

Введение в ЛАЗЕРЫ и НЕЛИНЕЙНУЮ ОПТИКУ

Головнин Илья Владимирович,

К.ф.-м.н, доцент

Кафедра Общей Физики и Волновых Процессов

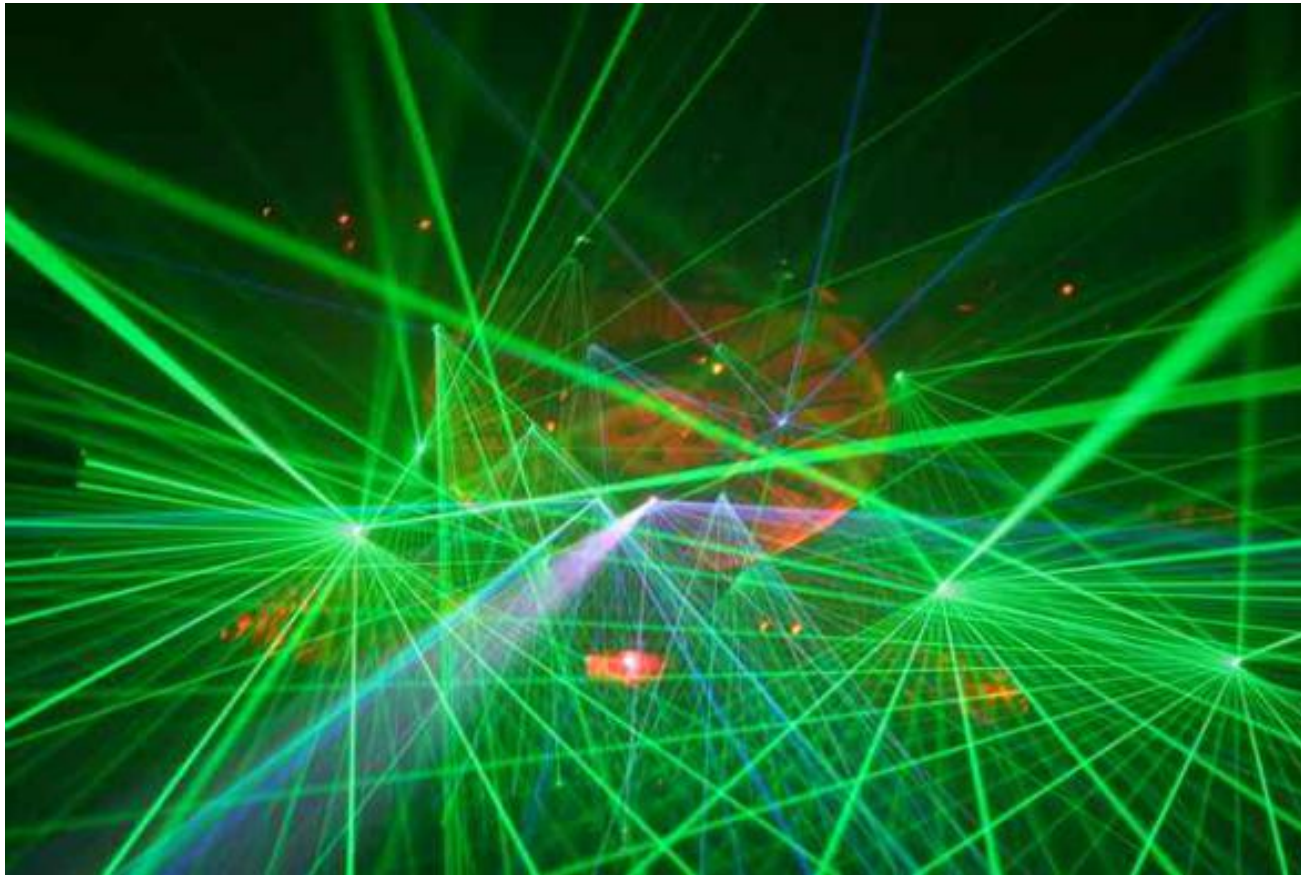
Физический факультет

МГУ имени М.В.Ломоносова

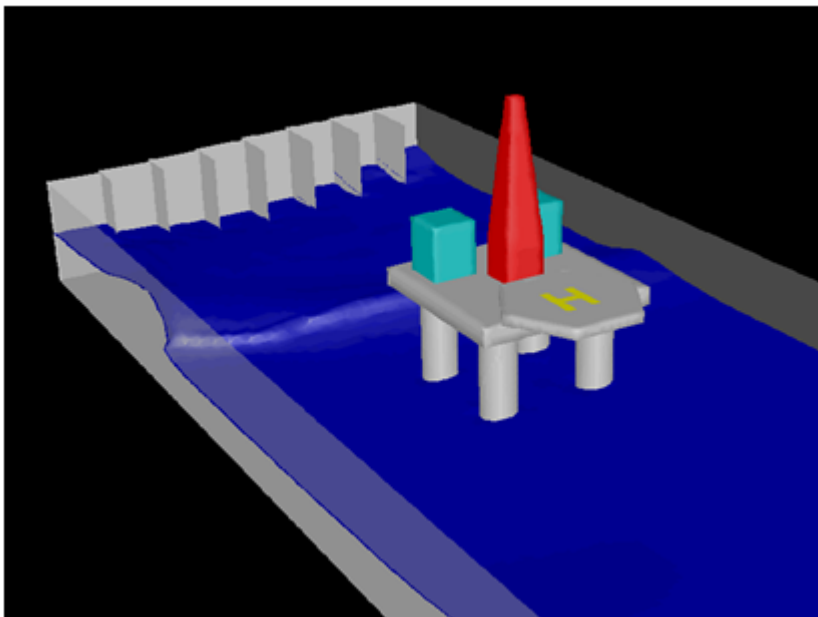
golovnin@gmail.com

Что такое свет?

Какие свойства у света?

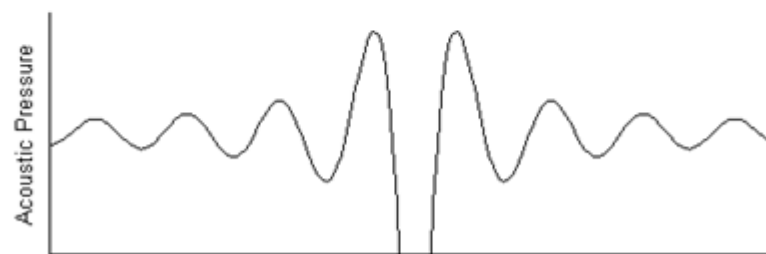
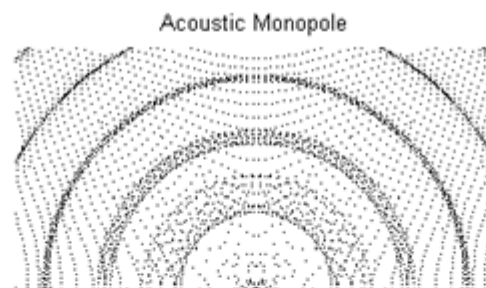


Волны



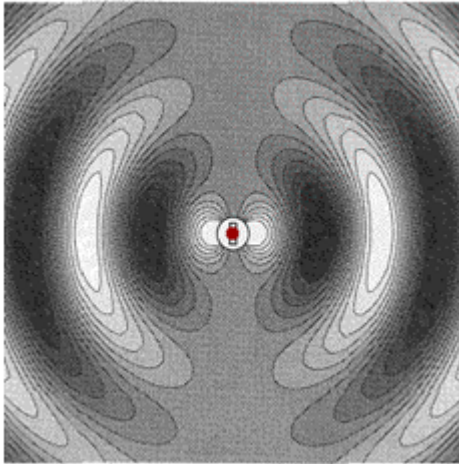
На воде

Звук



@ Ralph Muehleisen, 2006

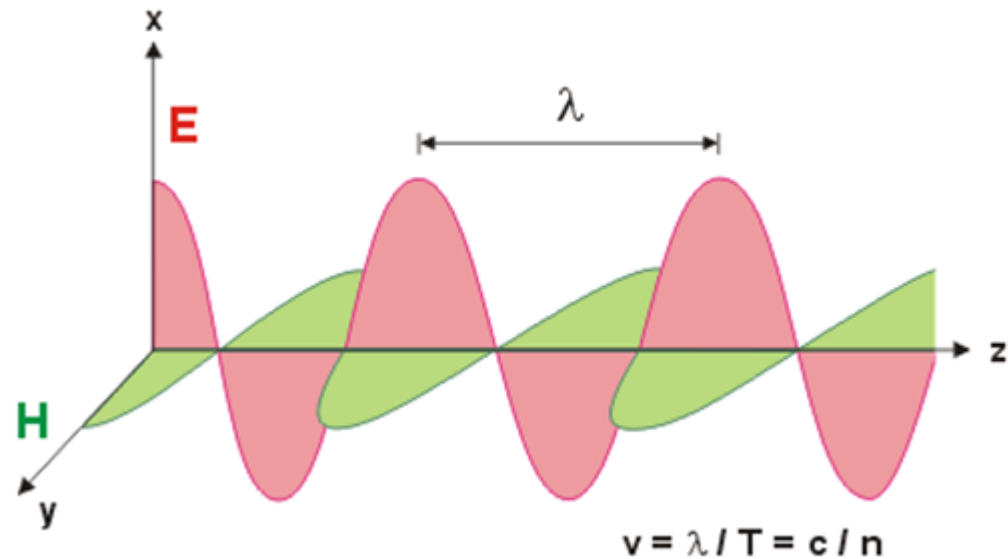
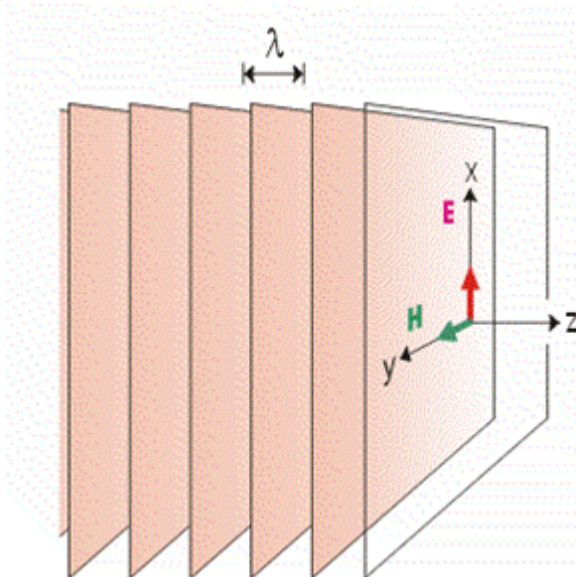
Свет – это электромагнитное излучение электромагнитные волны

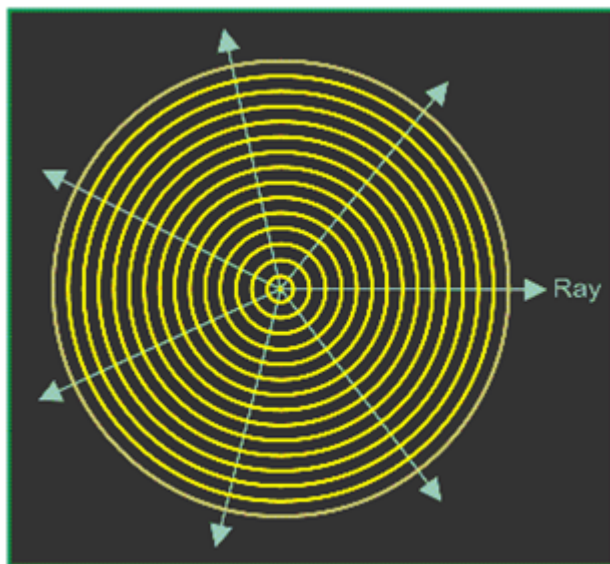


Осциллирующий заряд создает изменения электрического (и магнитного) поля. Эти колебания распространяются как электромагнитная волна в пространстве со скоростью света.

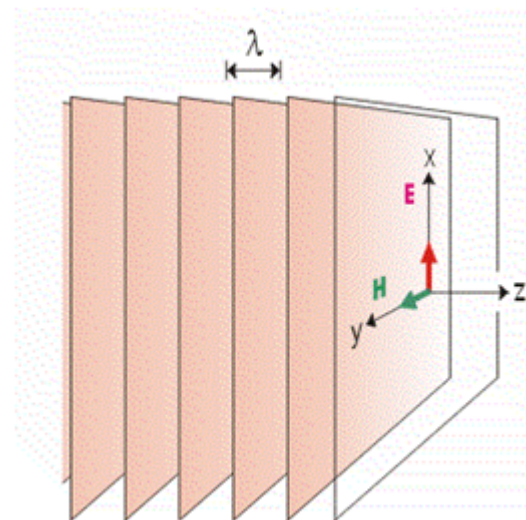
$$\mathbf{E} = E_0 \cos(\omega t - \beta z) \mathbf{a}_x \quad \text{и} \quad \mathbf{H} = H_0 \cos(\omega t - \beta z) \mathbf{a}_y$$

$$\mathbf{v} = c/n$$





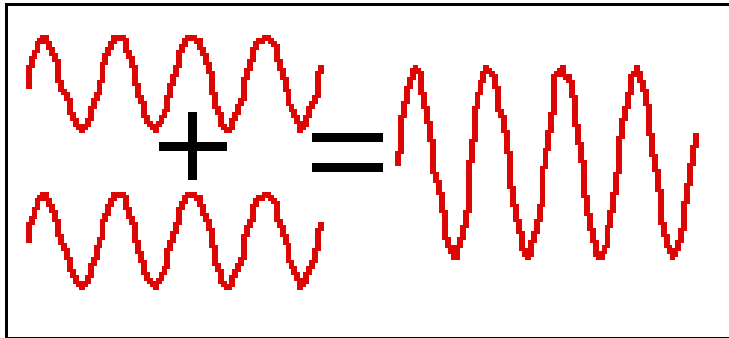
Сферический фронт



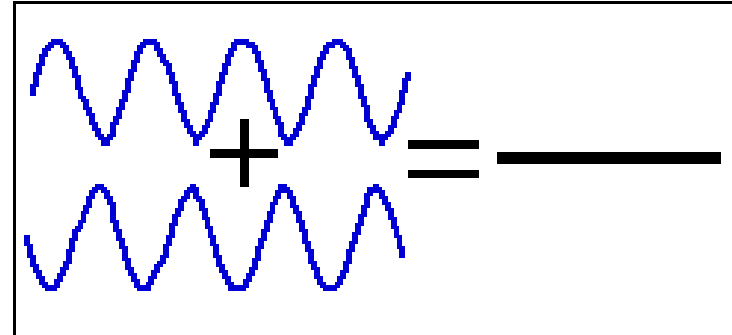
Плоский фронт

Интерференция электромагнитных волн

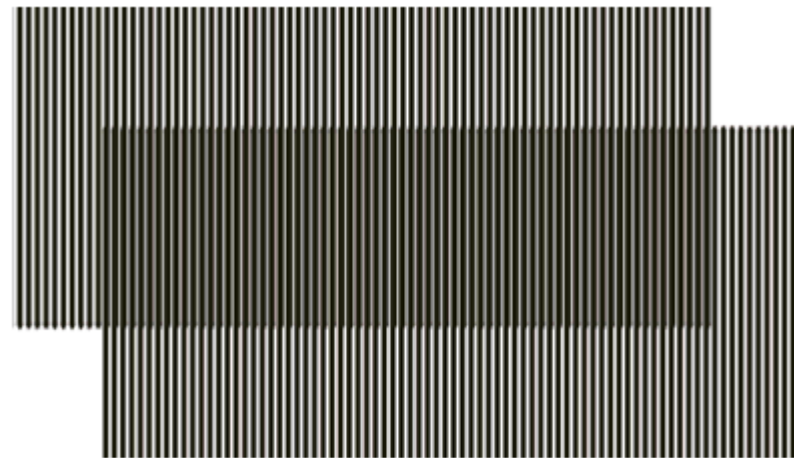
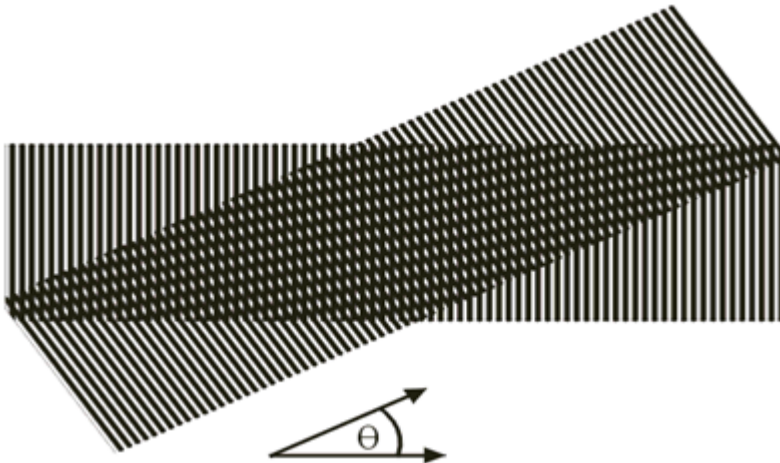
$$E(x,y,z,t) = E_1(x,y,z,t) + E_2(x,y,z,t) + E_3(x,y,z,t) + \dots$$



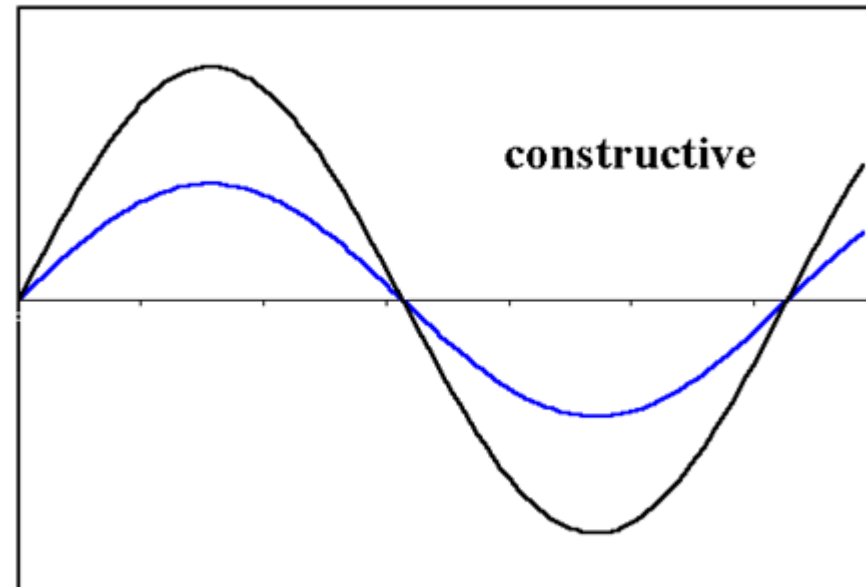
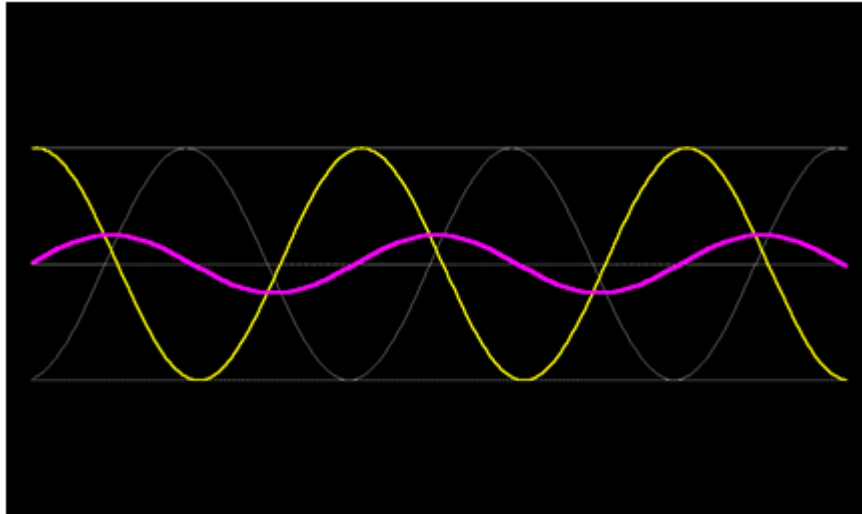
Конструктивная



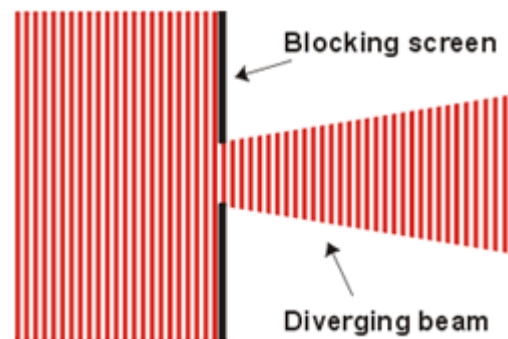
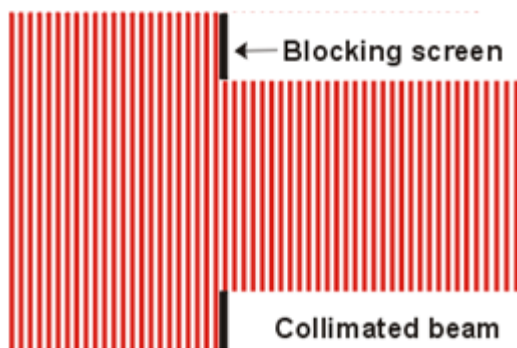
Деструктивная



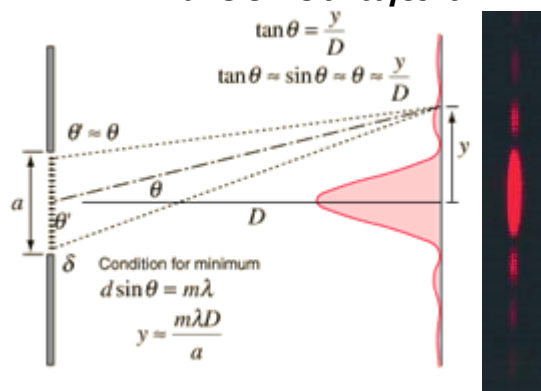
Интерференция



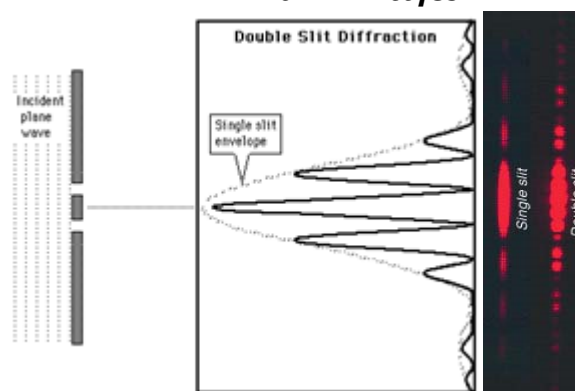
Дифракция



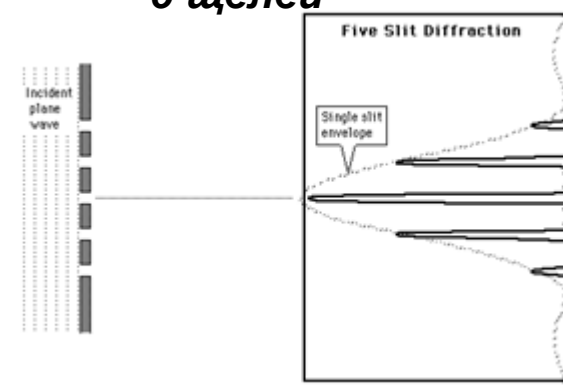
На одной щели



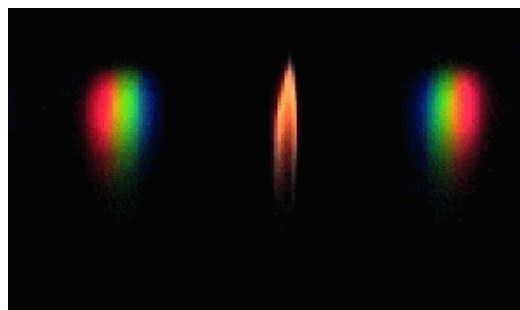
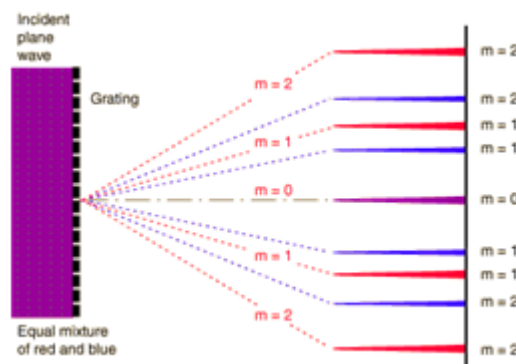
На 2-х щелях



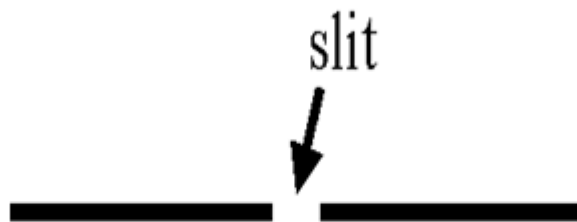
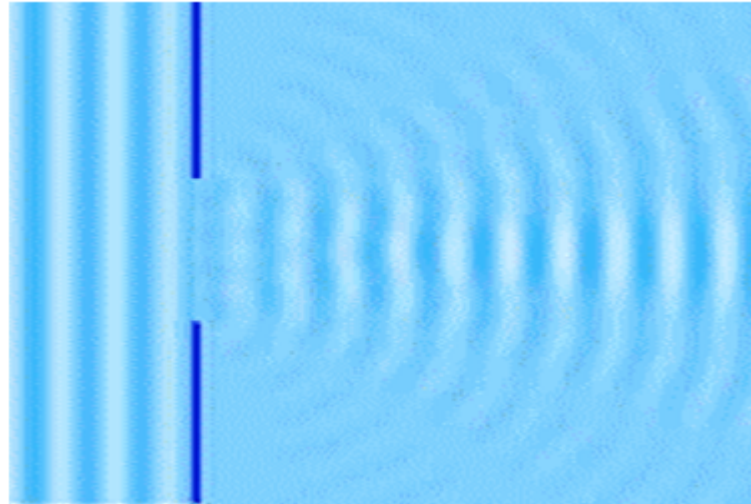
5 щелей



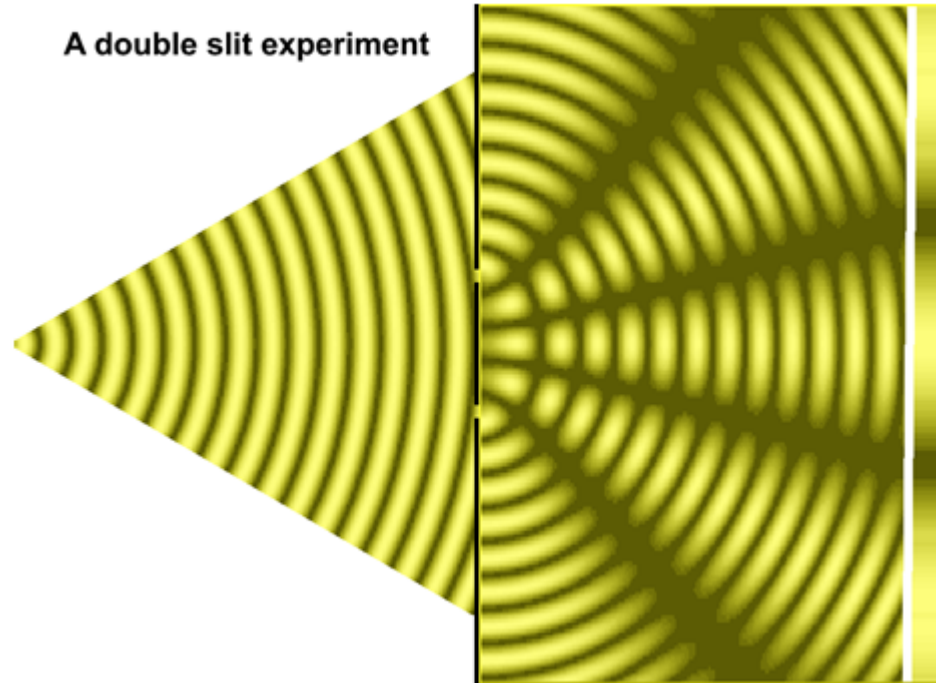
Дифракционная решетка



Дифракция

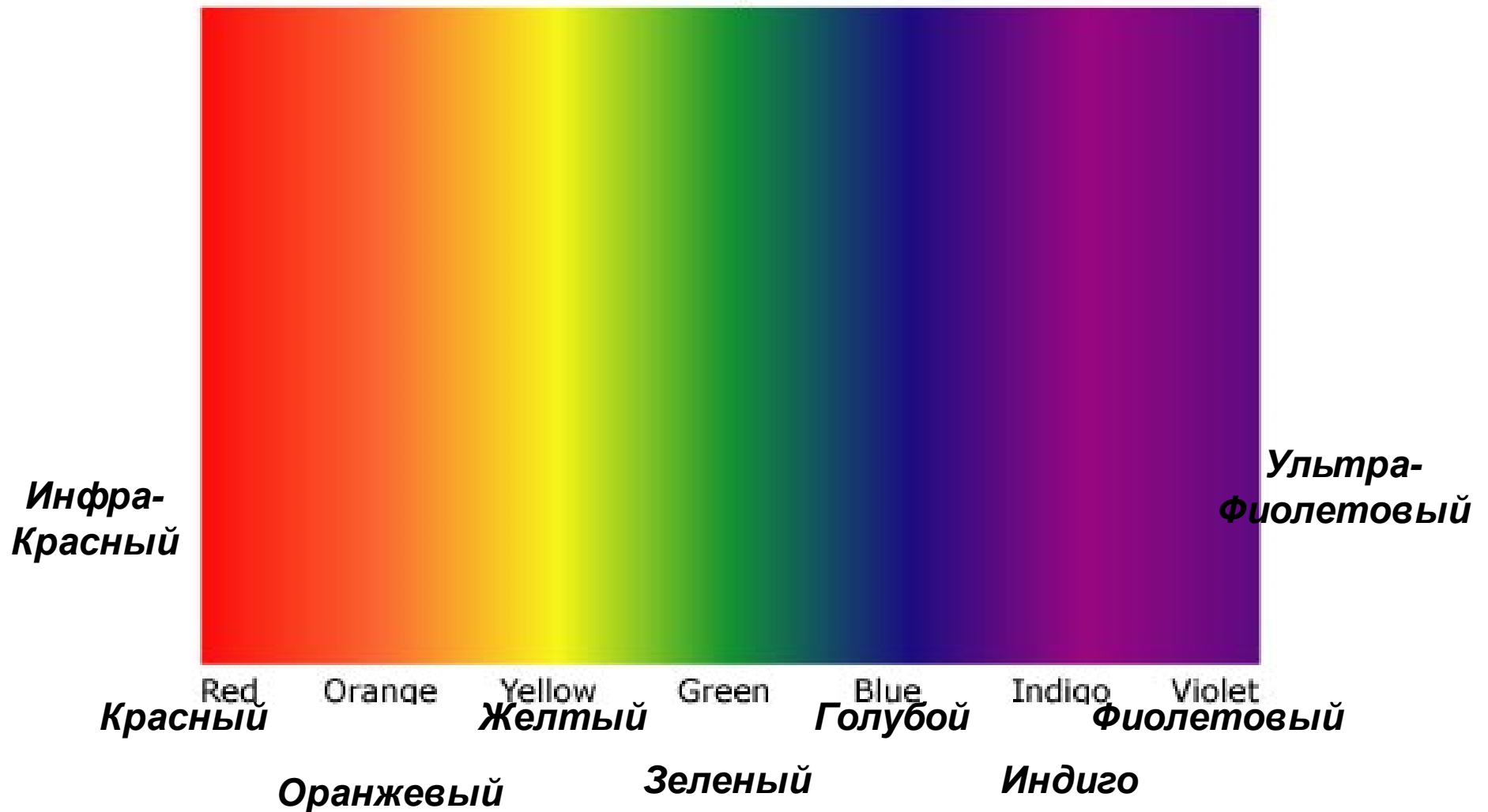


A double slit experiment

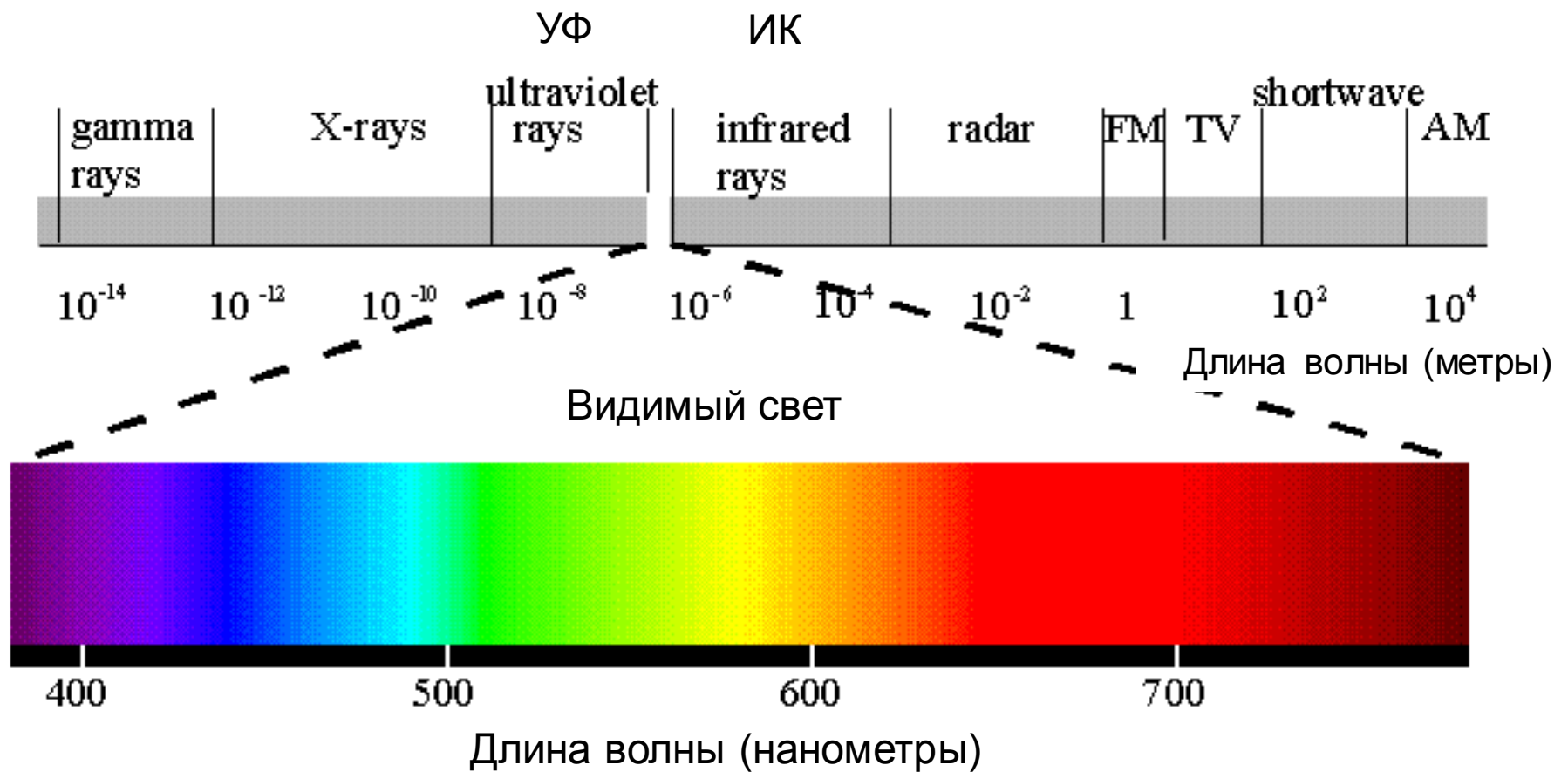


Какой свет мы видим?

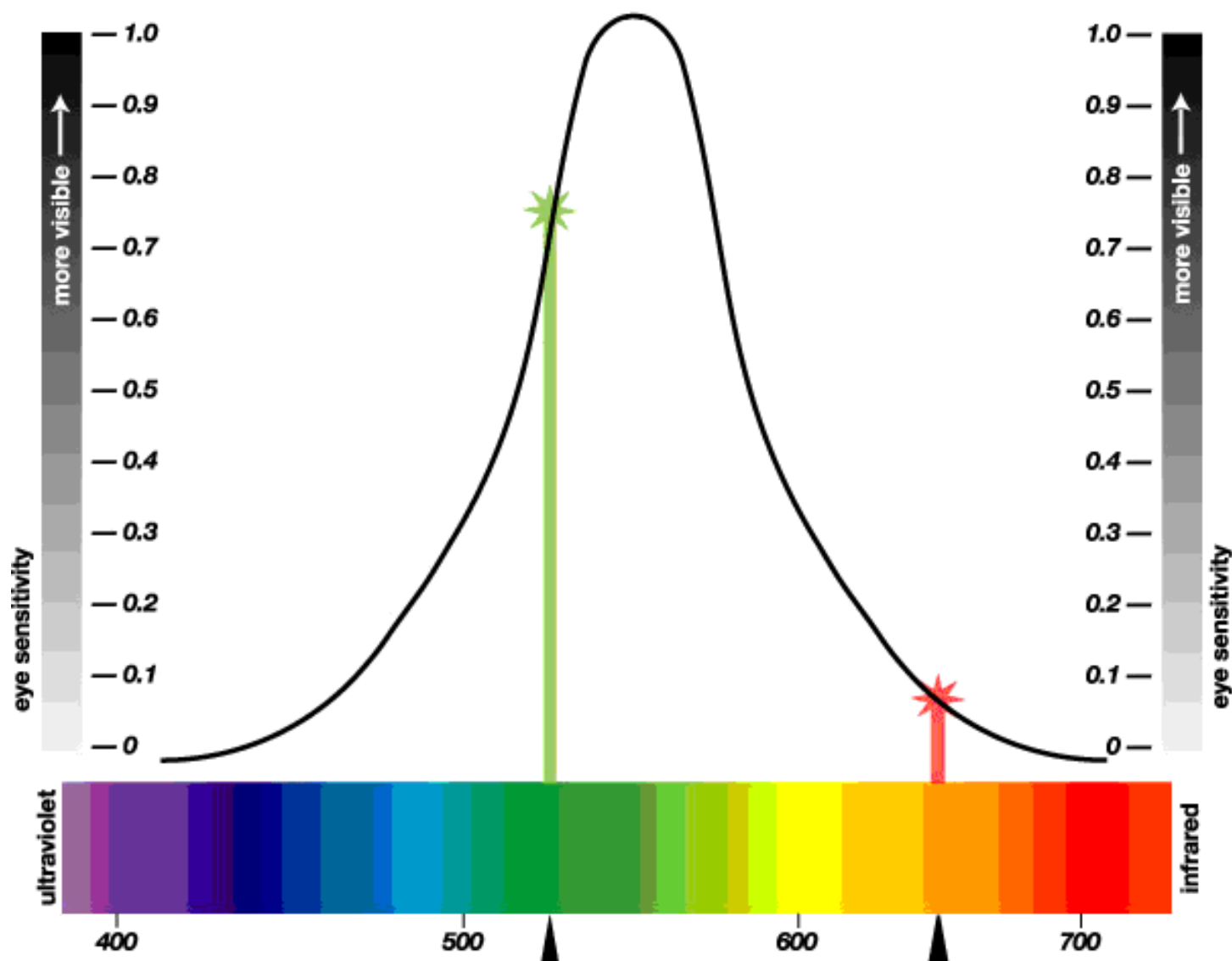
Visible Spectrum



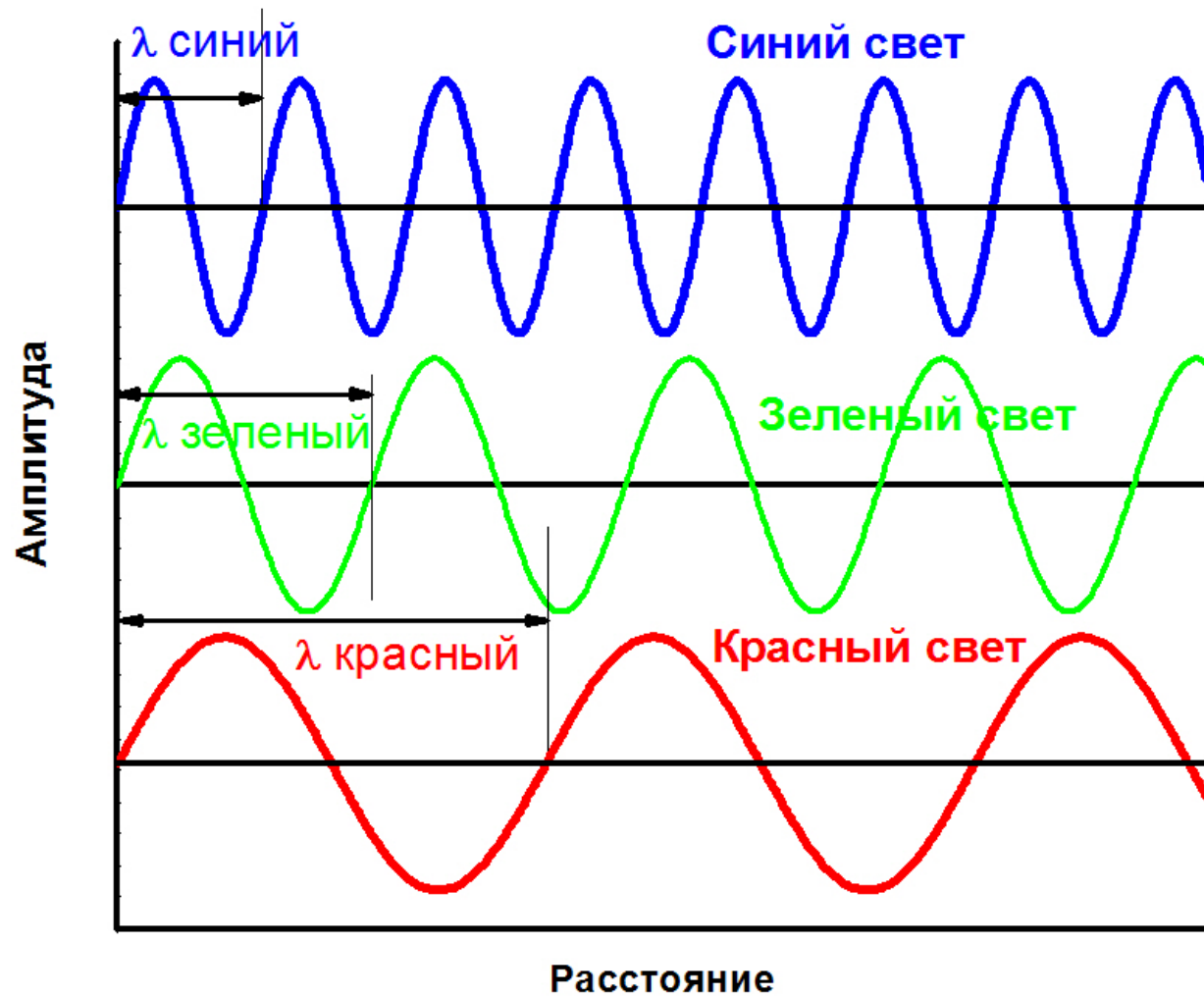
Видимая часть спектра



Чувствительность глаза



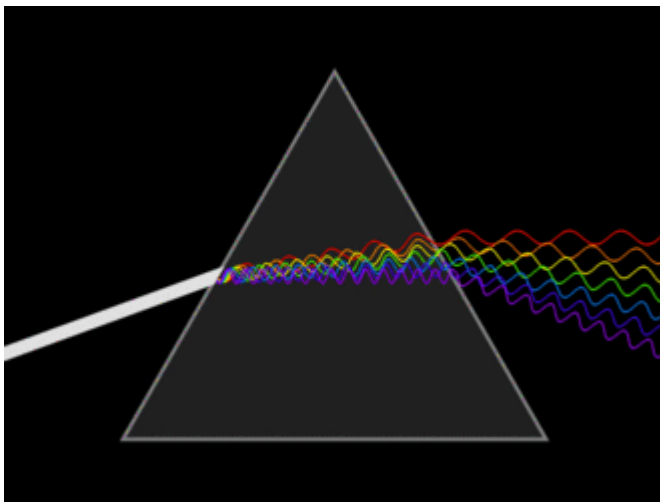
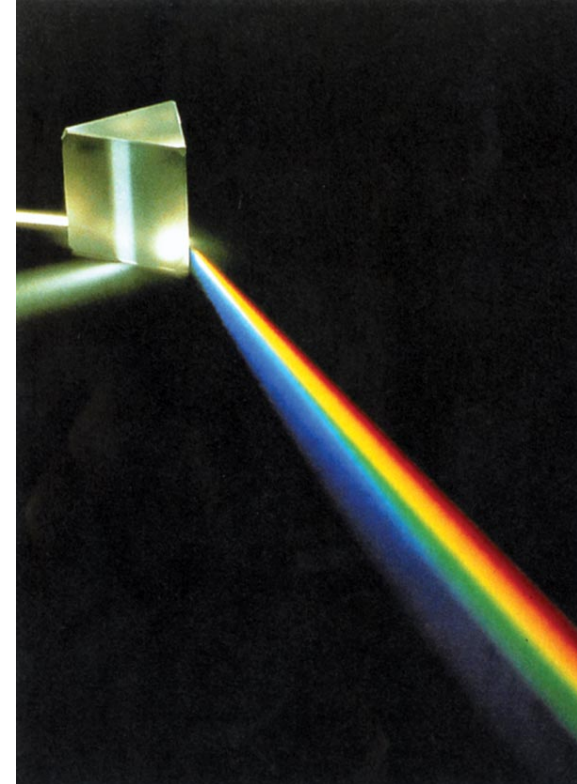
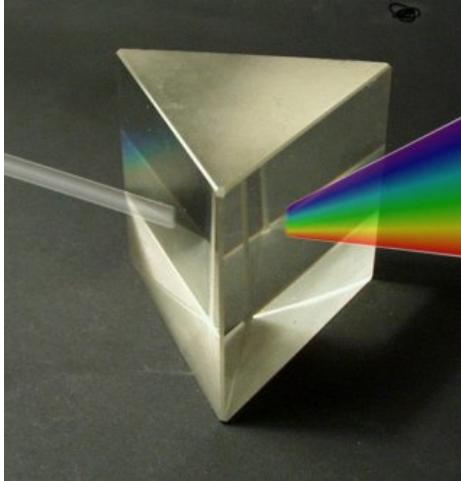
Длина волны, частота, цвет



Как проанализировать длину волны света?

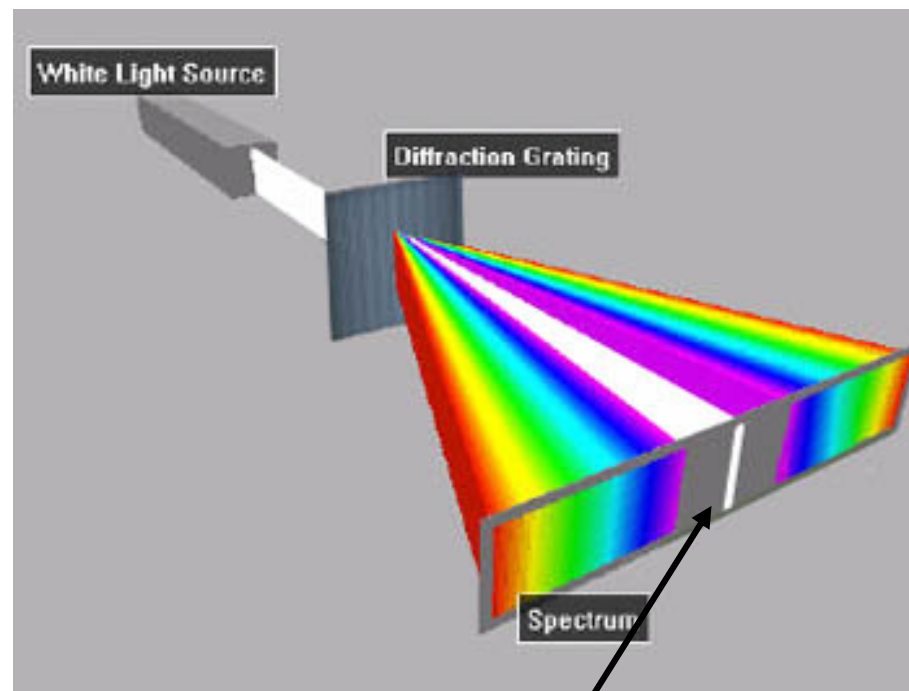
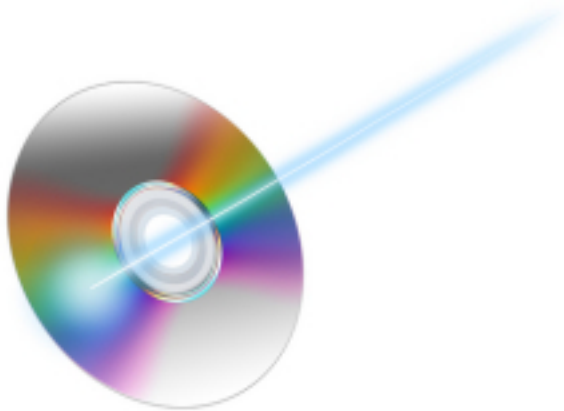
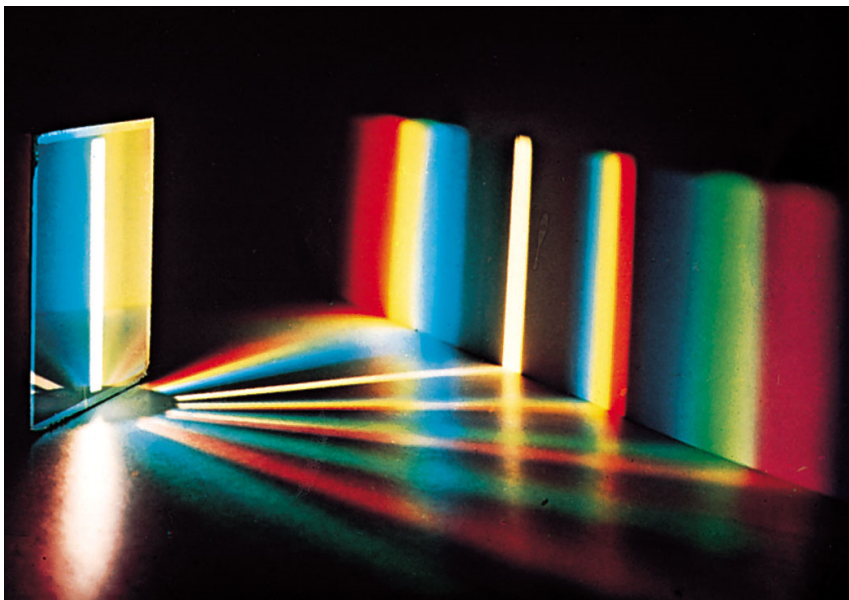


Призма



*Коэффициент преломления зависит
от частоты (или длины волны)*

Дифракционная решетка



**+ ПЗС линейка
=
спектрометр**



Спектрометр

Start



Integration time [ms]: 35

Average: 10

Wavelength [nm]: 579.066

01: amp=0 it=35 av=20 s=0 filters0001.trm: M-
02: amp=0 it=35 av=20 s=0 filters0002.trm: M-
03: amp=0 it=35 av=20 s=0 filters0003.trm: M-
04: amp=0 it=35 av=20 s=0 filters0004.trm: M-
05: amp=0 it=35 av=20 s=0 filters0005.trm: M-



Master

File: NEW0004.ROH

Amplitude: 0

Smoothing: 0

Spline: OFF

start



C:\AvaSoft7USB1\da...

avaspec75usb1

EN



18:56

Start



S A T I

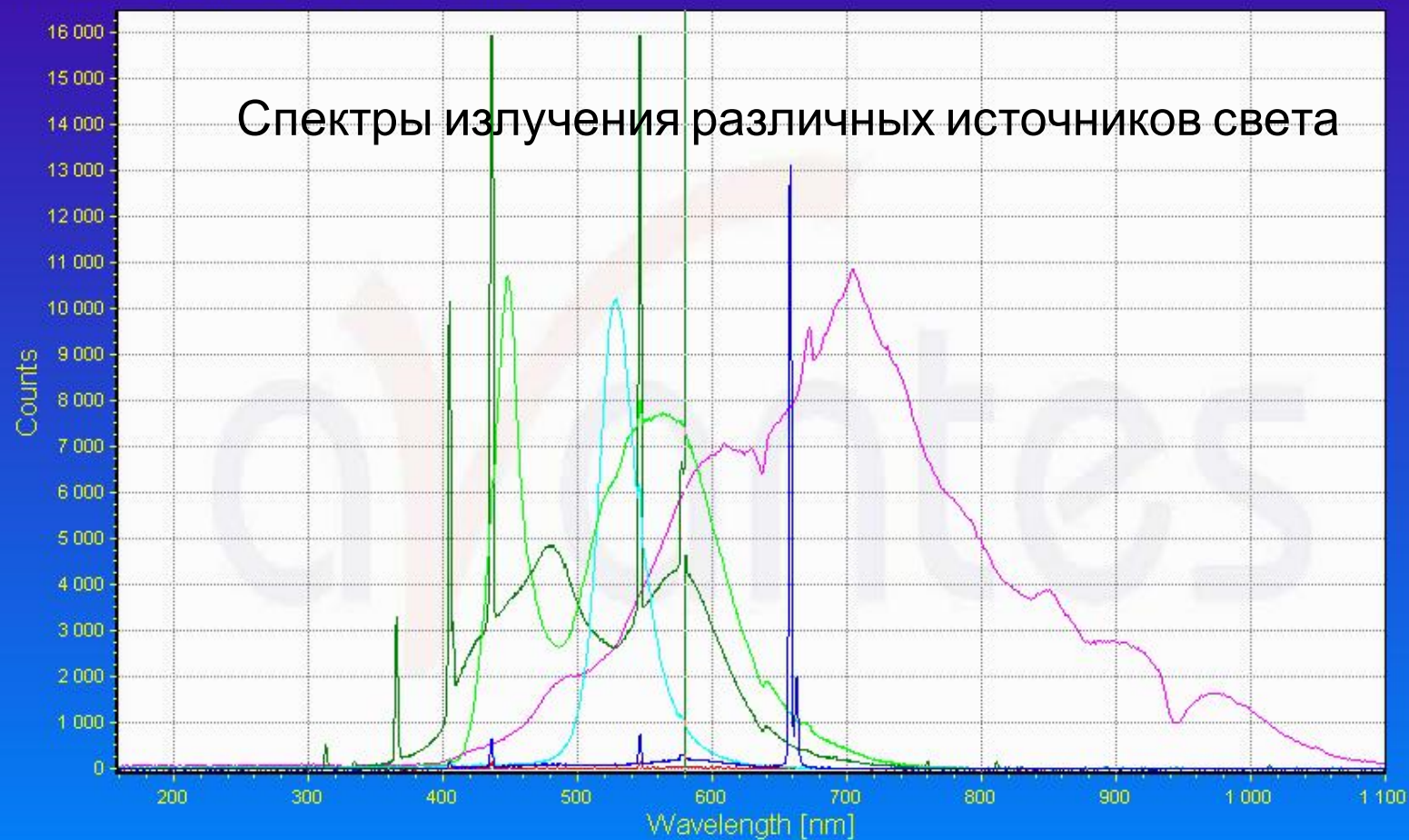


Integration time [ms]: 35

Average: 10

Wavelength [nm]: 579.066

01: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0001.roh: M-
02: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0002.roh: M-
03: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0003.roh: M-
04: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0004.roh: M-
05: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0005.roh: M-



Master

File: NEW0004.ROH

Amplitude: 62.200

Smoothing: 0

Spline: OFF

start

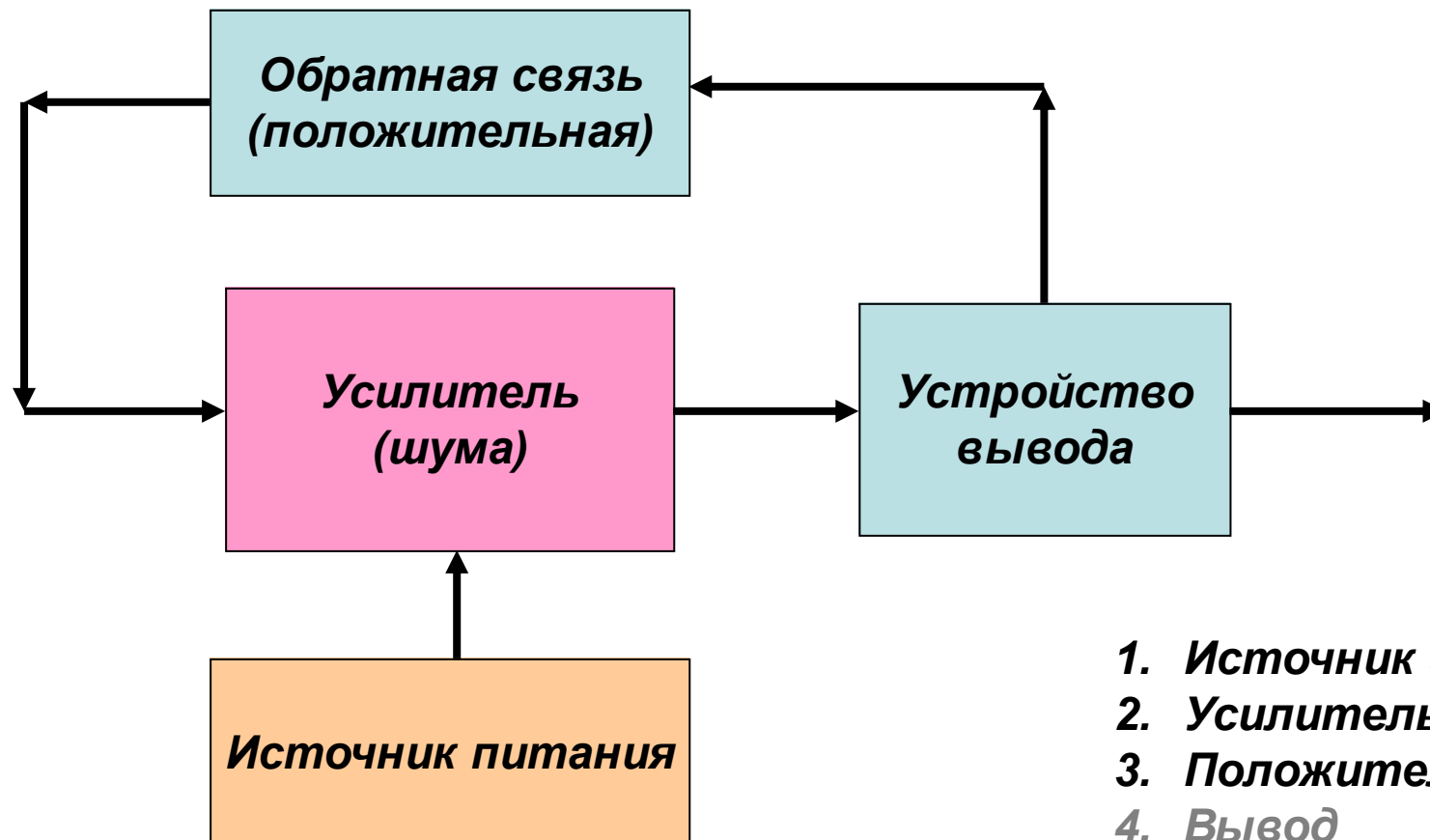


EN



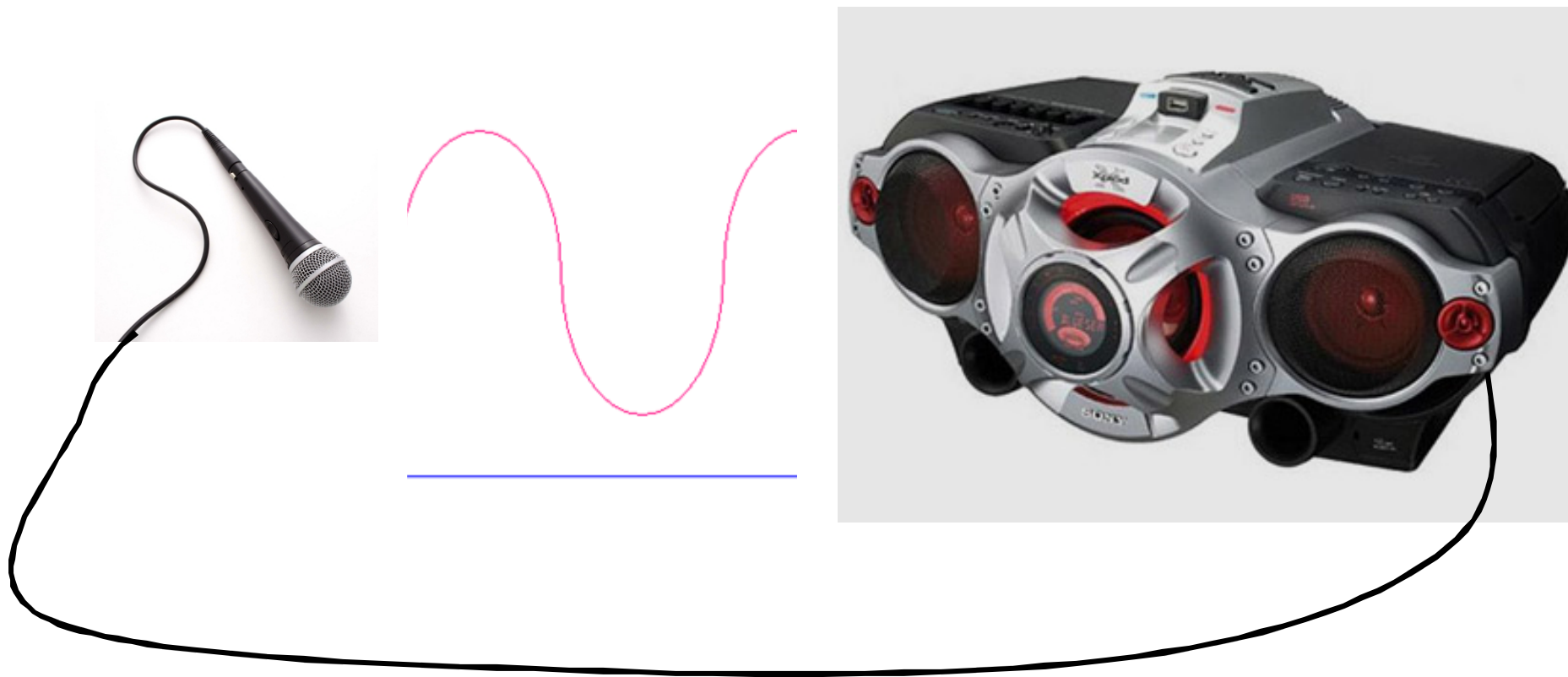
18:57

Что такое генератор? Как он работает?



Любой генератор работает по этой схеме

Примеры генераторов



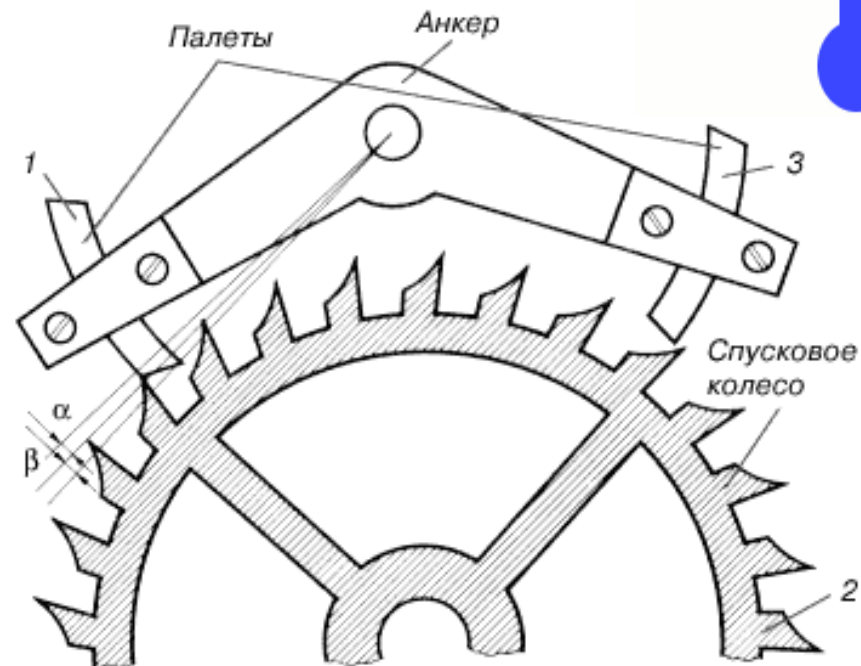
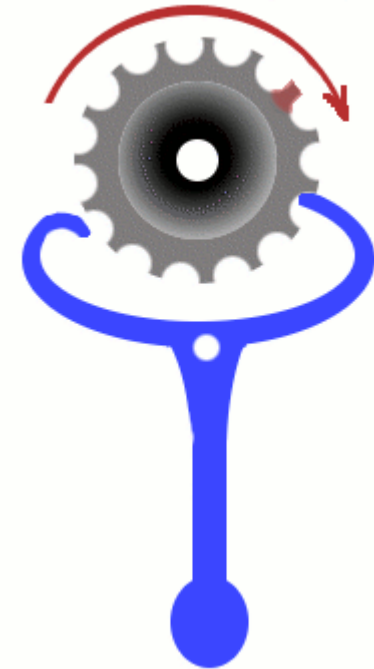
Включим запись → заработает микрофонный усилитель

Засвистит!

Примеры генераторов



Rotational Force From Weight or Spring



Чтобы создать ЛАЗЕР нам нужно:

Источник энергии

Усилитель света

Положительная обратная связь

Уровни энергии

Модель атома (Н. Бор, 1913)

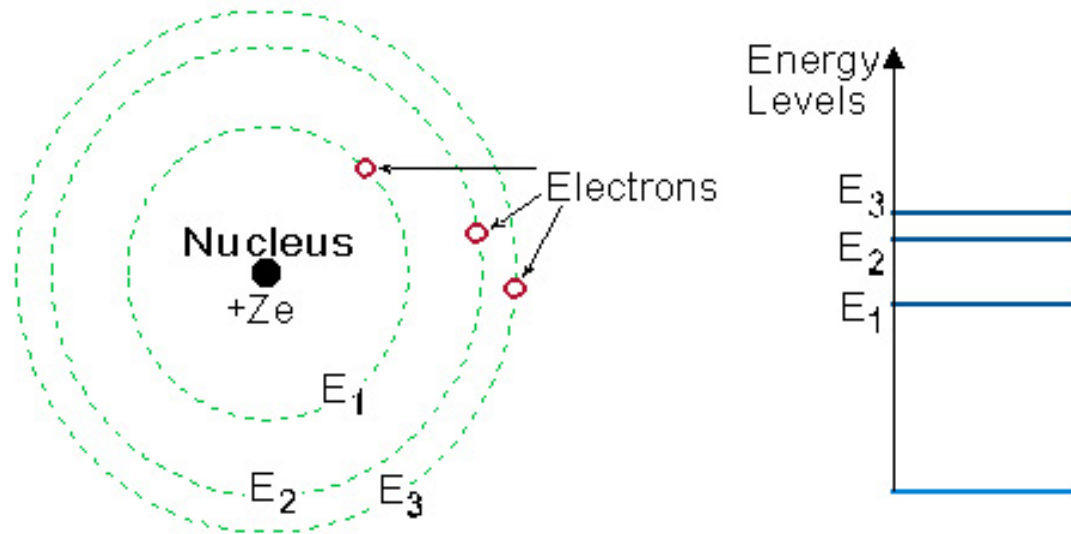
Лазерное излучение это процесс происходящий в веществе.

Вещество состоит из атомов и нужно понимать структуру атома и его энергетические состояния.

Согласно этой модели атом состоит из очень массивного ядра с положительным зарядом (**Ze**) и электронов, которые движутся по определенным траекториям.

Z = Количество протонов в ядре,

e = Элементарный заряд электрона: **$e = 1.6 \times 10^{-19}$ Кл**



Каждая «**дозволенная орбита**» электрона вокруг ядра связана с определенным **энергетическим уровнем**.

Энергия растет с увеличением дистанции от ядра.

Так как атом содержит только «**разрешенные орбиты**», существуют только **определенные уровни энергий** для электронов **E_1 , E_2 , E_3 , и .т.д.**

Уровни энергии

У каждого атома своя собственная структура уровней энергии.

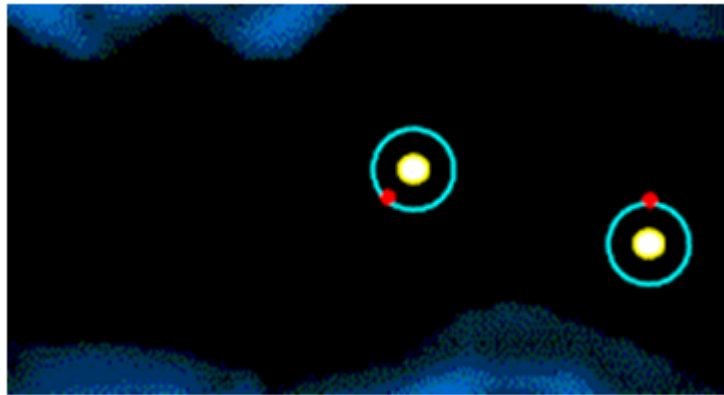
Самое низкий уровень называется **основным уровнем**. Это самый предпочтительный для атома уровень.

Если атом получает энергию (электрическую, оптическую и любую другую), то эта энергия переходит к электрону и повышает его уровень. Это состояние называется **возбужденным состоянием**.

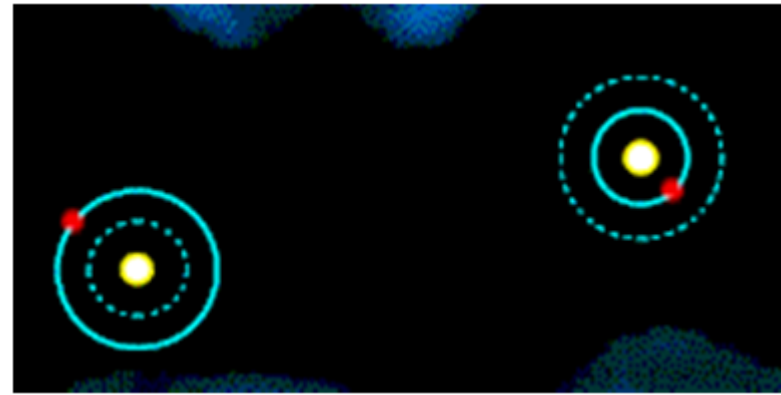
Электрон может «перепрыгнуть» из одного уровня энергии на другой, если получит определенное количество энергии.

Это **определенное количество энергии** определяется **разностью** между уровнями энергиями электрона.

Перенос энергии от атома к атому

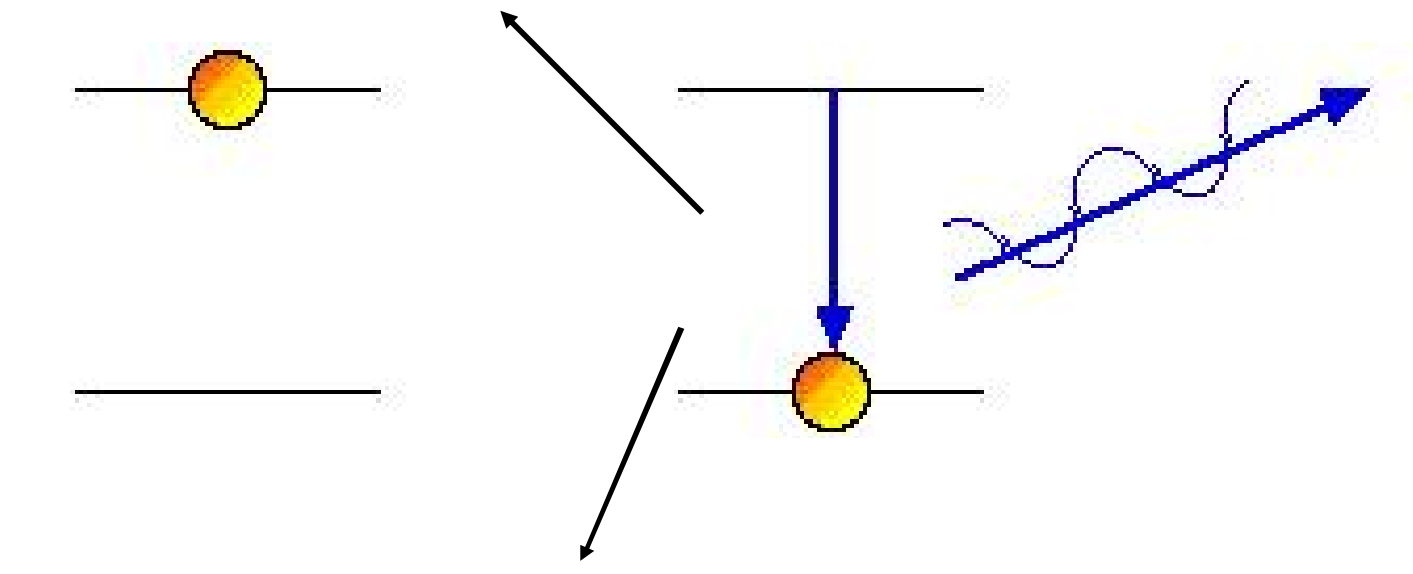


Столкновение атомов



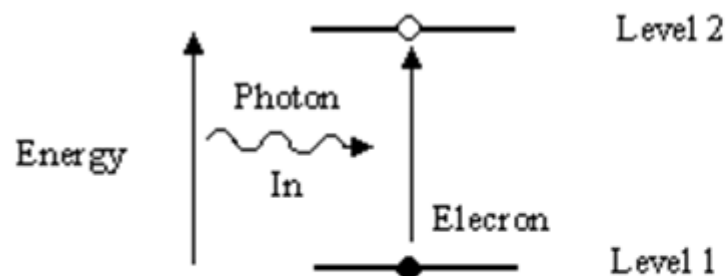
Поглощение и излучение электромагнитного излучения

Спонтанные переходы

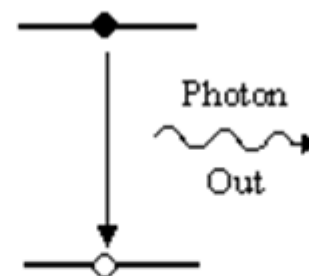


Нет выделенного направления излучения

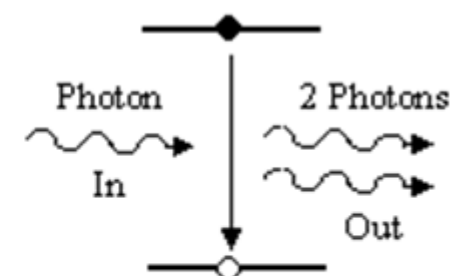
Стимулированные переходы



Поглощение



**Спонтанное
излучение**



**Стимулированное
излучение**



Атом находится в возбужденном состоянии очень короткое время (10^{-8} с) и старается вернуться в основное состояние за счет спонтанных переходов.

Но существуют достаточно долгоживущие уровни – метастабильные ($10^{-4} \dots 10^{-3}$ с).

Мы получили УСИЛИТЕЛЬ света!

Но на какой-то определенной длине волны

Нам нужно:

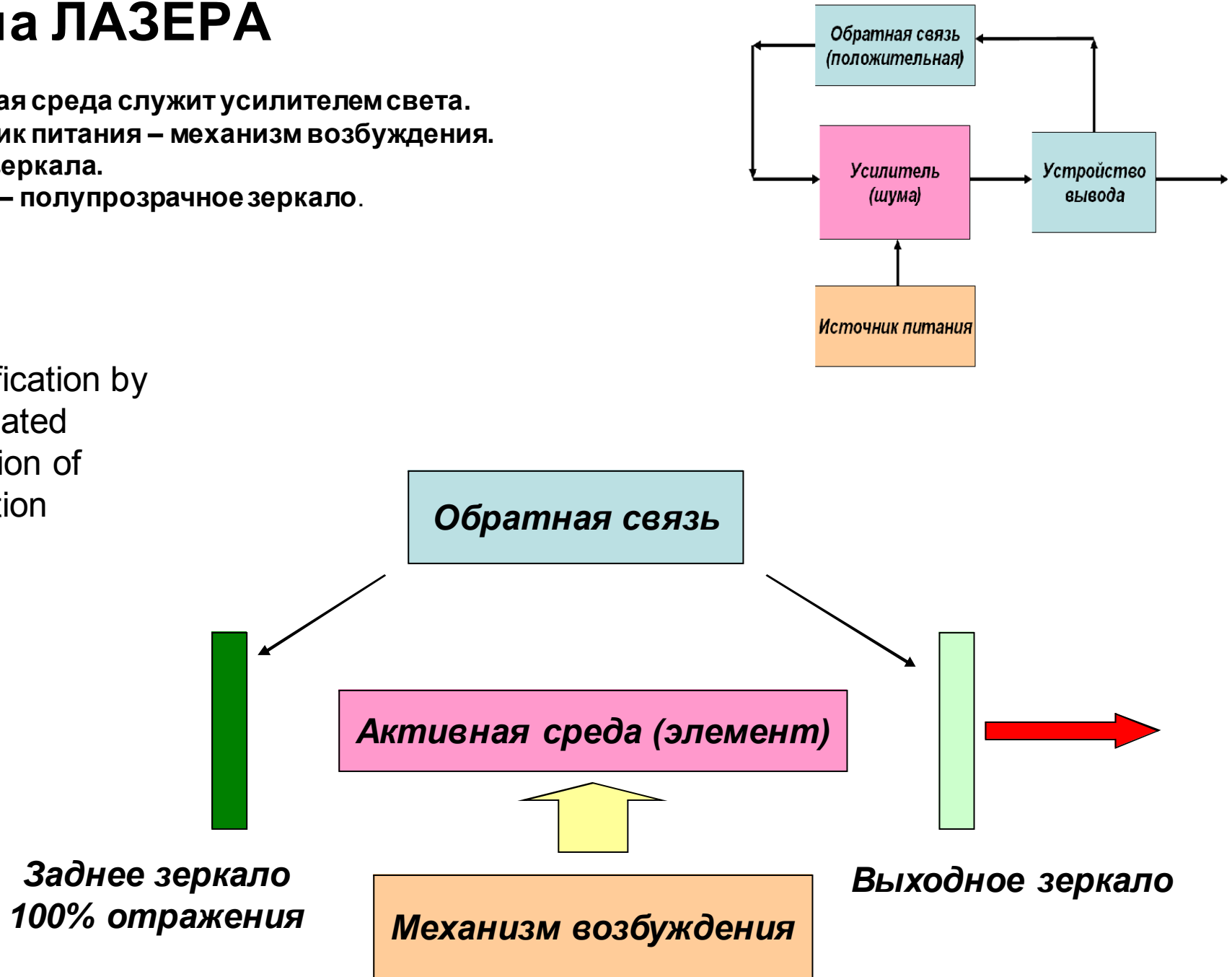
Источник энергии и

Положительная обратная связь

Схема ЛАЗЕРА

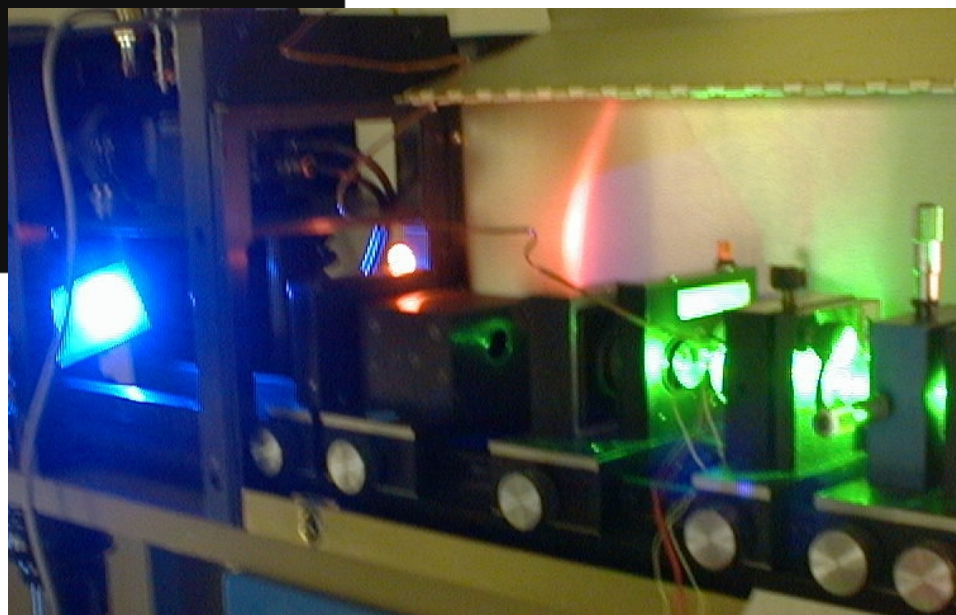
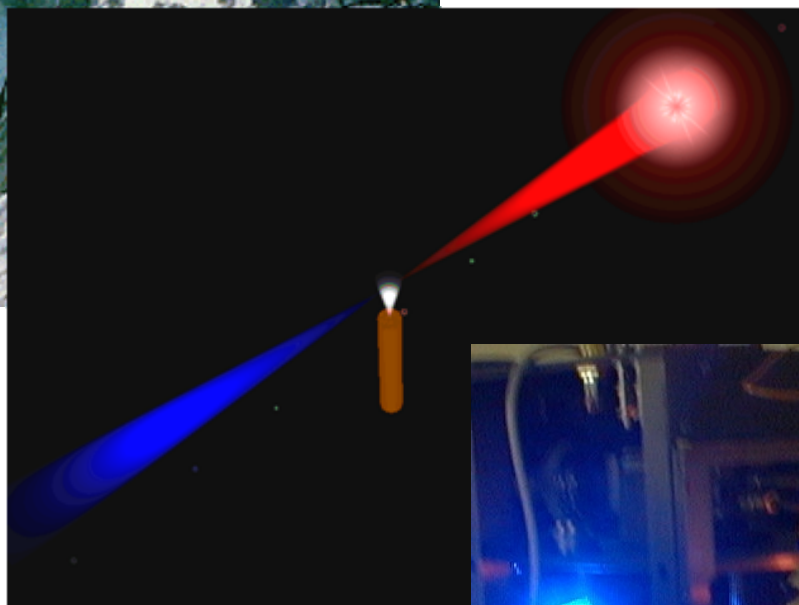
1. Активная среда служит усилителем света.
2. Источник питания – механизм возбуждения.
3. ПОС – зеркала.
4. Вывод – полупрозрачное зеркало.

Light
Amplification by
Stimulated
Emission of
Radiation



Демонстрация лазеров

Нелинейная оптика



Что такое линейная оптика?

И почему она называется
ЛИНЕЙНОЙ?

Линейная оптика

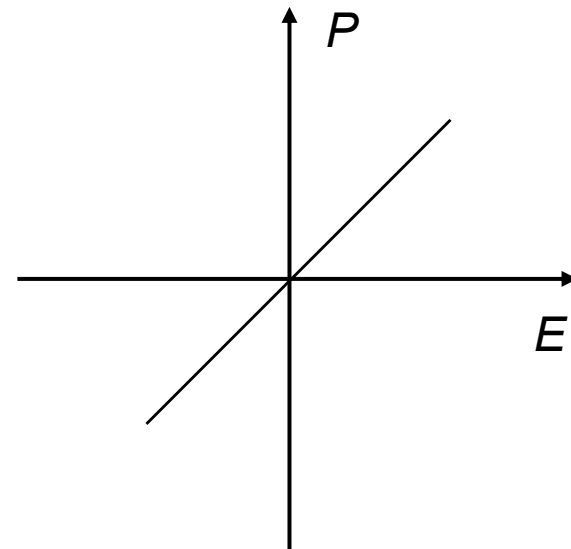
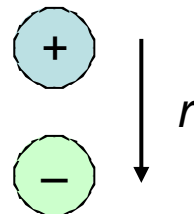
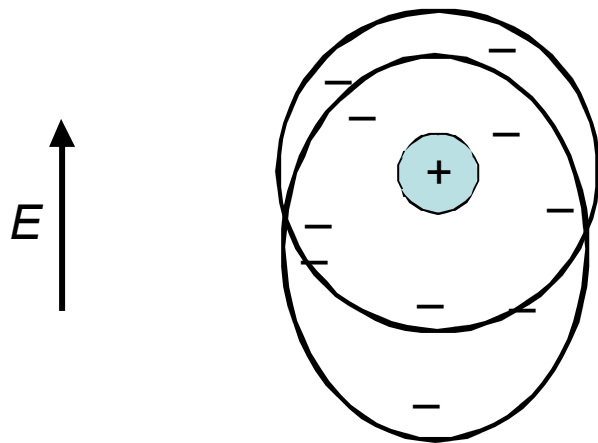
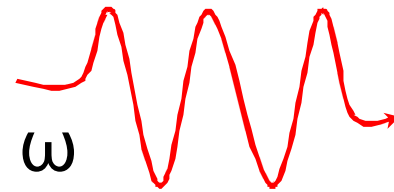
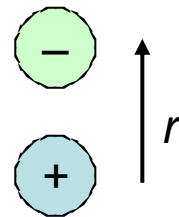
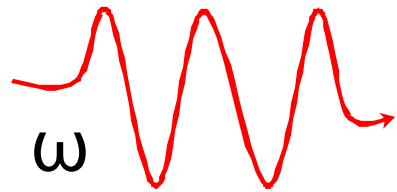
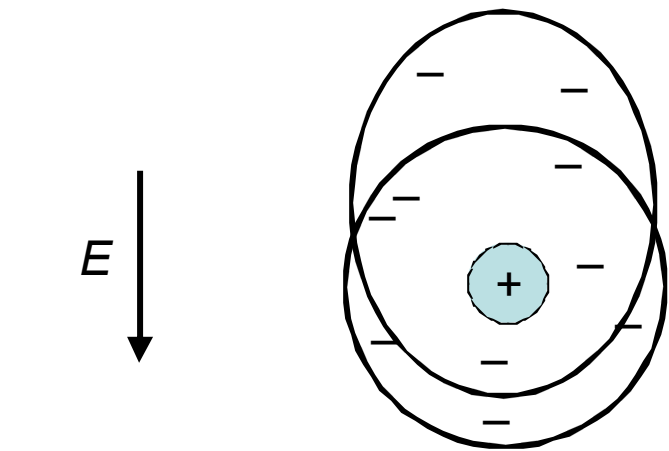
**Из чего состоит
вещество?**

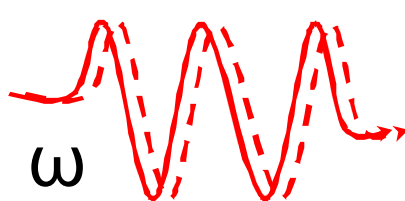
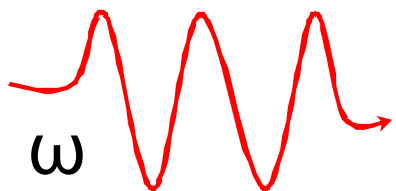
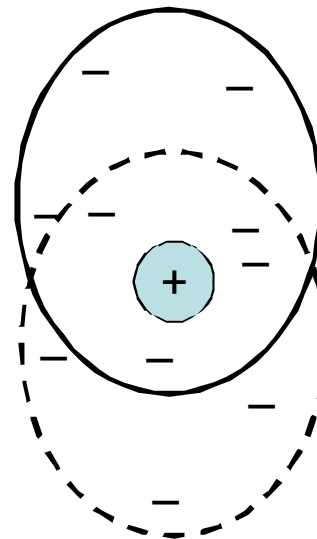
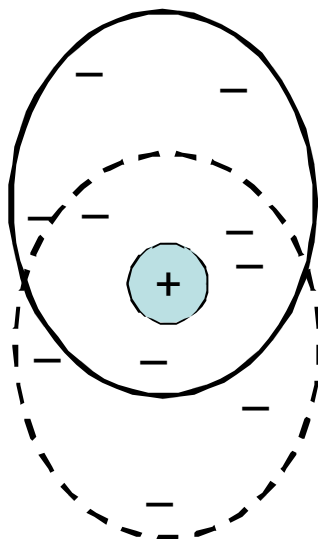
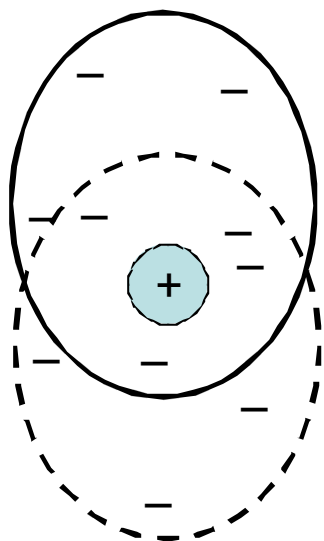
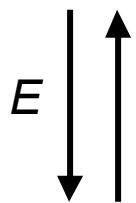
$$d = e \times r$$

$$P \sim e \times r \times N$$

$$r \sim E$$

$$P \sim a \times E$$

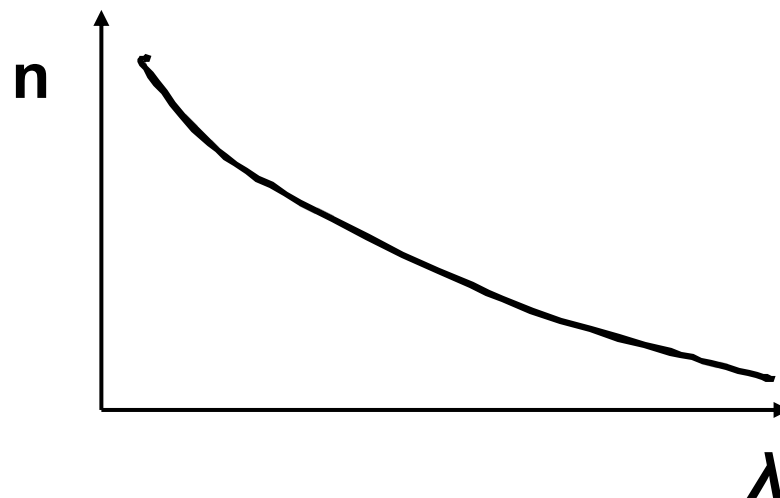




$$v < c$$

$$v = c/n$$

$$n = n(\omega) = n(\lambda)$$

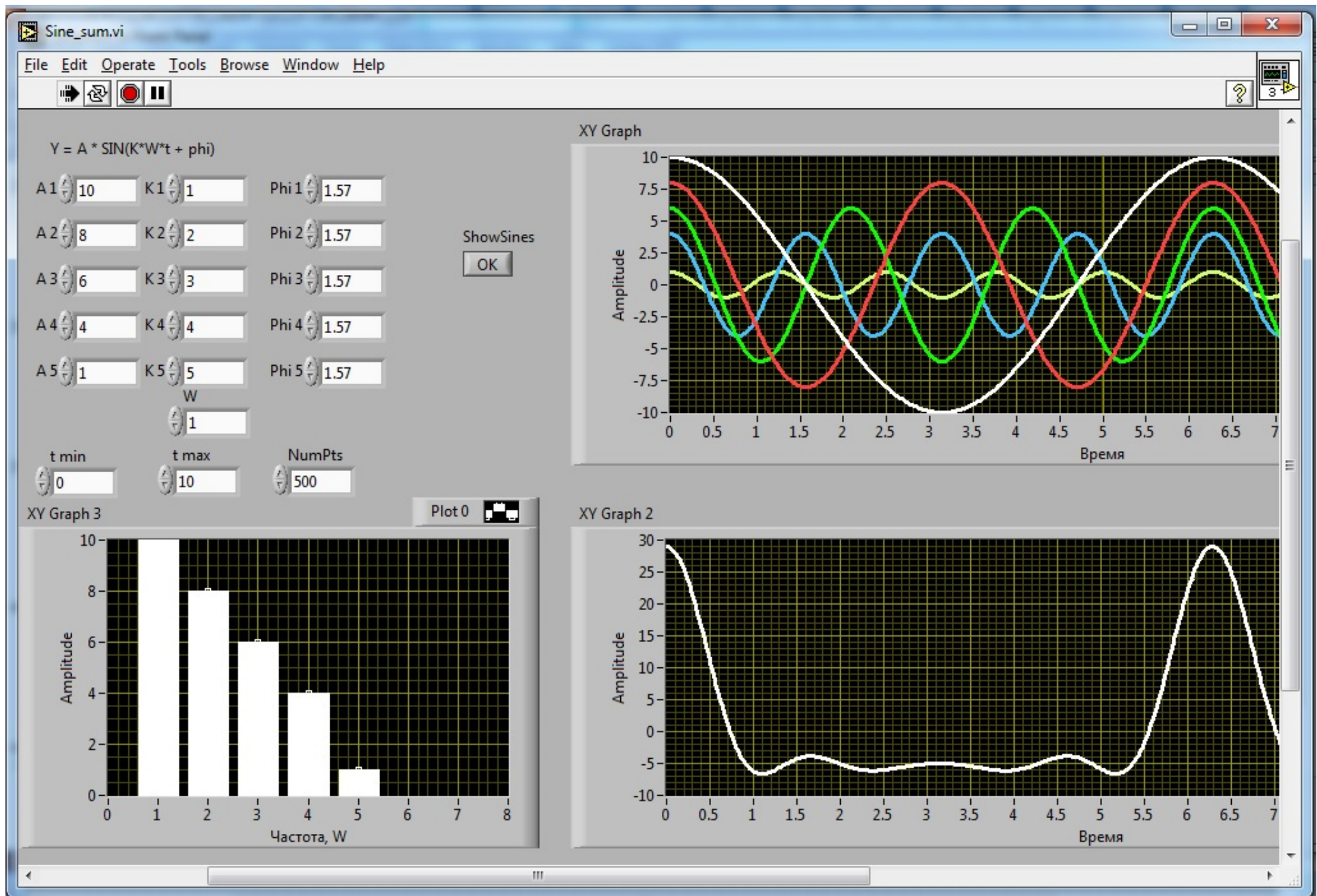


Сложение гармонических колебаний

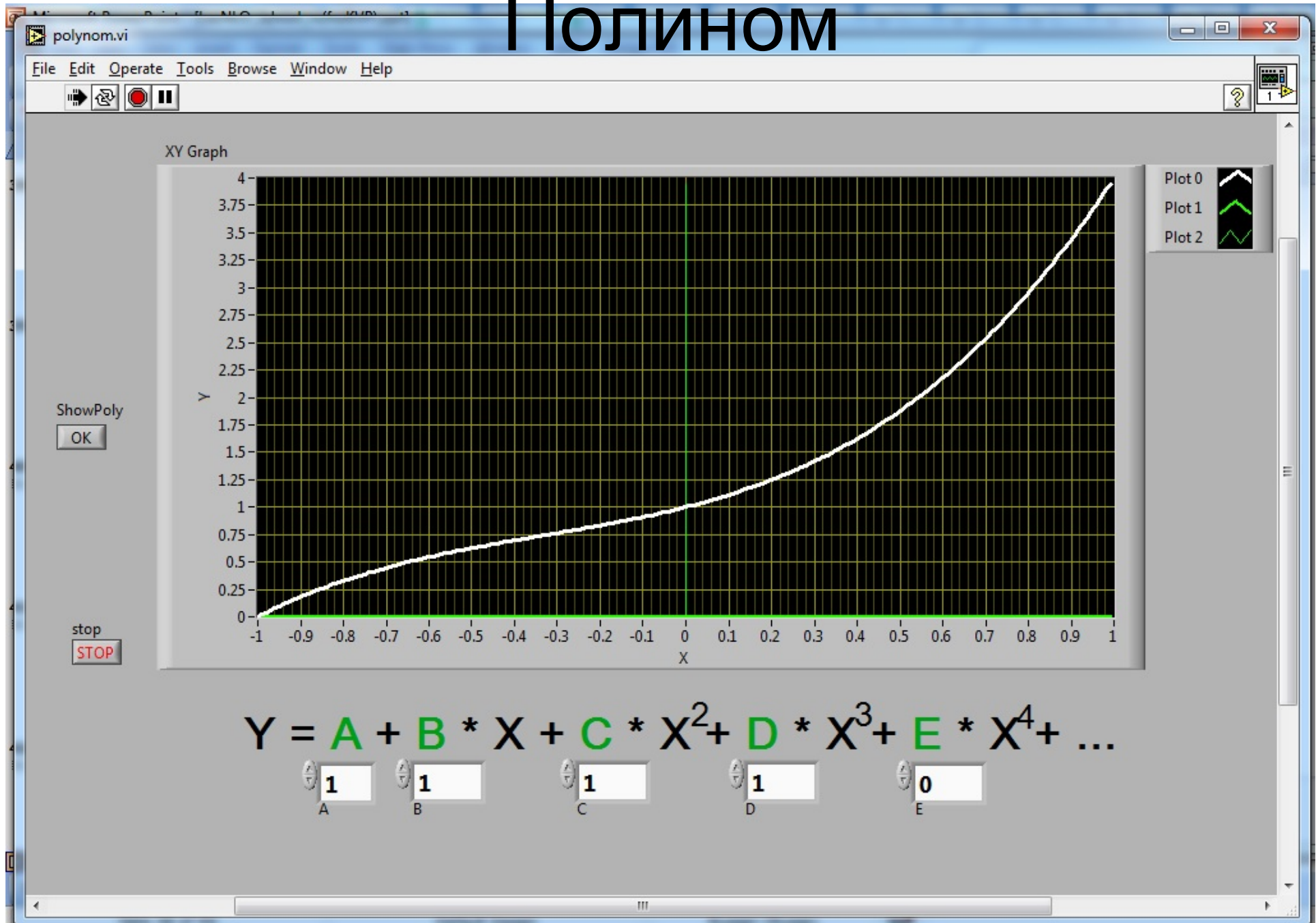
Фурье-преобразование.

Время $\rightarrow$ Частота

Частота $\rightarrow$ Время



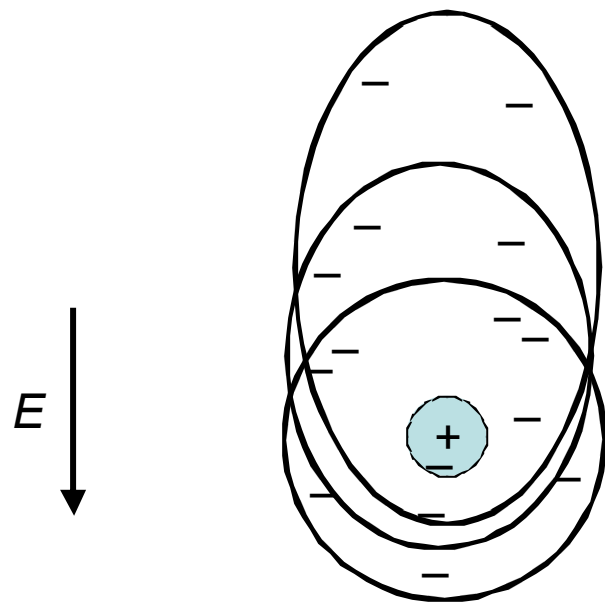
Полином



Нелинейная оптика

Дипольный момент

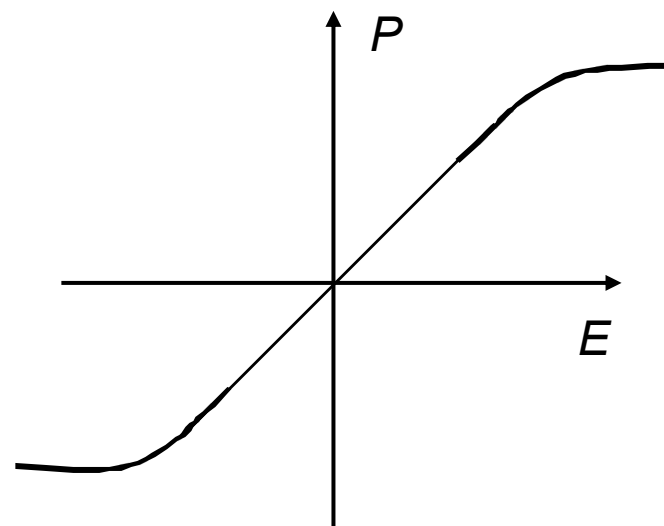
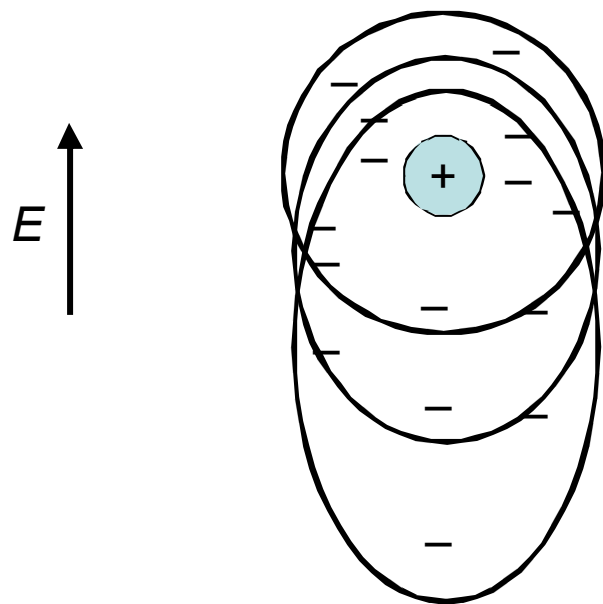
Переизлучение



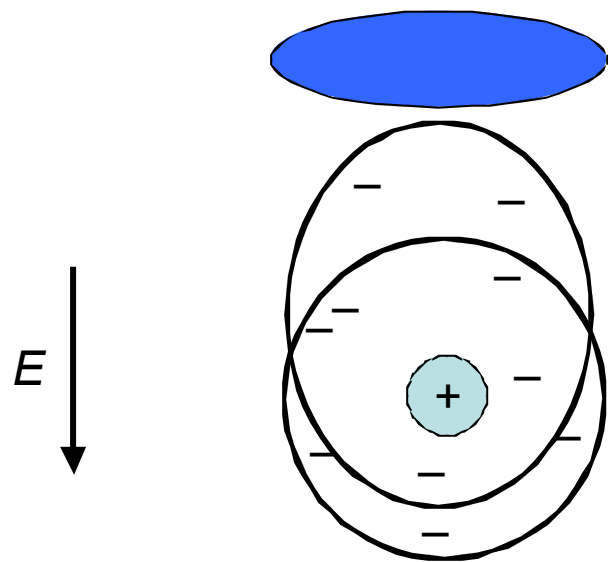
$P = a \times E$ – линейная зависимость

$P \neq a \times E$
Нелинейная зависимость

$$P = aE + bE^3 + cE^5 + dE^7 + \dots$$

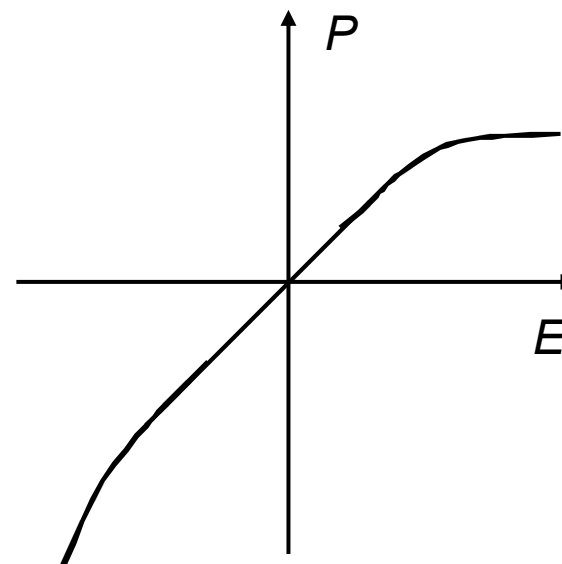
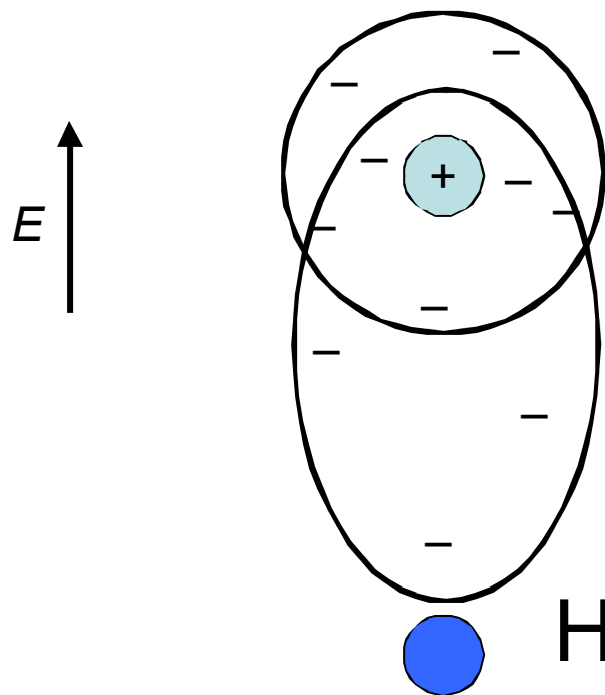


Центросимметричная среда



$P \neq a \times E$
Нелинейная зависимость

$$P = aE + bE^2 + cE^3 + dE^4 + \dots$$



● Нецентросимметричная среда

$$P = aE + bE^2 + cE^3 + dE^4 + \dots$$

$$E = A \cos(\omega t)$$

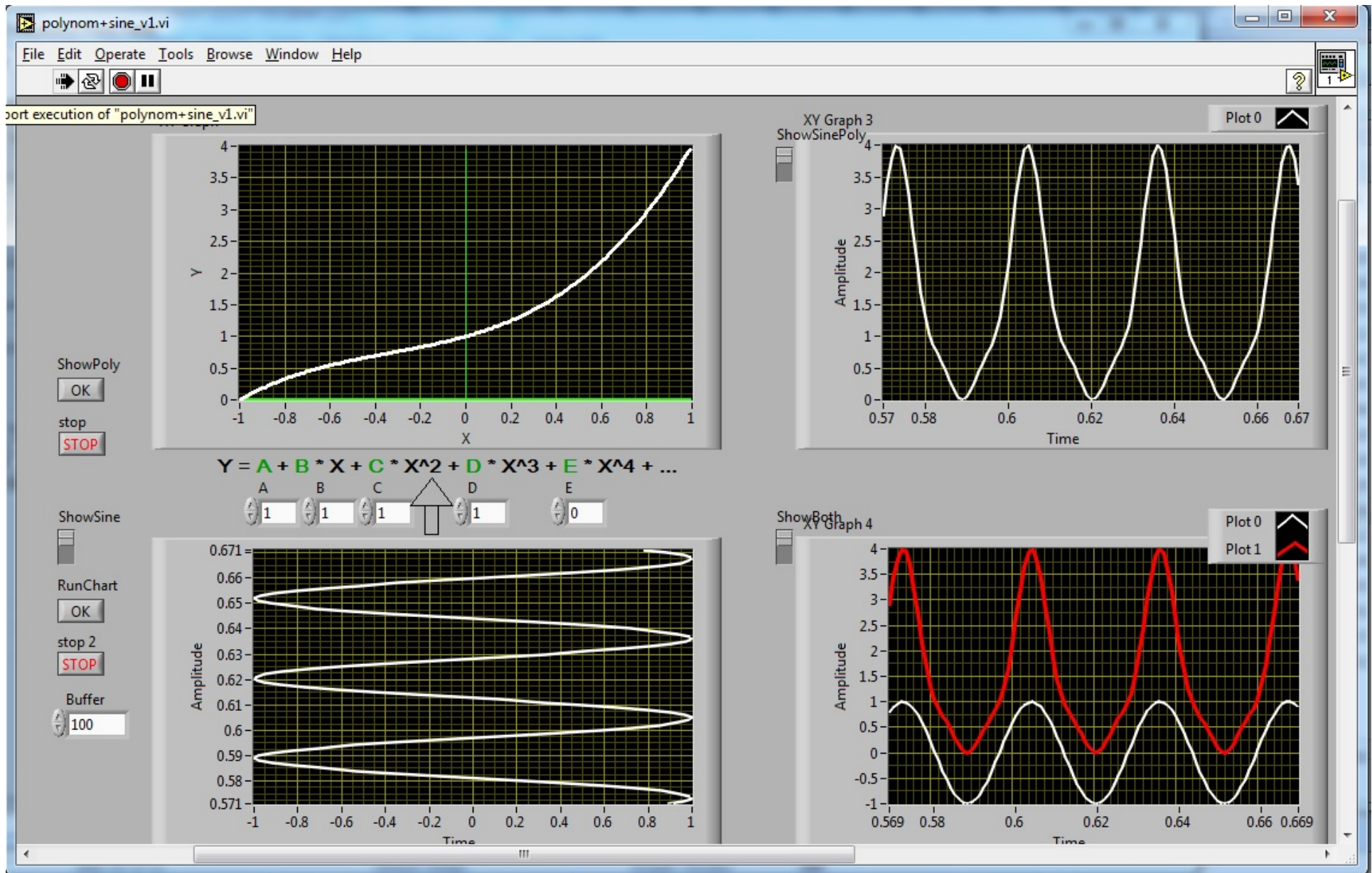
$$aE \sim \cos(\omega t)$$

$$bE^2 \sim \cos^2(\omega t) \sim \cos(2\omega t) + \dots$$

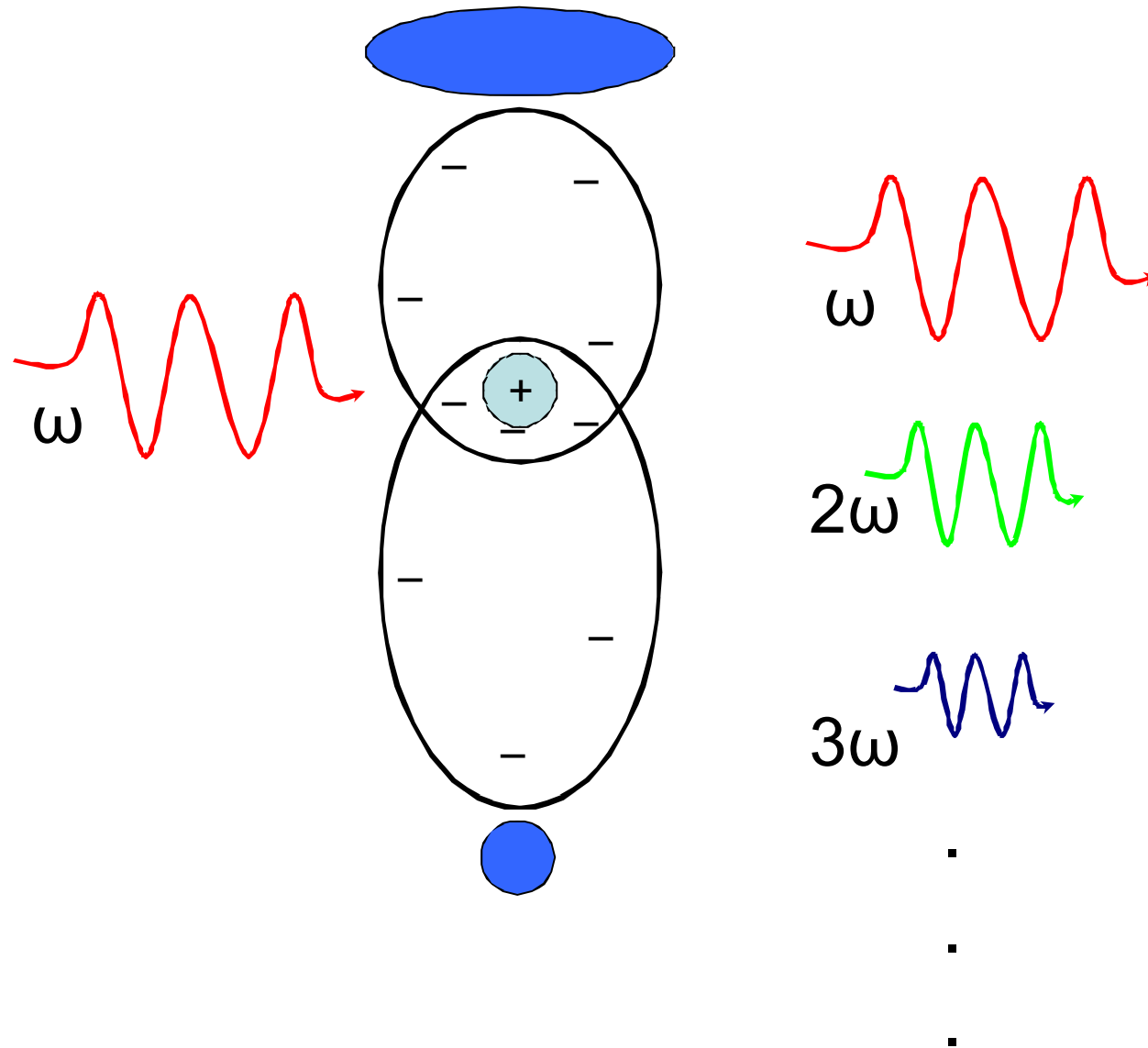
$$cE^3 \sim \cos^3(\omega t) \sim \cos(3\omega t) + \dots$$

Но! Диполь переизлучает!

$\omega \quad 2\omega \quad 3\omega \quad 4\omega \quad 5\omega \dots$

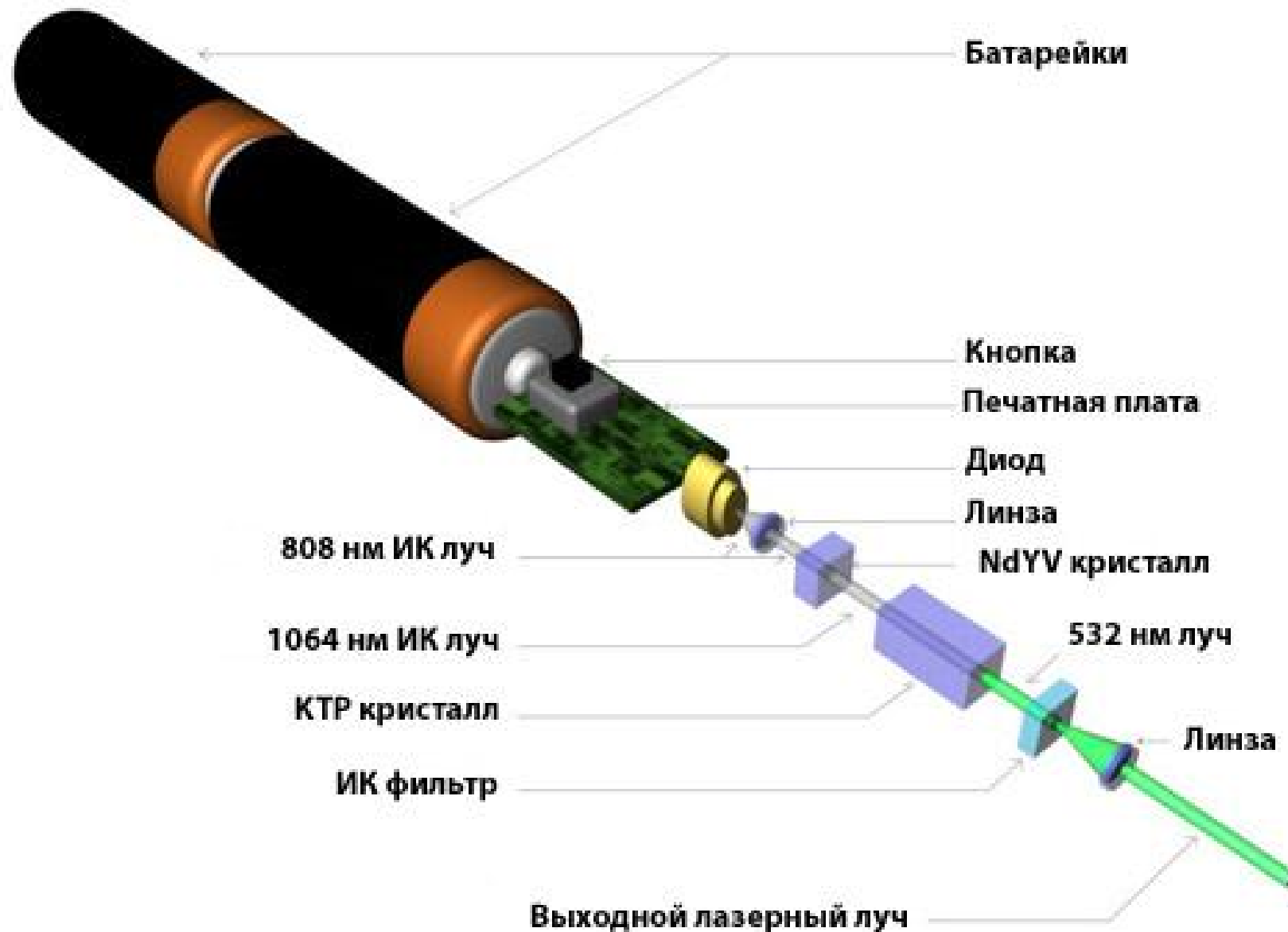


$$P = aE + bE^2 + cE^3 + dE^4 + \dots$$



ГВГ

Как устроена мощная лазерная указка



Спасибо за внимание!

