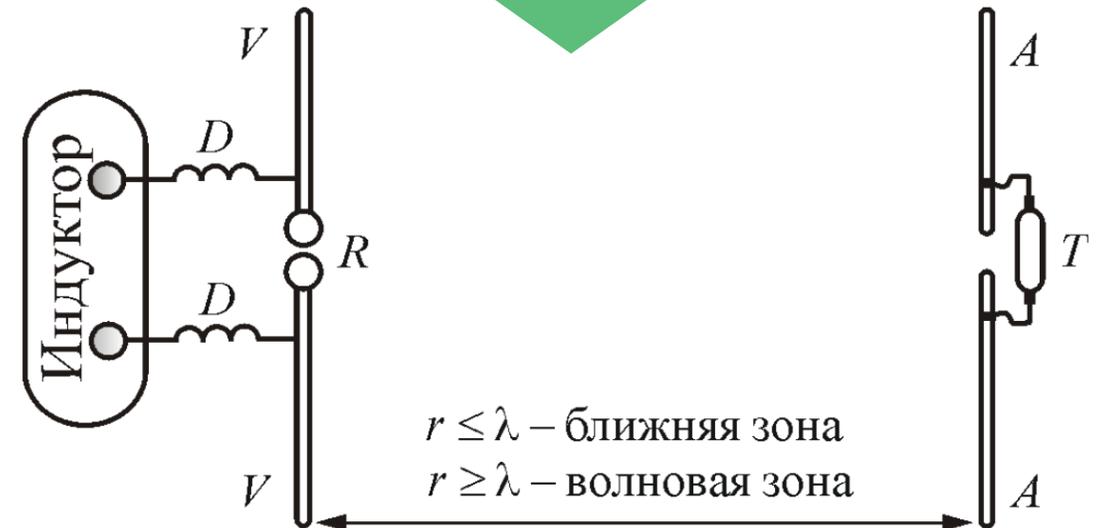


Генерация ЭВМ

Появление этих токов сопровождается проскакиванием искры в маленьком зазоре в центре резонатора или возбуждением свечения в небольшой газоразрядной трубке T , подключенной к обеим половинкам резонатора.



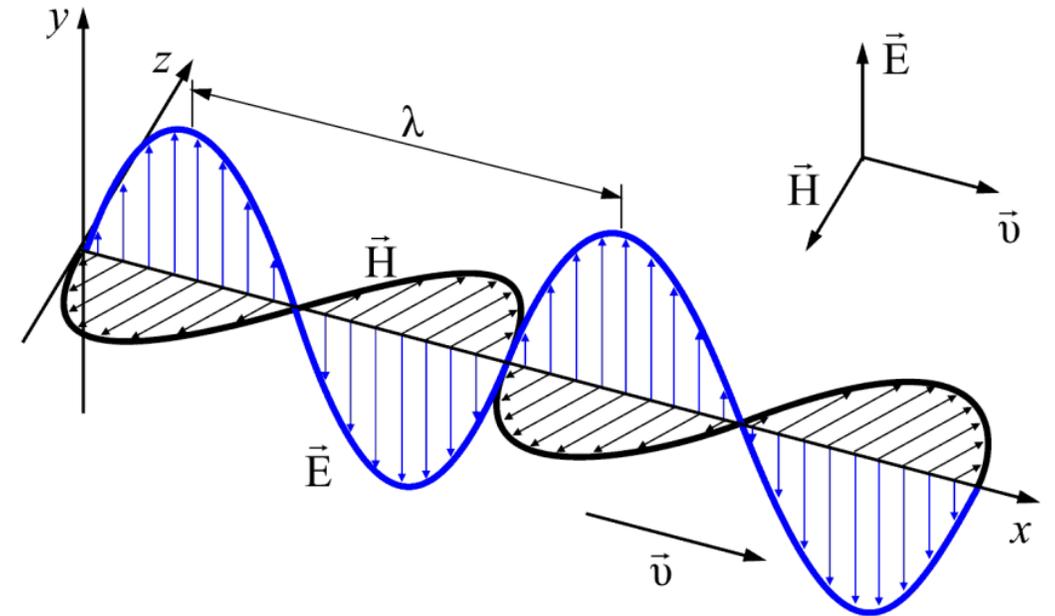
ЭМВ распространяются в пространстве, удаляясь от прибора во все стороны!



Генерация ЭВМ

Выводы:

- В любой точке векторы напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения \vec{v} .
- Поля изменяют свое направление в пространстве: в одних точках вектор \vec{H} направлен к плоскости страницы, в других – от нее; аналогично ведет себя и вектор \vec{E} .
- Электрическое и магнитное поля находятся в фазе, т.е. они достигают максимума и обращаются в нуль в одних и тех же точках.



Распространение ЭВМ

Генерация ЭВМ



Электромагнитные волны представляют собой **поперечные волны** и аналогичны другим типам волн. Однако в ЭМВ происходят колебания полей, а не вещества, как в случае волн на воде или в натянутом шнуре.

ЭВМ генерируются колеблющимися, т.е. движущимися с ускорением, электрическими зарядами. Справедливо и такое утверждение: движущийся с ускорением электрический заряд испускает электромагнитные волны.

Дифференциальное уравнение ЭВМ

Векторы напряженности \vec{E} и \vec{H} электромагнитного поля удовлетворяют волновым уравнениям:

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} \quad \nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2}$$

Фазовая скорость ЭМВ определяется выражением:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \text{– Скорость света в вакууме}$$

v – Фазовая скорость.

$$\mu_0 = 1,256637061 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$$

∇ – Оператор Лапласа.

$$\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$$

Скорость распространения электромагнитного поля в вакууме равна скорости света

Дифференциальное уравнение ЭВМ

Скорость распространения электромагнитных волн в среде зависит от ее электрической и магнитной проницаемости. В веществе скорость распространения электромагнитных возмущений меньше $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ раз. Величину n называют абсолютным показателем преломления.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{n} \quad \text{и} \quad n = \frac{c}{v}$$

Показатель преломления – физическая величина, равная отношению скорости электромагнитных волн в вакууме к их скорости в среде.

Дифференциальное уравнение ЭВМ

В электромагнитной волне векторы \vec{E} и \vec{H} всегда колеблются в одинаковых фазах, причем мгновенные значения \vec{E} и \vec{H} в любой точке связаны соотношением

$$\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} E = \sqrt{\mu\mu_0} H.$$

Простейшим решением волнового уравнения являются плоские монохроматические электромагнитные волны:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx)$$

E_0, H_0 — амплитуды волны.

ω — круговая частота.

$k = \frac{\omega}{v}$ — волновое число.

φ — начальная фаза при $x=0$.

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2}$$
$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2}$$

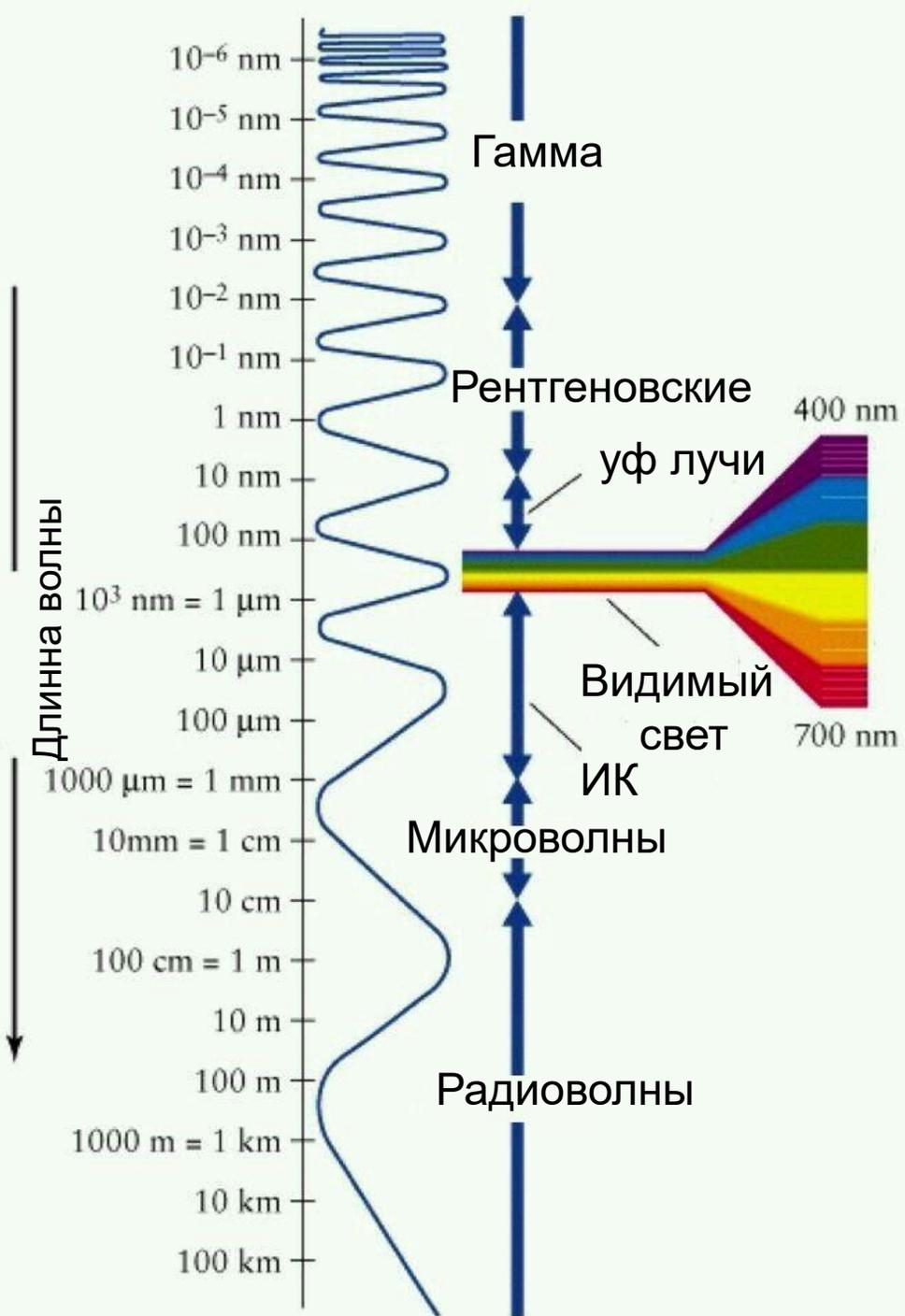
Волновые уравнения

Дифференциальное уравнение ЭВМ



Выводы:

- векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{v} взаимно перпендикулярны, так как \vec{k} и \vec{v} направлены одинаково;
- электромагнитная волна является поперечной;
- электрическая и магнитная составляющие распространяются в одном направлении;
- векторы H_r и E_r колеблются в одинаковых фазах.



Диапазон частот	Наименование диапазона (сокращенное наименование)	Наименование диапазона волн	Длина волны
3–30 кГц	Очень низкие частоты (ОНЧ)	Мириаметровые	100–10 км
30–300 кГц	Низкие частоты (НЧ)	Километровые	10–1 км
300–3000 кГц	Средние частоты (СЧ)	Гектометровые	1–0.1 км
3–30 МГц	Высокие частоты (ВЧ)	Декаметровые	100–10 м
30–300 МГц	Очень высокие частоты (ОВЧ)	Метровые	10–1 м
300–3000 МГц	Ультравысокие частоты (УВЧ)	Дециметровые	1–0.1 м
3–30 ГГц	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	Сантиметровые	10–1 см
30–300 ГГц	Крайне высокие частоты (КВЧ)	Миллиметровые	10–1 мм
300–3000 ГГц	Гипервысокие частоты (ГВЧ)	Децимиллиметровые	1–0.1 мм

Энергия и импульс электромагнитного поля

Введем вектор $dw = \vec{H}d\vec{B} + \vec{E}d\vec{D}$ – приращение плотности электромагнитной энергии.

$$w = w_{\text{э}} + w_{\text{м}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad \text{– объёмная плотность энергии ЭВ}$$

Учтем $\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} E = \sqrt{\mu\mu_0} H.$  $w_{\text{э}} = w_{\text{м}}$

 $w = 2w_{\text{э}} = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} \sqrt{\mu\mu_0} EH.$

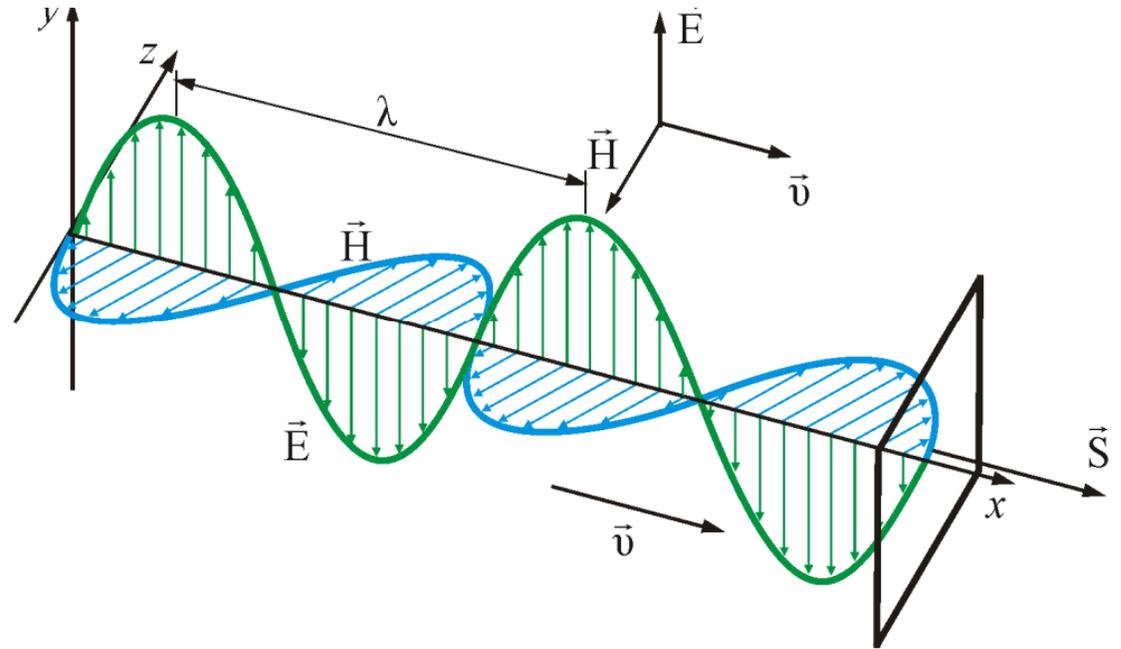
$w_{\text{э}}$ – объёмная плотность электрического поля,

$w_{\text{м}}$ – объёмная плотность магнитного поля

Энергия и импульс электромагнитного поля

Модуль плотности потока энергии – поток энергии через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны в единицу времени:

$$S = wv = EH$$



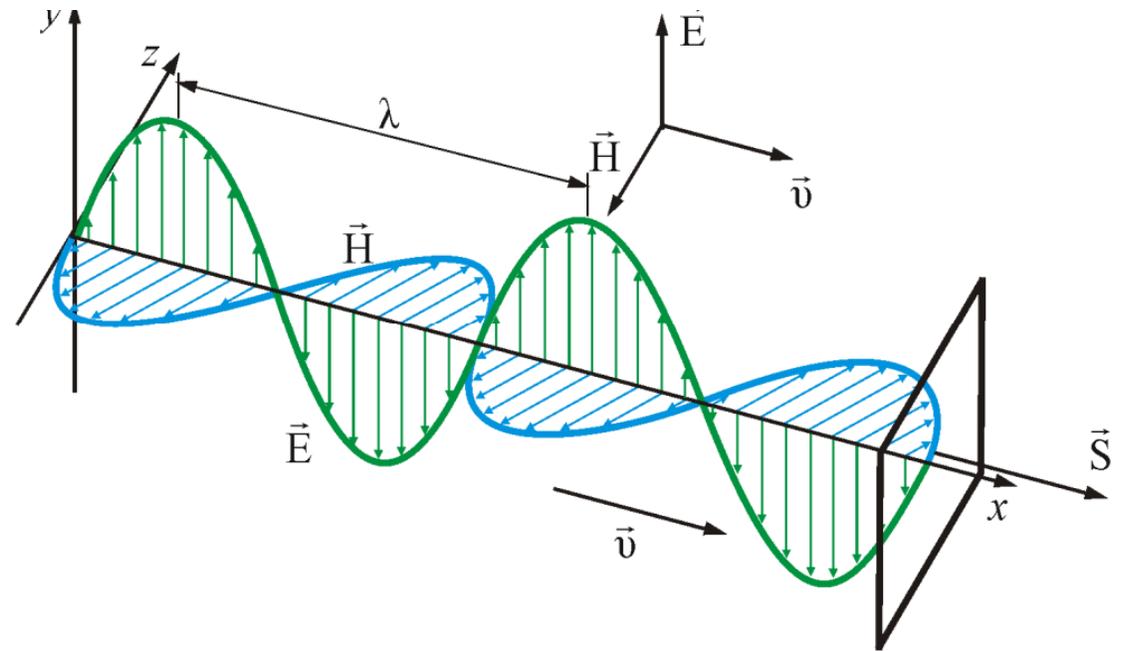
Энергия и импульс электромагнитного поля

Вектор плотности потока электромагнитной энергии называется вектором
Умова–Пойнтинга:

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$$

Вектор \vec{S} направлен в сторону распространения электромагнитной волны, а его модуль равен энергии,

переносимой электромагнитной волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны.



Энергия и импульс электромагнитного поля



Векторы Умова–Пойнтинга зависят от пространства и времени, так как от них зависят модули векторов напряженности электрического и магнитного полей.

Интенсивность – модуль среднего значения вектора Умова–Пойнтинга

$$J = \left| \langle \vec{S} \rangle \right|$$

Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды:

$$J \sim \frac{\sin^2 \theta}{r^2}$$

Давление света



П.Н. Лебедев
1816-1912 гг.

$$P = J \frac{1+K}{c}$$

- Зеркало, расположенное на расстоянии 1 м от источника света в миллион свечей (кандел), испытывает давление 10^{-7} Н/м².
- Давление излучения Солнца на поверхность Земли равно $4,3 \cdot 10^{-6}$ Н/м².
- Давление излучения Солнца на Землю равно $6 \cdot 10^8$ Н, что в 1013 раз меньше силы притяжения Солнца.

Электромагнитная масса и импульс

Существование давления ЭМВ приводит к выводу о том, что электромагнитному полю присущ механический импульс.

$$p = mc = \frac{E}{c} \quad \rightarrow \quad E = mc^2$$

Электромагнитная масса – $m_{\text{эл}} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2 4\pi\epsilon_0}$

Полный импульс – $m = m_{\text{эл}} + m_{\text{мех}}$, где $\vec{p} = m\vec{v}$

e – заряд движущейся частицы, a – радиус движущейся частицы.

Электромагнитная масса и импульс

Электромагнитная масса – $m_{\text{эл}} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2 4\pi\epsilon_0}$

Полный импульс – $m = m_{\text{эл}} + m_{\text{мех}}$, где $\vec{p} = m\vec{v}$

Релятивистский импульс – $p = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2 4\pi\epsilon_0} \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Физика 3

Колебания

свойства и характеристики различных видов колебательных

Геометрическая оптика

представления о световых лучах

Волновая оптика

явления, в которых проявляются волновые свойства света

Квантовая механика

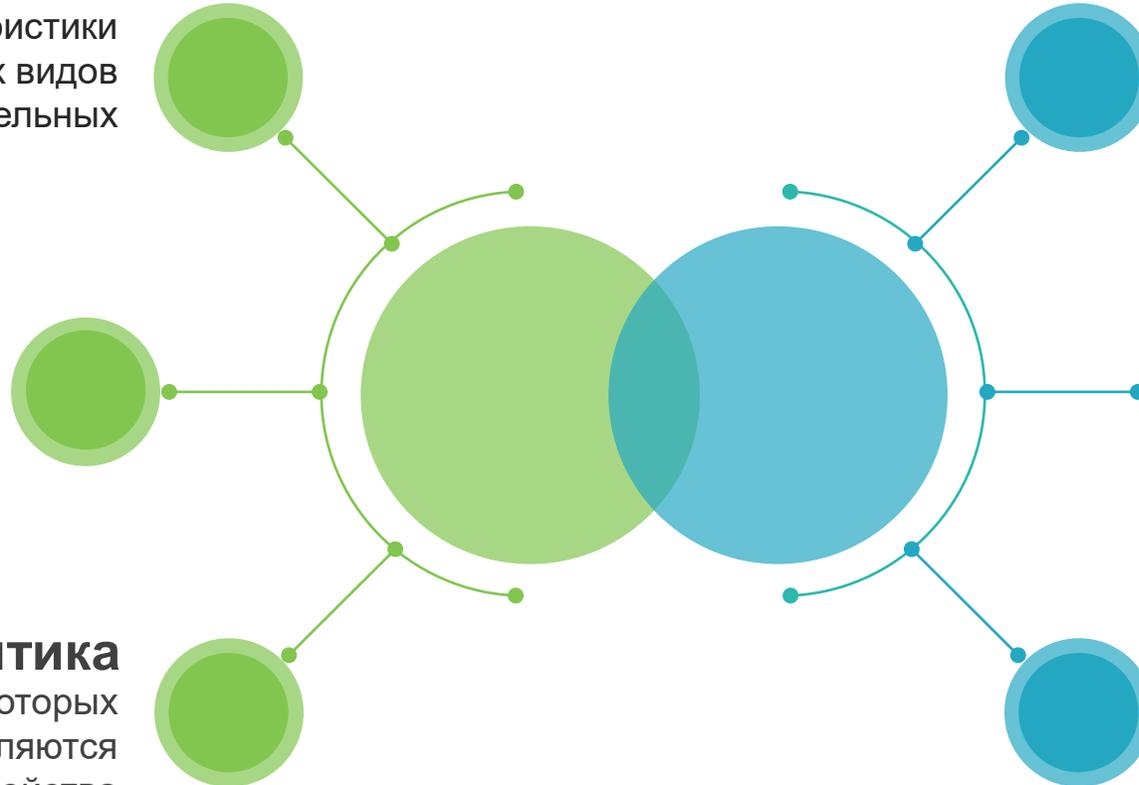
описывает движения и взаимодействия частиц на уровне атомов и молекул, а также процессы, происходящие на этом уровне.

Атомная, Ядерная физика

строение и свойства атомов и ядер, а также происходящие между ними взаимодействия и превращения.

Физика элементарных частиц

свойства и взаимодействия самых маленьких частиц, составляющих материю.



Оптика и ее виды



Оптика – (от греч. **optike** – наука о зрительных восприятиях) – раздел физики, в котором изучаются оптическое излучение (свет), его распространение и явления, наблюдаемые при взаимодействии света и вещества.

оптика делится на **геометрическую, физическую и физиологическую.**

Геометрическая оптика, не рассматривая вопрос о природе света, исходит из эмпирических законов его распространения и использует представление о световых лучах, отражающихся и преломляющихся на границах сред с разными оптическими свойствами и прямолинейных в оптически однородной среде.

Геометрическая оптика

В основу формального построения геометрической оптики положено четыре закона, установленных опытным путем:

- закон прямолинейного распространения света;
- закон независимости световых лучей;
- закон отражения;
- закон преломления света.

Принцип Гюйгенса:

Каждая точка, до которой доходит световое возбуждение, является, в свою очередь, центром вторичных волн; поверхность, огибающая в некоторый момент времени эти вторичные волны, указывает положение к этому моменту фронта действительно распространяющейся волны



Гюйгенс Христиан
1629–1695 гг.

Геометрическая оптика

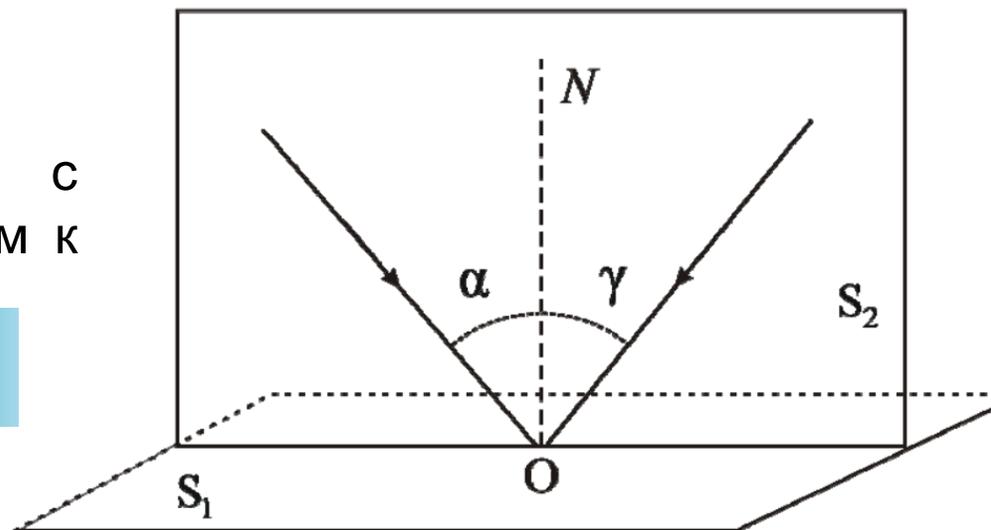
Закон прямолинейного распространения света – свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

Закон независимости световых пучков – эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены.

Закон отражения:

- отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения;
- угол падения α равен углу отражения γ

$$\alpha = \gamma$$



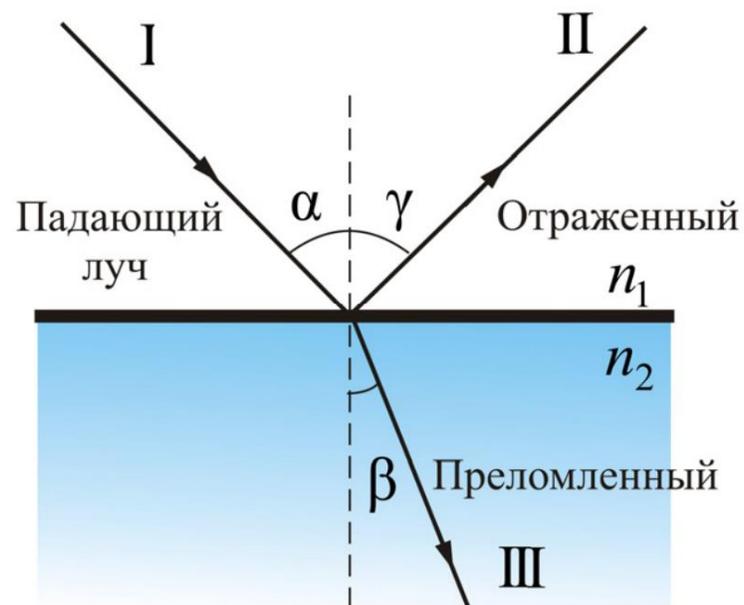
Геометрическая оптика

Закон преломления (закон Снелиуса):

- луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела в точке падения, лежат в одной плоскости;
- отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред.

закон Снелиуса

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v} = n$$



Геометрическая оптика

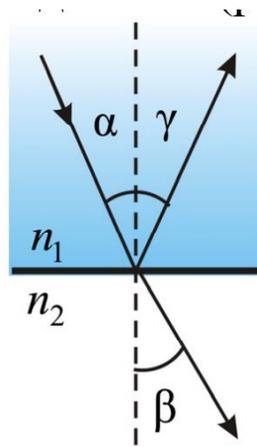


Рис. а

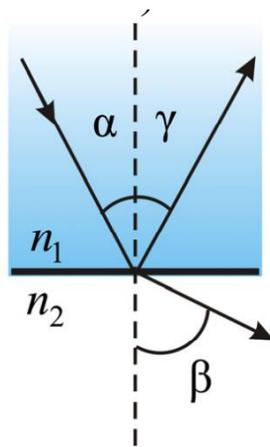


Рис. б

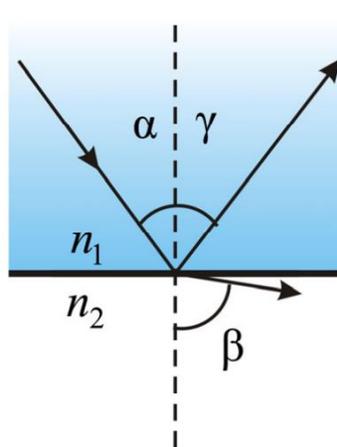


Рис. в

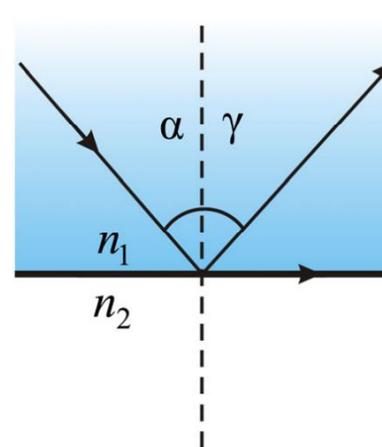


Рис. с

Если свет распространяется из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления n_2 (оптически менее плотной) ($n_1 > n_2$), например из стекла в воздух, то, согласно закону преломления, преломленный луч удаляется от нормали и угол преломления β больше, чем угол падения α (рис. а).

Геометрическая оптика

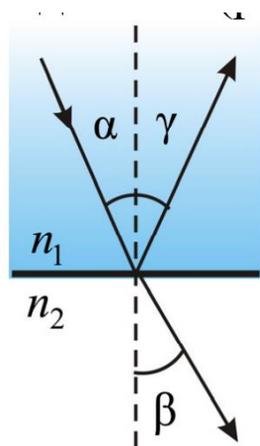


Рис. а

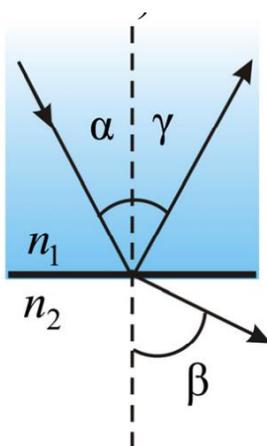


Рис. б

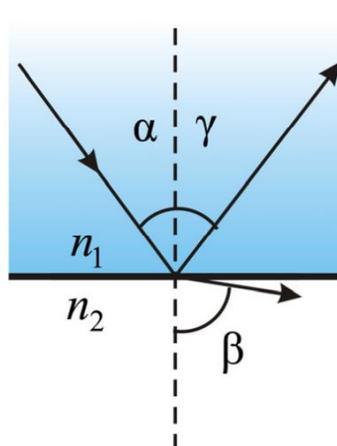


Рис. в

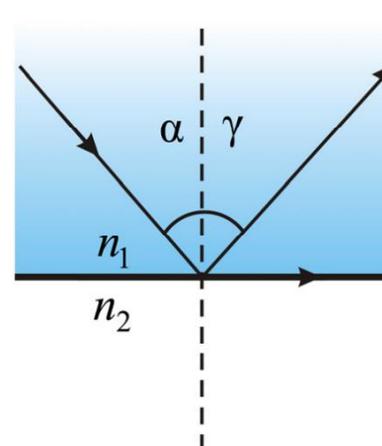


Рис. г

С увеличением угла падения увеличивается угол преломления (рис. б, в), до тех пор, пока при некотором угле падения ($\alpha = \alpha_{\text{пр}}$) угол преломления не окажется равным $\pi/2$. Угол $\alpha_{\text{пр}}$ называется **предельным углом**. При углах падения $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$ весь падающий свет полностью отражается (рис. г)

Геометрическая оптика

- По мере приближения угла падения к предельному, интенсивность преломленного луча уменьшается, а отраженного – растет.
- Если $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$, то интенсивность преломленного луча обращается в нуль, а интенсивность отраженного равна интенсивности падающего.

Полное отражение

При углах падения в пределах от $\alpha_{\text{пр}}$ до $\pi/2$, луч не преломляется, а полностью отражается в первую среду, причем интенсивности отраженного и падающего лучей одинаковы.

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha_{\text{пр}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

