

Литература

Трофимова Т.И. Курс физики. 2003-2016.

Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. 2002-2016.

Савельев И.В. Курс общей физики. 1998-2016.

Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спириг Г.Г. Курс общей физики. Кн. 1, 2, 3. 2003.

Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. 2003-2016.

Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. 2002-2016.

Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. 1997-2016.

Литература

Контрольно-измерительные материалы по дисциплине «Физика».
Хатмулина М.Т., Рабчук Л.В., Строкина В.Р., Сагитова Э.В. – Уфа, 2015.

Александров И.В., Сагитова Э.В., Строкина В.Р., Трофимова Е.В. Физика. Тестовые задания. Учебное пособие. 2013.

Александров И.В., Рабчук Л.В., Трофимова Е.В. Интернет-тестирование базовых знаний по дисциплине «Физика». Учебное пособие. 2013.

Сагитова Э.В., Строкина В.Р., Хайретдинова А.К. Сборник тестовых заданий по разделу «Волновая и квантовая оптика» для самостоятельной работы студентов. – Уфа, 1998.

Сагитова Э.В., Строкина В.Р., Хайретдинова А.К. Сборник тестовых заданий по разделам «Элементы квантовой теории», «Основы атомной и ядерной физики». – Уфа, 2003.

Хайретдинова А.К., Шатохин С.А. Волновая и квантовая оптика. Методические указания к практическим занятиям по курсу общей физики. – Уфа, 2003.

Хайретдинова А.К., Шатохин С.А. Строение атома. Методические указания к практическим занятиям по курсу общей физики. – Уфа, 2005.

Лекции – 28 часов
практические занятия – 14 часов
лабораторные работы – 20 часа
ЭКЗАМЕН

Рейтинг

Содержание курса физики

Волновая оптика

Интерференция света - 3 часа

Дифракция света - 2 часа

Дисперсия света – 1 час

Поляризация света – 2 часа

Квантовая физика

Тепловое излучение – 2 часа

Фотоэффект - 2 час

Гипотеза де-Бройля - 2 часа

Уравнение Шредингера - 3 часа

Многоэлектронные атомы – 2 часа

Атом - 3 часа

Элементы квантовой электроники – 1 час

Элементы квантовой статистики - 3 часов

Атомное ядро - 2 часа

Волновая оптика. Квантовая физика

№	Наименования разделов дисциплины	Наименования практических занятий (семинаров)	Кол-во часов
1.	Волновая оптика	1. Интерференция света. Условия максимумов и минимумов интерференции. Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников света. Интерференция в тонких пленках: полосы равного наклона и равной толщины. Кольца Ньютона.	2
		2. Дифракция света. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на простейших преградах. Дифракция на одной щели. Дифракционная решетка. Угловая и линейная дисперсия. Разрешающая сила.	2
		3. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия. Прохождение света через призму.	1
		4. Поляризация света. Степень поляризации. Закон Малюса. Вращение плоскости поляризации.	1
2.	Квантовая физика	5. Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана. Законы Вина. Формула Планка.	1
		6. Фотоэффект. Энергия, импульс, масса фотонов. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.	1
		7. Гипотеза де-Бройля.	1
		8. Уравнение Шредингера. Поведение частицы в потенциально яме с бесконечно высокими стенками. Вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер. Квантовые числа.	2
		9. Атом. Постулаты Бора. Скорость, радиус, энергия электрона в водородоподобных атомах. Обобщенная формула Бальмера.	2
		10. Ядро. Правила смещения при α -, β - распадах. Закон радиоактивного распада. Энергия связи. Энергия, выделяемая или поглощаемая в ядерных реакциях.	1
Итого:			14

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ (раздел «Оптика и квантовая механика»)

A1. На объектив ($n_1 = 1,5$) нанесена тонкая пленка ($n_2 = 1,2$) толщиной d (просветляющая пленка). Разность хода интерферирующих волн в отраженном свете равна ...

1. $2dn_1$ 2. $2dn_2 + \lambda/2$ 3. $2dn_1 + \lambda/2$ 4. $2dn_2$

A2. Естественный свет падает на стекло с $n = 1,73$. Отраженный свет будет полностью поляризован при угле преломления ...

1. 63° 2. 45° 3. 30° 4. 60°

A3. Кинетическая E_k , потенциальная $E_{\text{п}}$ и полная E энергия атома связаны между собой соотношением ...

1. $E = -E_k = 1/2 E_{\text{п}}$ 2. $E = E_{\text{п}} = 1/2 E_k$ 3. $E = -E_{\text{п}} = 1/2 E_k$ 4. $E = 2E_k = 2E_{\text{п}}$

A4. Если красная граница фотоэффекта для цинка 290 нм, работа выхода электрона из металла ... эВ.

1. 4,3 2. 3,5 3. 2,1 4. 1,6

A5. Дебройлева длина волны протона, летевшего с энергией 2 МэВ, увеличилась в 2 раза. Протон потерял при этом энергию ... МэВ.

1. 2 2. 1,8 3. 1,0 4. 1,5

A6. Ядро испытало один α и два β^- -распада. Массовое число дочернего ядра

1. увеличилось на 4 2. увеличилось на 2 3. уменьшилось на 4 4. уменьшилось на 2

B1. Атом водорода в теории Бора. Постулаты Бора. Закономерности в спектре излучения атома водорода.

B2. На диафрагму с круглым отверстием радиусом 1,5 мм нормально падает параллельный пучок света с длиной волны 500 нм. За диафрагмой на расстоянии 1,5 м от нее находится экран. Определить число зон Френеля на отверстии. Что будет в центре дифракционной картины на экране?

B3. По пластинке длиной 3 см и шириной 1 см проходит электрический ток при напряжении 2 В. После установления теплового равновесия температура пластинки составила 1050 К. Определить силу тока, если коэффициент поглощения пластинки $a = 0,8$.

Справочные данные:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$$

$$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м К}$$

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА»

Таблица 1. Шкала итоговых оценок успеваемости

Сумма баллов	Числовой эквивалент
91-100	5 «отлично»
74-90	4 «хорошо»
61-73	3 «удовлетворительно»
0-60	2 «неудовлетворительно»

Таблица 2. Балльно-рейтинговая оценка текущей и промежуточной успеваемости

Семестры	Лаб. работы	Практич. занятия	КСР	Защита лаб. раб. в срок	СНИР (олимп., конф., реф., активность на практич. занятиях, посещение лекций и практич. занятий)	Общее кол-во баллов
III	36 x 5=15	15	5	4	11	50

Таблица 3. Оценка рубежного контроля успеваемости студентов

Тестовые задания А1-А6 (4 б x 6)	Теоретический вопрос В1	Задачи В2 и В3 (8 б x 2)	Общее количество баллов
24	10	16	50

Оценка «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» проставляется студенту только в случае, когда на письменном экзамене он набрал не менее 25 баллов. При получении студентом на экзамене от 0 до 24 баллов, независимо от того, сколько баллов получил при текущей и промежуточной балльно-рейтинговой оценке его успеваемости, проставляется оценка «неудовлетворительно».

Уравнения Максвелла

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

первое

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{j}_{\text{пр}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$$

второе

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q_{\text{своб}}$$

третье

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

четвертое

Материальные уравнения

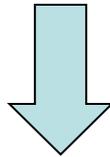
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \vec{j}_{\text{пр}} = \gamma \vec{E}$$

Для стационарных полей:

$$\begin{aligned} \oint_L \vec{E} d\vec{l} &= 0 & \oint_L \vec{H} d\vec{l} &= I \\ \oint_S \vec{D} d\vec{S} &= q_{\text{своб}} & \oint_S \vec{B} d\vec{S} &= 0 \end{aligned}$$

Уравнения Максвелла:

- 1. Описывают все электрические и магнитные явления.**
- 2. Настолько фундаментальны применительно к электромагнитным явлениям, насколько законы Ньютона фундаментальны для механических явлений.**
- 3. Согласуются с теорией относительности.**
- 4. Предсказывают существование электромагнитных волн, испускаемых ускоренными зарядами.**



Среда, в которой распространяются волны, однородна и изотропна, вдали от зарядов и токов, создающих эл/м поле



$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \Delta E = \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Волновые уравнения

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad \Delta H = \frac{\epsilon\mu}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

фазовая скорость этой волны

в нейтральной среде (непроводящей и неферромагнитной)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \text{- скорость света в вакууме}$$

$$c = 2.99792 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Вектор Умова-Пойнтинга

Электромагнитные волны переносят энергию.

Эта энергия может быть передана объектам, встречающимся на пути распространения волн.

$$\omega = \omega_{\text{эл}} + \omega_{\text{м}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad - \text{плотность энергии э/м поля}$$

$$\omega_E = \omega_H$$

$$\omega = 2\omega_E = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = 2\omega_H = \mu_0 \mu H^2 \quad \longrightarrow \quad \omega = \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0} E H = \frac{1}{v} E H$$

Модуль вектора плотности потока энергии

$$S = \omega v = E H = j$$

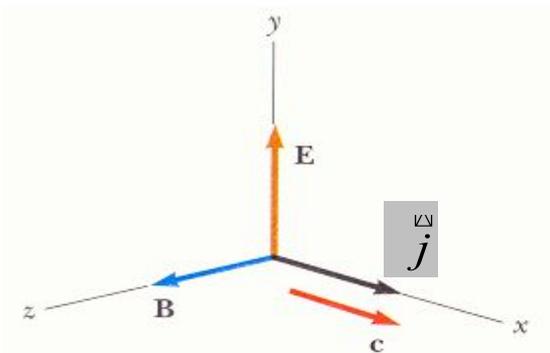
Вектор Умова-Пойнтинга

$$\vec{j} = \left[\vec{E} \times \vec{H} \right]$$

$$j = E H$$

$$|\vec{j}| = \text{Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) = \text{Вт}/\text{м}^2$$

Энергия, переносимая за 1 с через площадку 1 м², перпендикулярную направлению распространения волн.



ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

(интерференция, дифракция, дисперсия, поляризация света)

Оптика – раздел физики, в котором изучается природа света, световые явления, процессы взаимодействия света с веществом.

Свет ??

в узком

смысле

электромагнитные волны в интервале частот, воспринимаемых человеческим глазом

Цвет	Длина волны, нм	Ширина участка, нм
Красный	760-620	140
Оранжевый	620-590	30
Желтый	590-560	30
Зеленый	560-500	60
Голубой	500-480	20
Синий	480-450	30
Фиолетовый	450-380	70

в широком

смысле

все оптическое излучение (кроме видимого, излучение УФ и ИК областей спектра)

Природа света – результат исследований многих ученых

☀ Древняя Месопотамия (5 тысяч лет до н. э.) → прямолинейное распространение света.

☀ Пифагор (VI век до н.э.) → предметы становятся видимыми благодаря испусканию ими мельчайших частиц.

☀ Платон (~400 г. до н.э.): свет – маленькие частицы (корпускулы)

☀ Ян Марци (1648) → дисперсия света, *высказал идею о волновой природе света.*



Франческо Гримальди
(середина XVII века)
дифракция света

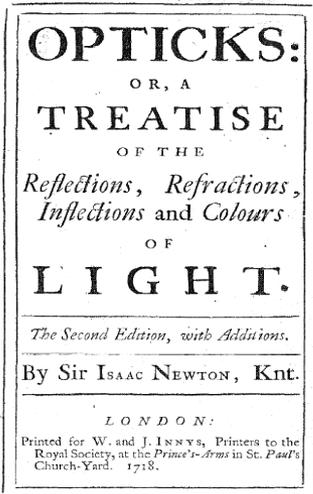
Роберт Гук (1635÷1703)

Этой идеи придерживались:

Христиан Гюйгенс
(1690 «Трактат о свете»)

волновая теория света: свет – **продольные механические волны**, распространяющиеся с большой, но конечной скоростью в особой, заполняющей Вселенную среде.





☀ **Исаак Ньютон (1642÷1727)** - свет состоит из мельчайших частиц, испускаемых светящимися телами.

Объяснил отражение и преломление (1666) света с помощью корпускулярной теории света.

☀ **Огюстен Френель** - интерференции и дифракции → Парижская АН (1818), доклад: теория, объясняющая прямолинейность распространения света. Свет – поперечные упругие волны в особой среде.



☀ **Томас Юнг:** лучи света могут интерферировать друг с другом (1801).

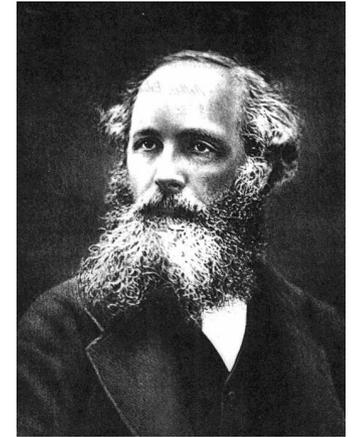
☀ **Джеймс Клерк Максвелл (60-е года XIX в.)** – теория э/м поля: **свет – это не упругие, а э/м волны** (не нуждаются в среде-носителе).

1865 - э/м волны распространяются со скоростью света (теория),

1873 - свет – разновидность высокочастотных э/м волн.

Теория Максвелла не смогла объяснить явление дисперсии.

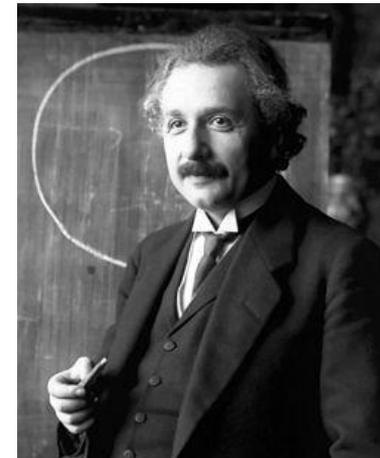
Лоренц создал *электронную теорию света*.



☀ **Макс Планк (1900)** - квантовая теория света. Развита в трудах *А. Эйнштейна, Н. Бора, В. Гейзенберга, П. Дирака, Э. Шредингера* и др.

Объяснил излучение горячих объектов с позиций корпускулярной теории света.

☀ **Эйнштейн (1905):** объяснил причины испускания электронов металлами под воздействием света на основе корпускулярной теории света.



**Свет имеет двойственную
корпускулярно-волновую природу:**

обладает волновыми свойствами

(интерференция,
дифракция,
поляризация)

**представляет собой поток фотонов,
обладающих нулевой массой покоя и
движущихся со скоростью, равной скорости
света в вакууме**

(фотоэффект, эффект Комптона –
изменение ν или λ фотонов при
рассеянии электронами или
нуклонами).

**Корпускулярно-волновой дуализм – проявление
взаимосвязи двух основных форм материи.**

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

В зависимости от ν или λ , от способа излучения и регистрации различают:

Радиоволны

$\lambda > 50$ мкм (в вакууме), $\nu < 6$ ТГц

Оптическое излучение (свет)

10 нм $< \lambda < 1$ мм

ИК - излучение испускается нагретыми телами (770 нм $< \lambda < 1$ мм);

Видимое излучение (видимый свет) вызывает зрительное ощущение в человеческом глазе ($380 < \lambda < 770$ нм);

УФ - излучение ($380 < \lambda < 10$ нм)

Рентгеновское излучение (рентгеновские лучи)

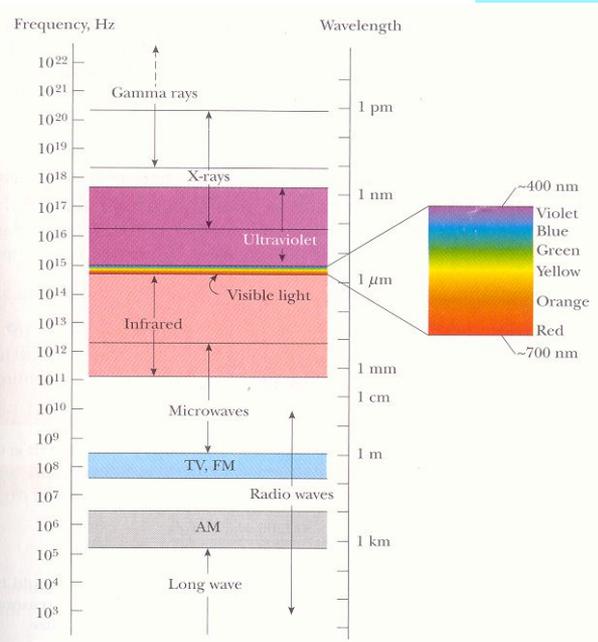
10 нм $< \lambda < 100$ нм

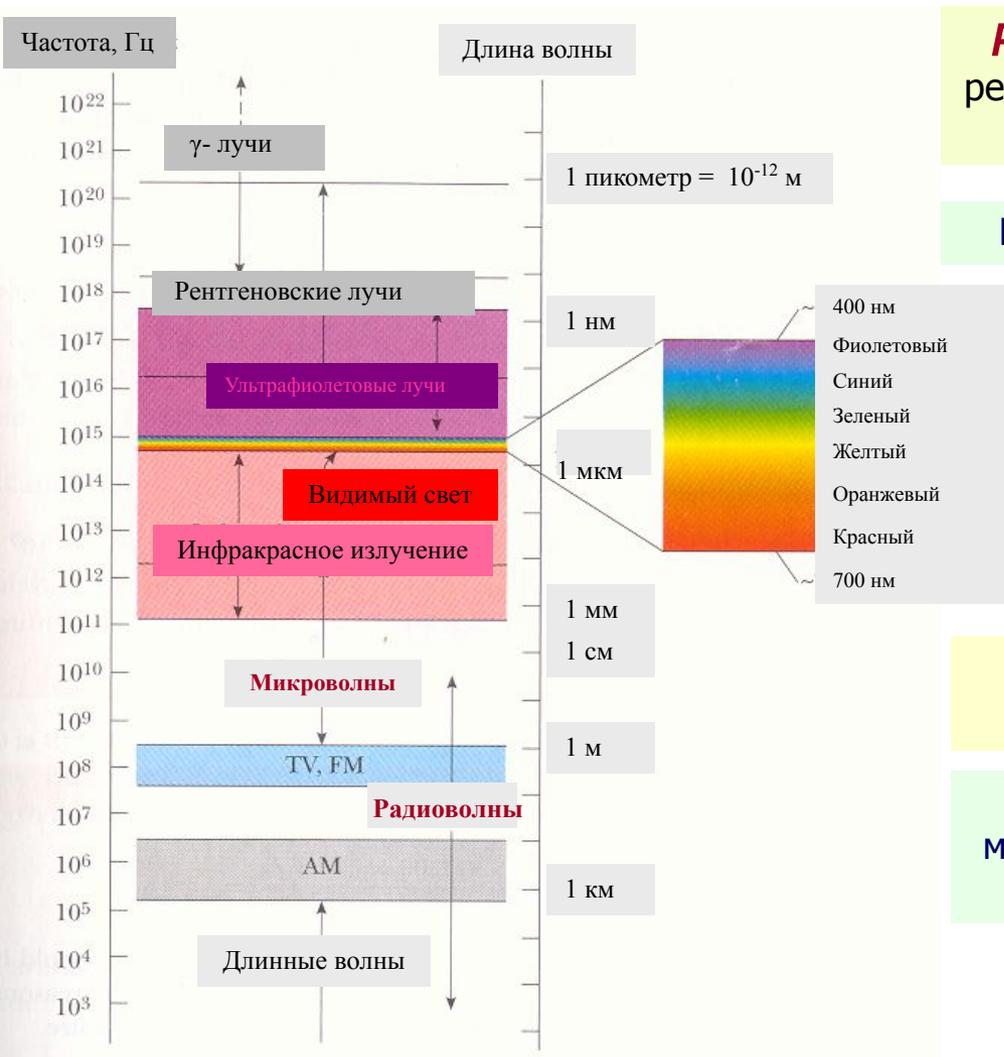
возникает при взаимодействии заряженных частиц и фотонов с атомами вещества

Гамма излучение (гамма-лучи)

$\lambda < 0,1$ нм

испускается возбужденными атомными ядрами при радиоактивных превращениях, ядерных реакциях, при распаде частиц, аннигиляции пар «частица-античастица».





Радиоволны (10^4 м > λ > 0,1 м) создаются в результате ускорения заряженных частиц между двумя проводящими проволоками.

В радио и телекоммуникационных системах.



Микроволны ($0,3$ м > λ > 10^{-4} м) генерируются электронными устройствами.

В радарах, для исследования атомных и молекулярных свойств вещества, в домашнем хозяйстве (микроволновые печи).

Инфракрасное излучение

$$(10^{-3} \text{ м} > \lambda > 7 \times 10^{-7} \text{ м})$$

создается в результате колебательного движения молекул.

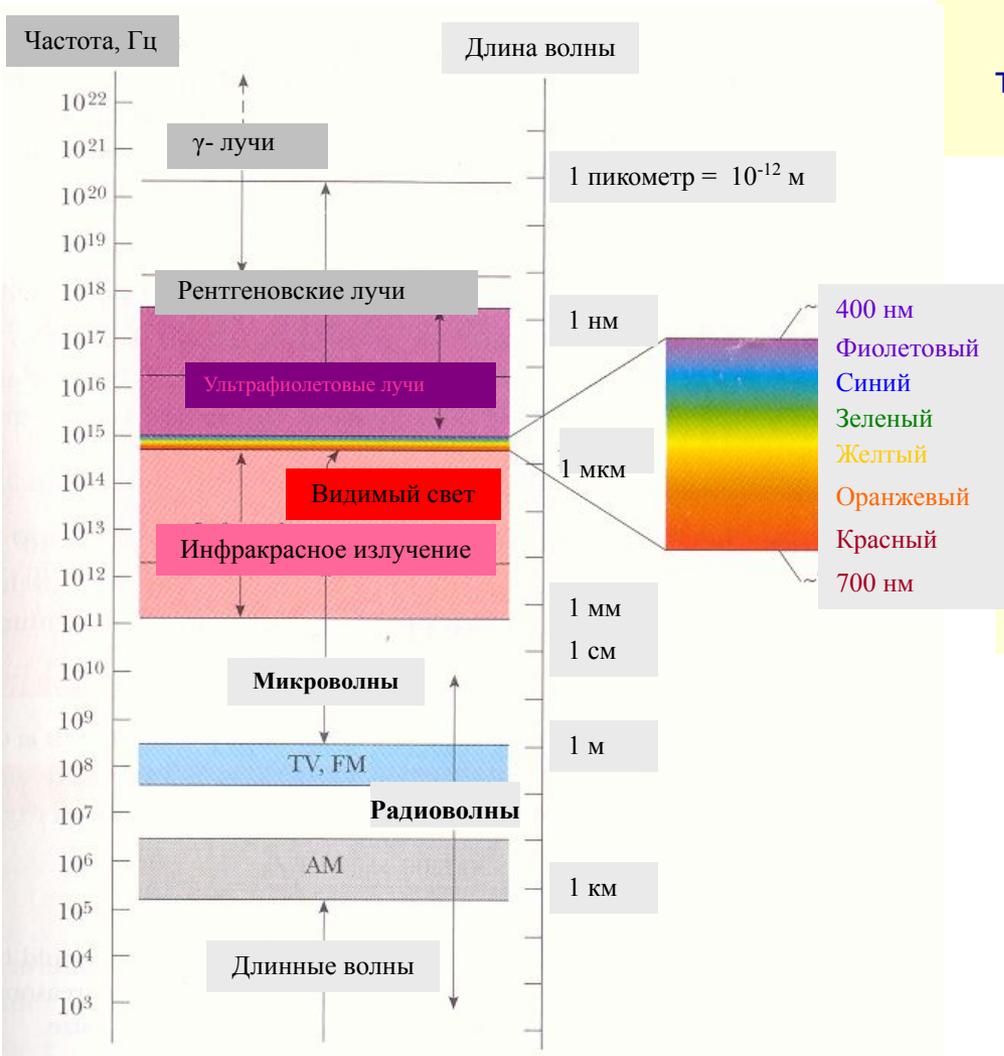
Легко поглощается, его энергия трансформируется во внутреннюю энергию поглотившего вещества.

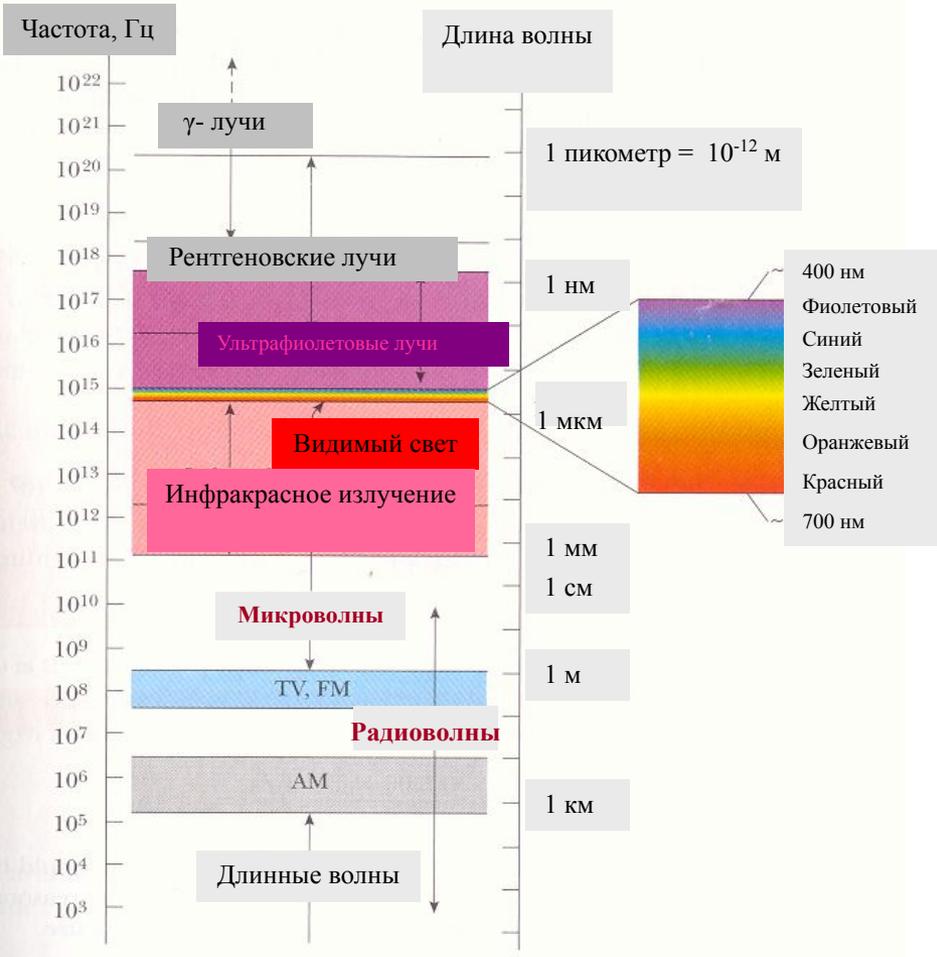


В физиотерапии, ИК фотографии, колебательной спектроскопии.

Видимый свет ($7 \times 10^{-7} \text{ м} > \lambda > 4 \times 10^{-7} \text{ м}$)

- результат изменения положения электронов в атомах и молекулах.





Ультрафиолетовое излучение

$$(4 \times 10^{-7} \text{ м} > \lambda > 6 \times 10^{-10} \text{ м})$$

излучается Солнцем, основная причина солнечного загара. Озоновый слой в стратосфере превращает смертоносное высокоэнергетическое УФ-излучение в ИК-излучение.

Рентгеновское излучение ($10^{-8} \text{ м} > \lambda > 10^{-12} \text{ м}$)

Результат торможения электронов при бомбардировке металлической мишени.



В медицине и при изучении кристаллического строения вещества.

Гамма-лучи ($10^{-10} \text{ м} > \lambda > 10^{-14} \text{ м}$)
 испускаются радиоактивными ядрами (^{60}Co , ^{137}Ce),
 при некоторых ядерных реакциях.
 Входят в состав космических лучей, обладают высокой проникающей способностью, наносят существенный вред человеческим тканям.



При взаимодействии света с веществом основную роль играет электрическое поле световой э/м волны.

\vec{E} - световой вектор

Интенсивность света I в данной точке пространства - модуль среднего по t значения плотности потока энергии, переносимой световой волной

$$I = \left| \langle \dot{j} \rangle \right| = \left| \langle [\vec{E} \times \vec{H}] \rangle \right|$$

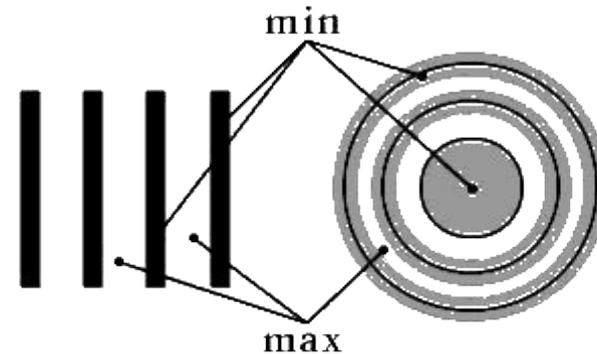
$$H_m \sim E_m \rightarrow I \sim E_m^2 \text{ (записывают } I \sim A^2 \text{)}$$

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Интерференция — наложение волн, при котором происходит устойчивое во времени их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других.

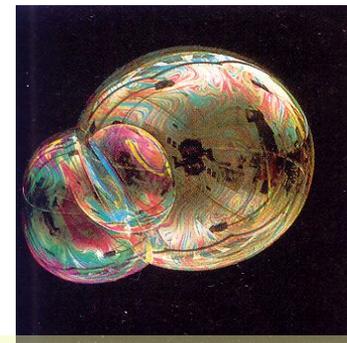
Геометрические места (точки, линии, области) с минимальной и максимальной освещенностью (темные и светлые).

До появления лазеров интерференция могла наблюдаться при разведении и сведении лучей, исходящих от одного источника света.



Проявление интерференции:

масляные пленки на воде,
мыльные пузыри,
окисные пленки на металлах.

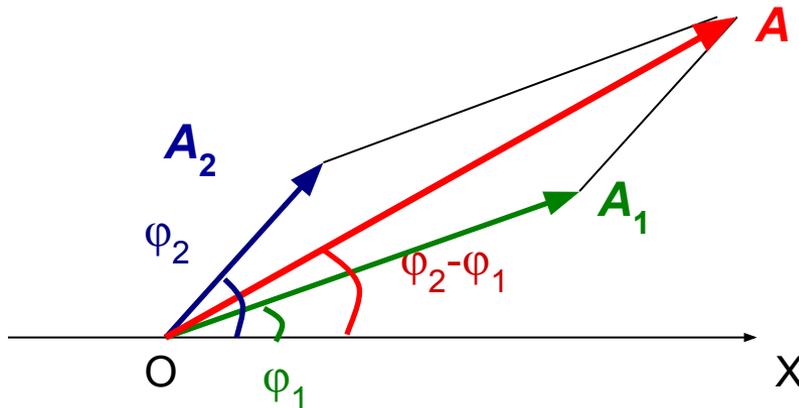


Интерференция белого света в тонких пленках

Две волны одинаковой ν ,
накладываясь, возбуждают в
некоторой точке пространства
колебания

$$E_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$
$$E_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Метод векторных диаграмм:



$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1)$$

Если $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$ постоянна во времени, волны называют **когерентными**.

Если волны **некогерентны**, то δ непрерывно меняется, принимая с равной вероятностью любые значения.

$$I \sim A^2 \rightarrow (1)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (2)$$

Частные случаи

☀ **некогерентные волны:**

δ меняется случайным образом с $\nu \sim \nu$ света видимого диапазона ($\sim 10^{15}$ Гц);

фотоприемник обладает инерционностью и усреднит значение $\cos (\langle \cos \delta \rangle = 0)$ и $I = I_1 + I_2 \rightarrow$ **сложение интенсивностей световых волн во всех точках пространства.**

☀ **когерентные волны ($\delta = \text{const}$):**

в зависимости от значения δ

либо увеличение интенсивности

$\cos \delta = +1$ (усиление)

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

либо уменьшение интенсивности

$\cos \delta = -1$ (ослабление)

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

Если $I_1 = I_2 = I_0$ при $\cos \delta = -1, \delta = (2k+1)\pi, I = 2I_0 - 2I_0 = 0$
 $\cos \delta = +1, \delta = 2k\pi, I = 2I_0 + 2I_0 = 4I_0$

Разделим волну на 2 →

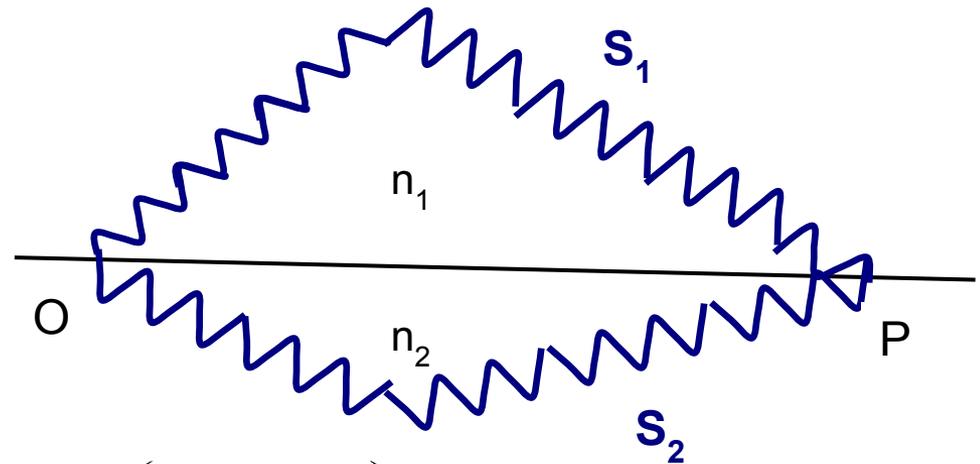
В т.О фаза колебаний ωt

В т.Р волны возбуждают колебания

$$A_1 \cos [\omega(t - S_1/v_1)]$$

$$A_2 \cos [\omega(t - S_2/v_2)]$$

δ возникает за счет различных путей, проходимых лучами.



$$\delta = \omega \left(\frac{S_2}{v_2} - \frac{S_1}{v_1} \right) = \frac{\omega}{c} (n_2 S_2 - n_1 S_1)$$

v_1 и v_2 – фазовая скорость волн, S_1 и S_2 – геометрический путь лучей

$$\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

λ_0 – длина волны в вакууме

$$\Delta = n_2 S_2 - n_1 S_1 = L_2 - L_1$$

Δ – **оптическая разность хода** или разность оптических длин путей, проходимых волнами

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

Для минимума ($\cos\delta = -1$):

$$\delta = (2k+1)\pi$$

*условие минимума при
интерференции
когерентных лучей*

$$\Delta = (2k+1) \frac{\lambda_0}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Для максимума ($\cos\delta = +1$):

$$\delta = 2k\pi$$

*условие максимума при
интерференции
когерентных лучей*

$$\Delta = 2k \frac{\lambda_0}{2}$$

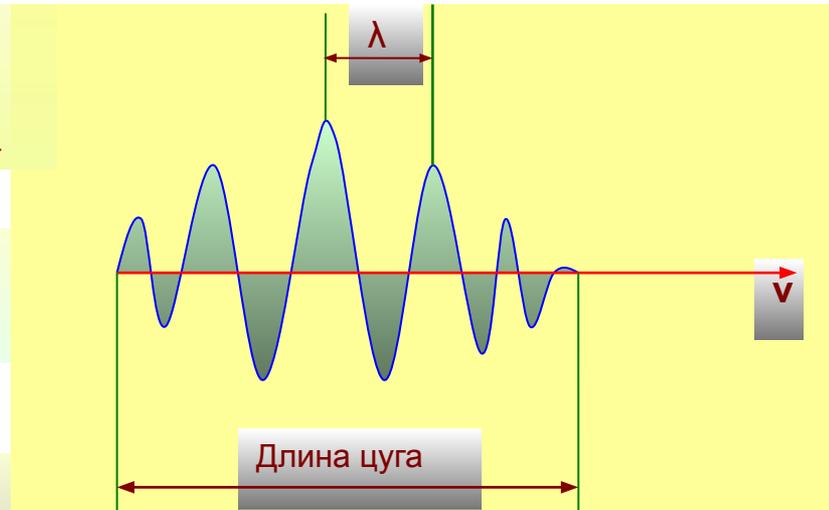
Когерентность источников света

Когерентность волн - согласованное протекание в пространстве и во времени нескольких колебательных процессов.

Атомы испускают цуги волн (волновой цуг – прерывистое излучение света атомами в виде коротких импульсов длительностью $\sim 10^{-8}$ с и протяженностью ~ 3 м).

В световой волне излучение группы атомов через $\sim 10^{-8}$ с сменяется излучением другой группы атомов (результатирующая фаза волны претерпевает случайные изменения).

$\Delta \sim 1$ м \rightarrow складываются колебания разных цугов и δ непрерывно меняется.



Δ не должна быть большой: **складываемые колебания должны принадлежать одному результирующему цугу волн.**

Время когерентности ($t_{\text{КОГ}}$) – время, за которое случайное изменение фазы волны достигает значения порядка π .

☀️ квазимонохроматический свет ($\Delta\lambda \ll \lambda$),
содержащий длины волн в $\Delta\lambda = 1$ нм, \rightarrow
 $t_{\text{КОГ}} \sim 10^{-12}$ с;
☀️ гелий-неоновый лазер дает излучение с
 $t_{\text{КОГ}} \sim 10^{-3}$ с.

За $t_{\text{КОГ}}$ колебание забывает свою первоначальную фазу и становится некогерентным по отношению к самому себе.

Длина когерентности или длина цуга ($l_{\text{КОГ}}$)

- расстояние на которое перемещается волна за $t_{\text{КОГ}}$

$$l_{\text{КОГ}} = c t_{\text{КОГ}}$$

Длина когерентности – расстояние, на котором случайное изменение фазы достигает $\sim\pi$.

Для получения интерференционной картины необходимо $\Delta < l_{\text{КОГ}}$.