

**Введение
в
ЛАЗЕРЫ
и
НЕЛИНЕЙНУЮ ОПТИКУ**

Головнин Илья Владимирович,

К.ф.-м.н, доцент

Кафедра Общей Физики и Волновых Процессов

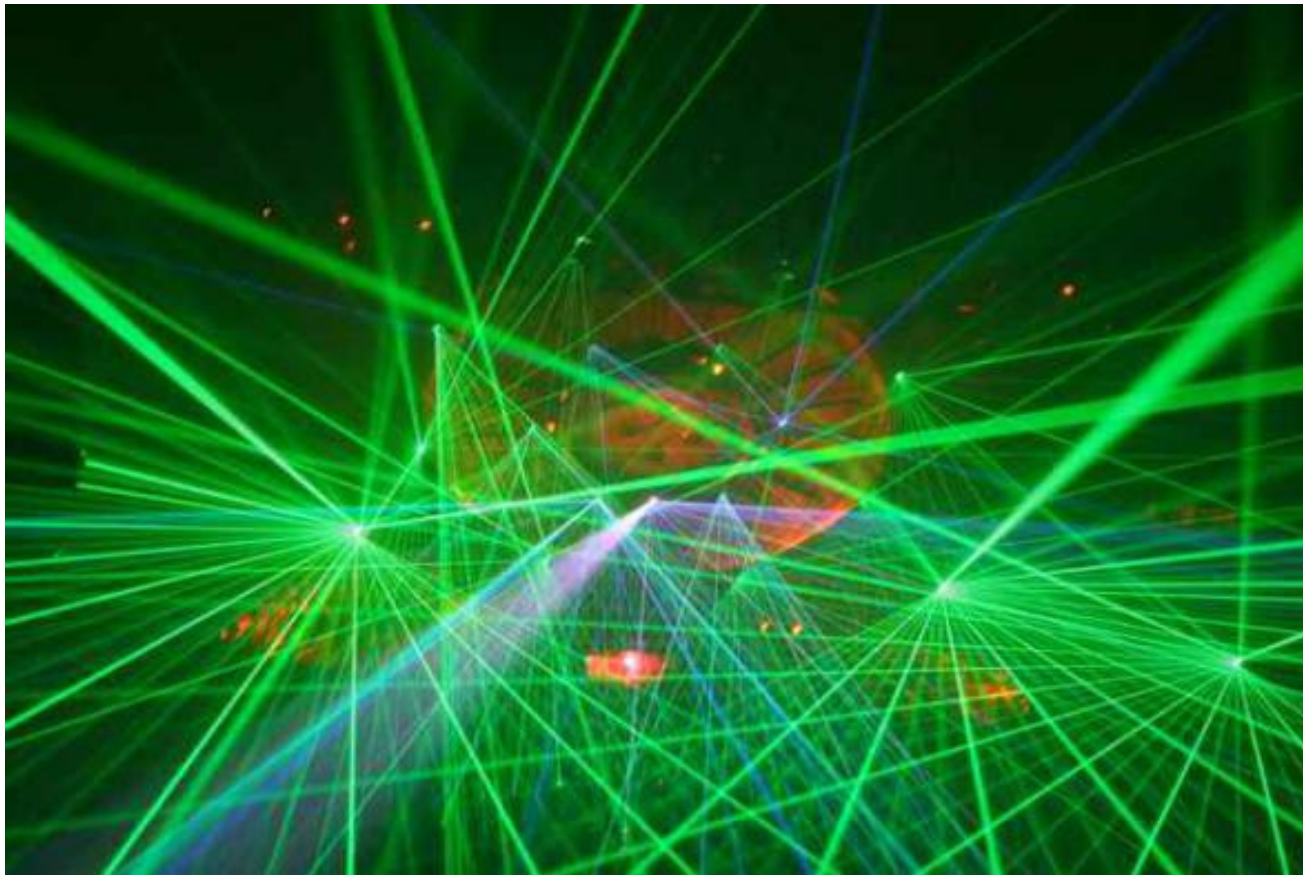
Физический факультет

МГУ имени М.В.Ломоносова

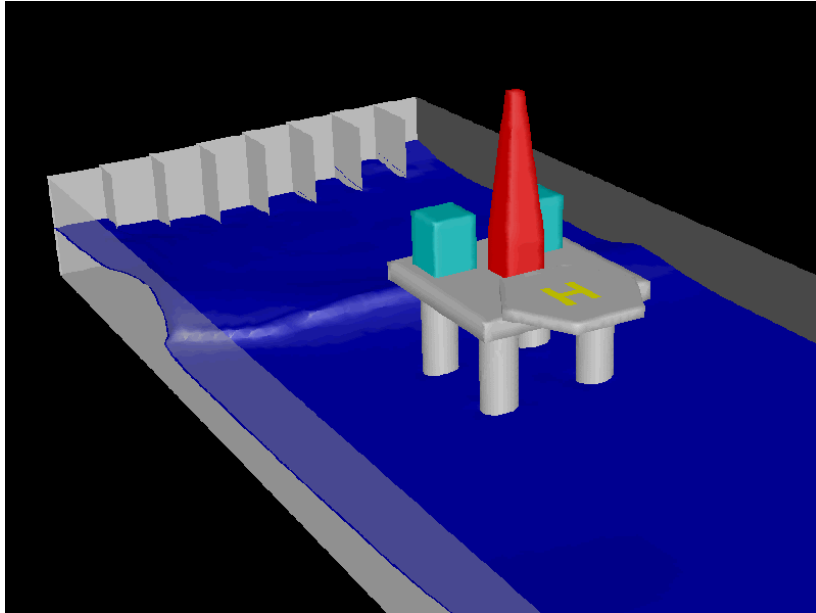
golovnin@gmail.com

Что такое свет?

Какие свойства у света?



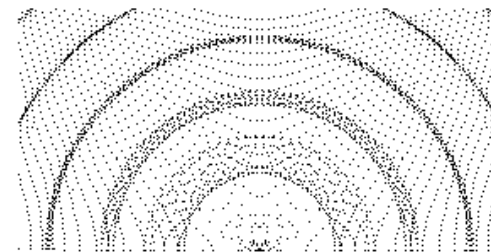
Волны



На воде

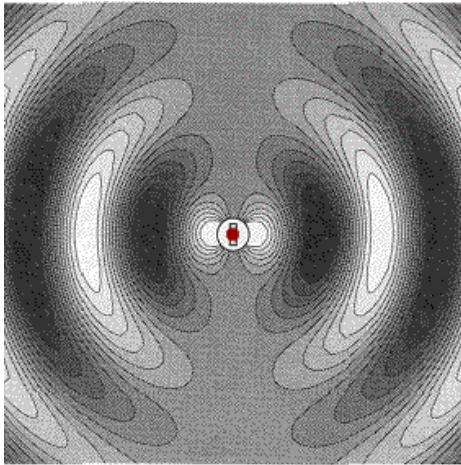
Звук

Acoustic Monopole



@ Ralph Muehleisen, 2006

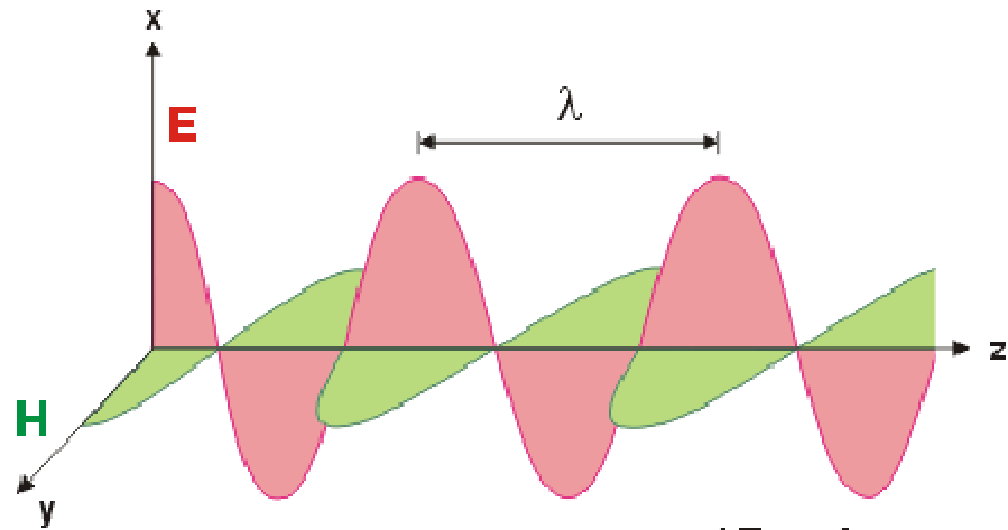
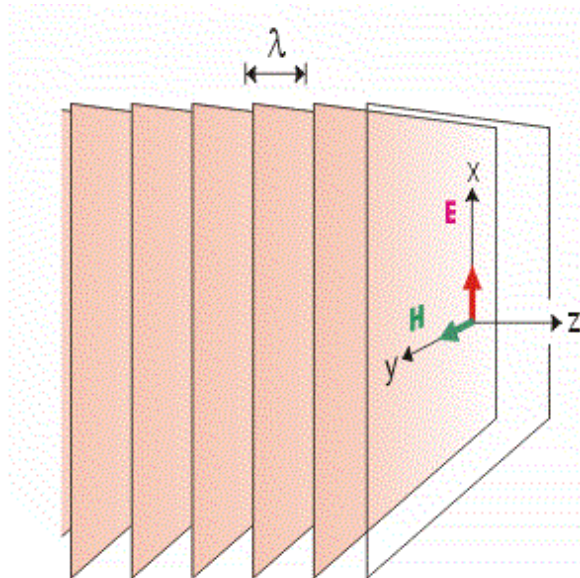
Свет – это электромагнитное излучение электромагнитные волны



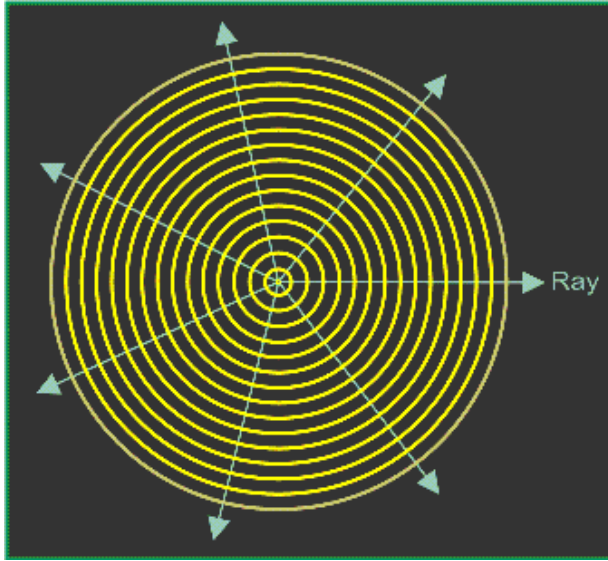
Осциллирующий заряд создает изменения электрического (и магнитного) поля. Эти колебания распространяются как электромагнитная волна в пространстве со скоростью света.

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

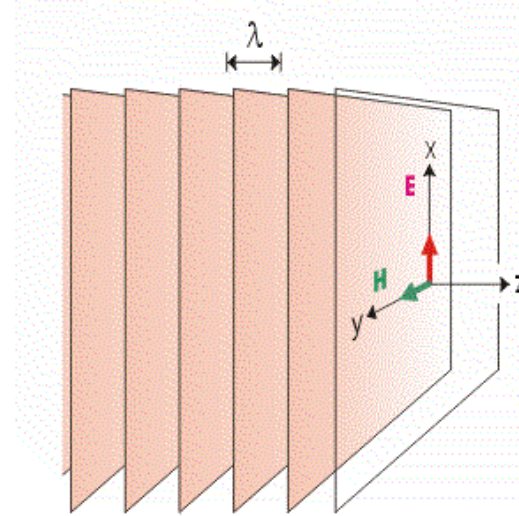
$$\mathbf{v} = c/n$$



$$v = \lambda / T = c / n$$



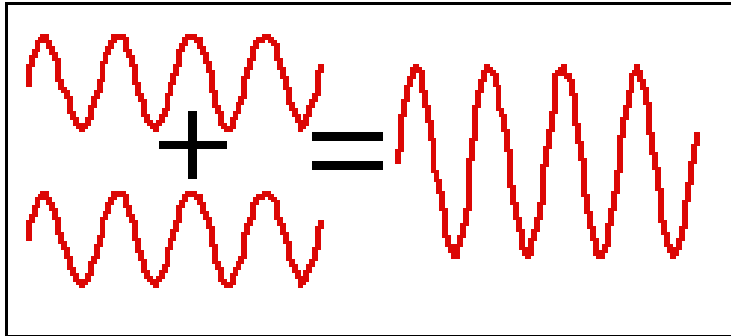
Сферический фронт



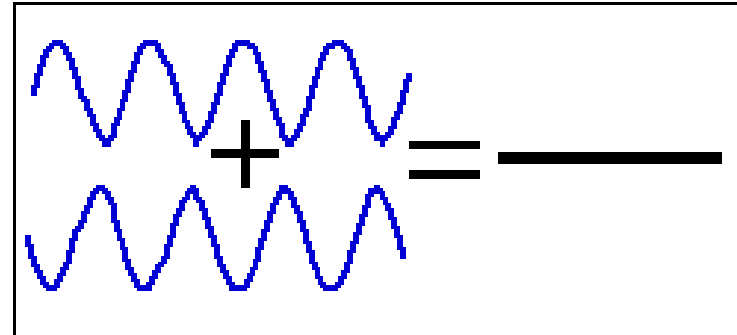
Плоский фронт

Интерференция электромагнитных волн

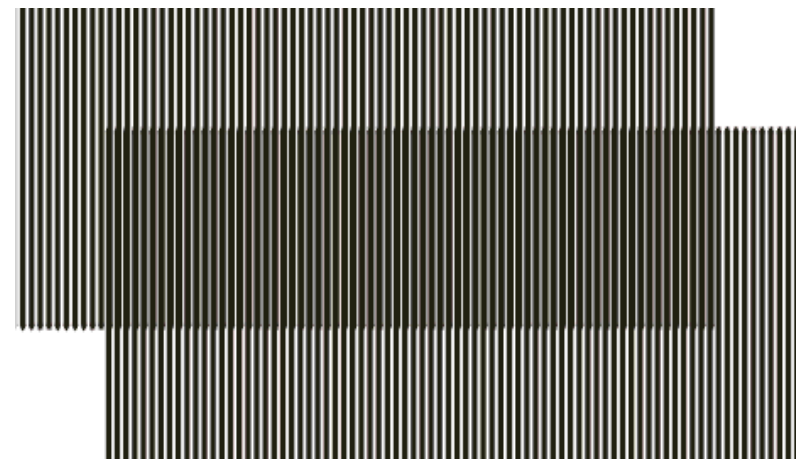
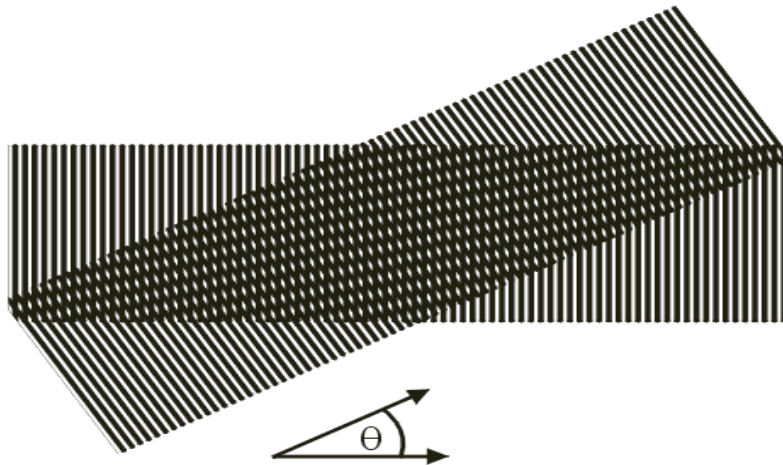
$$E(x,y,z,t) = E_1(x,y,z,t) + E_2(x,y,z,t) + E_3(x,y,z,t) + \dots$$



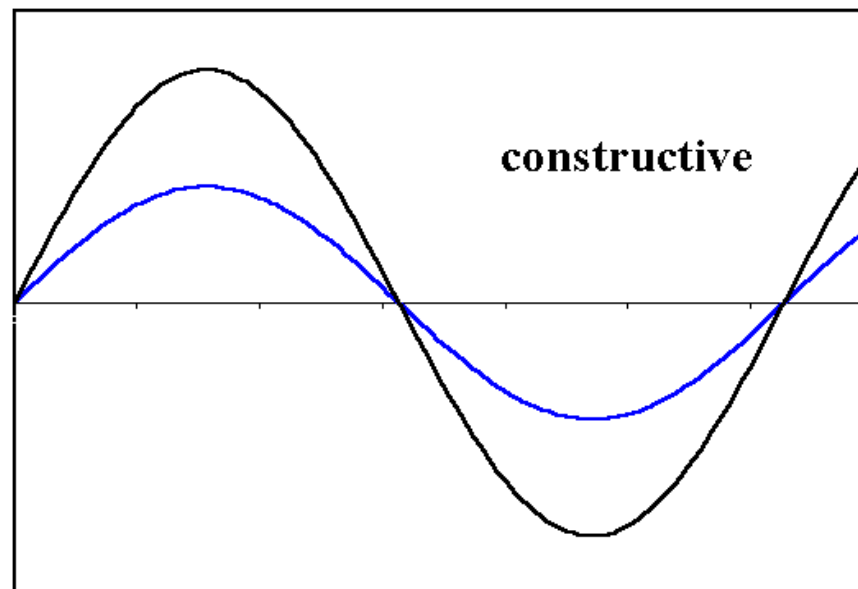
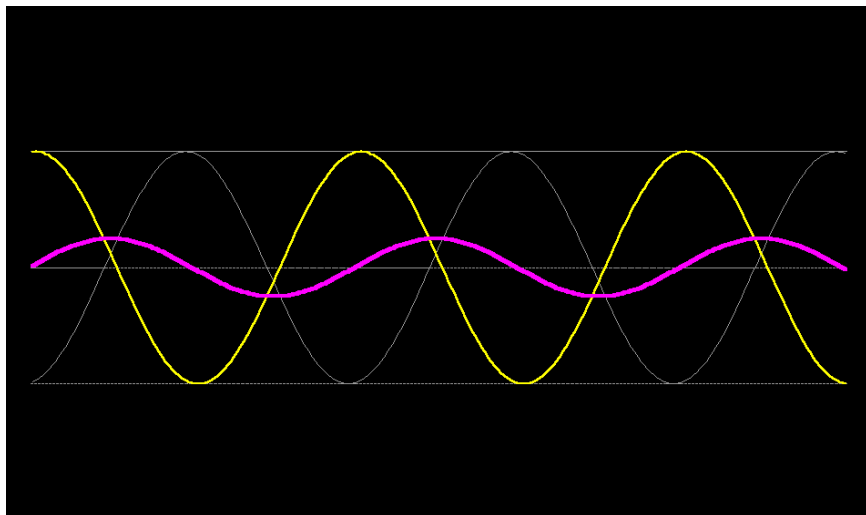
Конструктивная



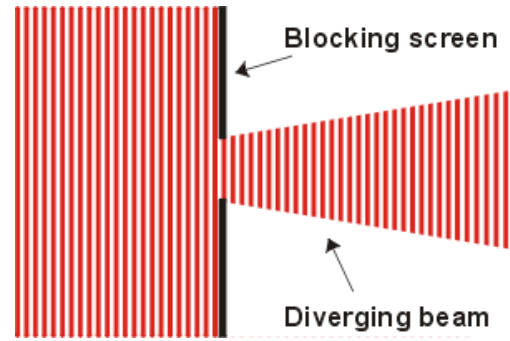
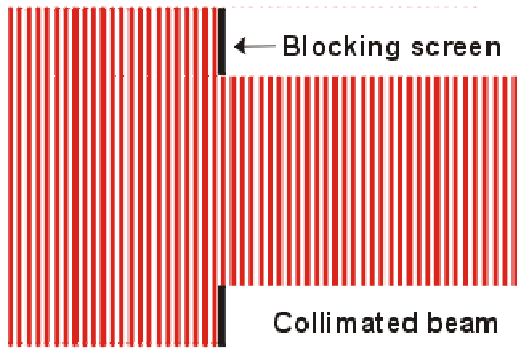
Деструктивная



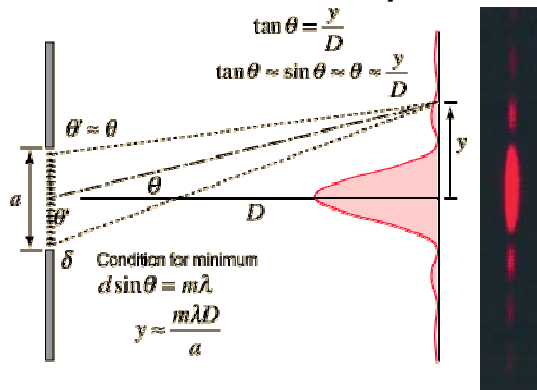
Интерференция



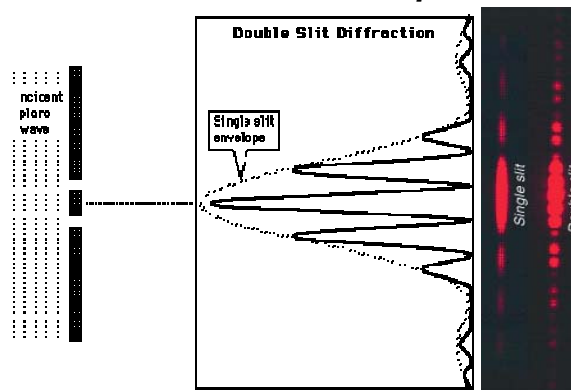
Дифракция



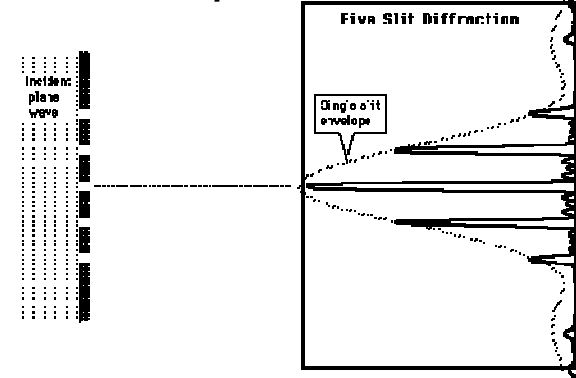
На одной щели



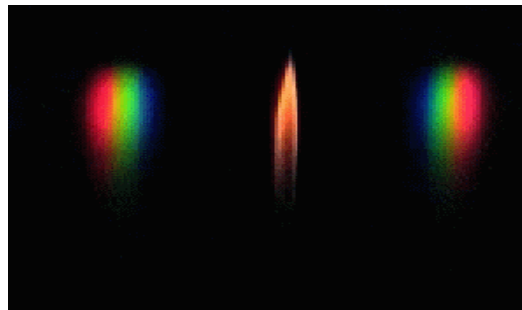
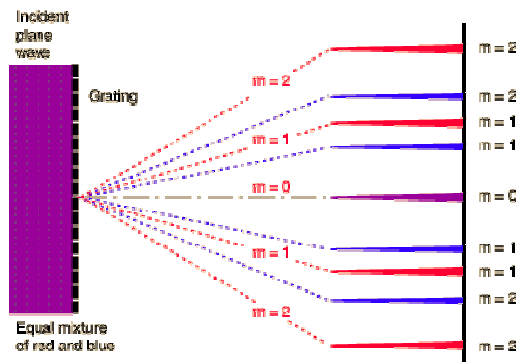
На 2-х щелях



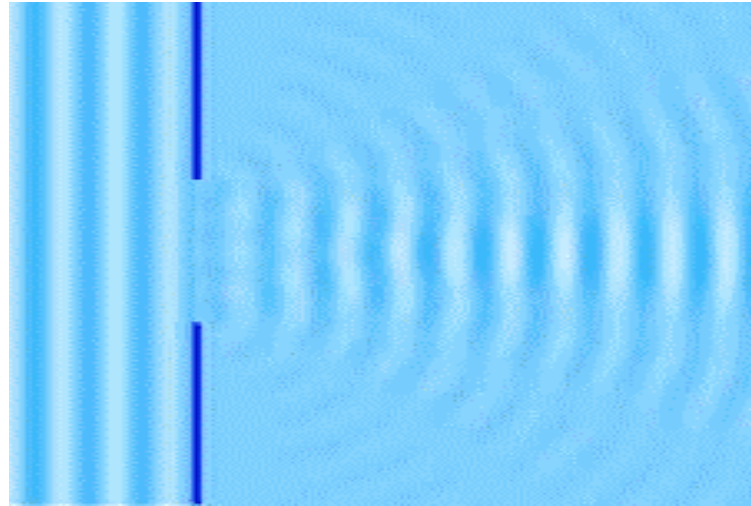
5 щелей



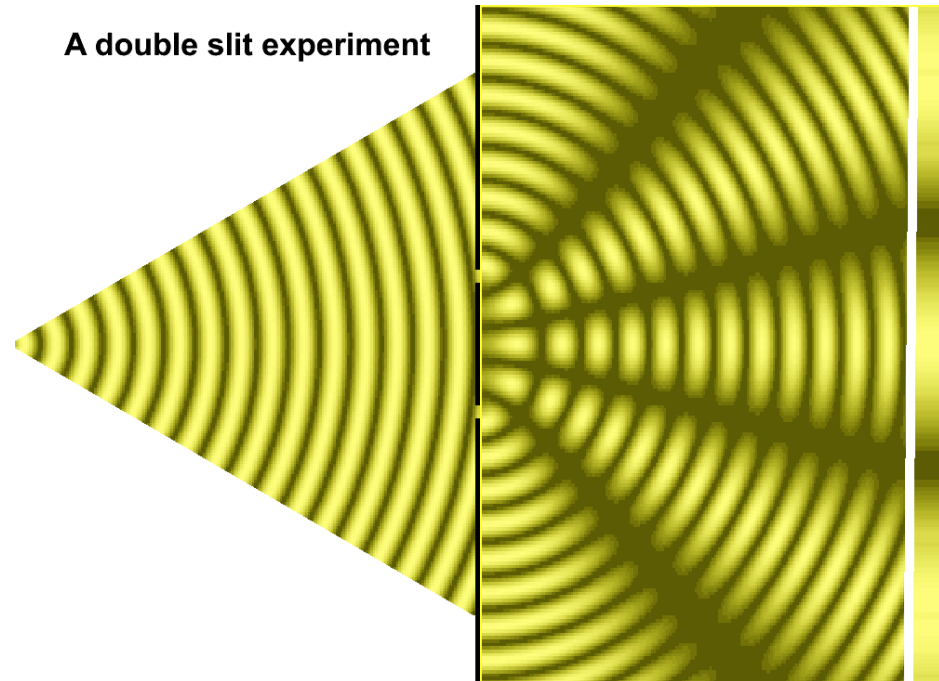
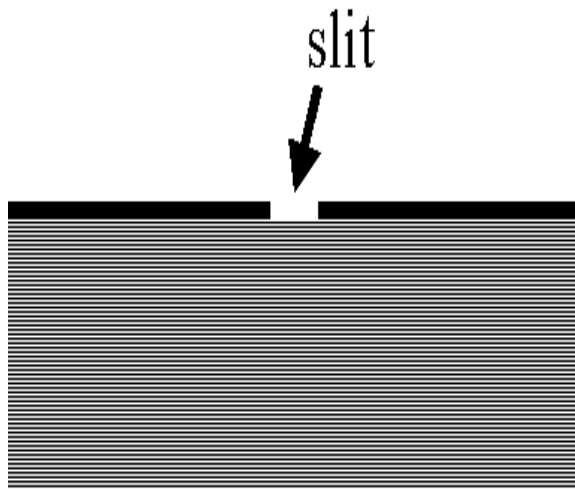
Дифракционная решетка



Дифракция

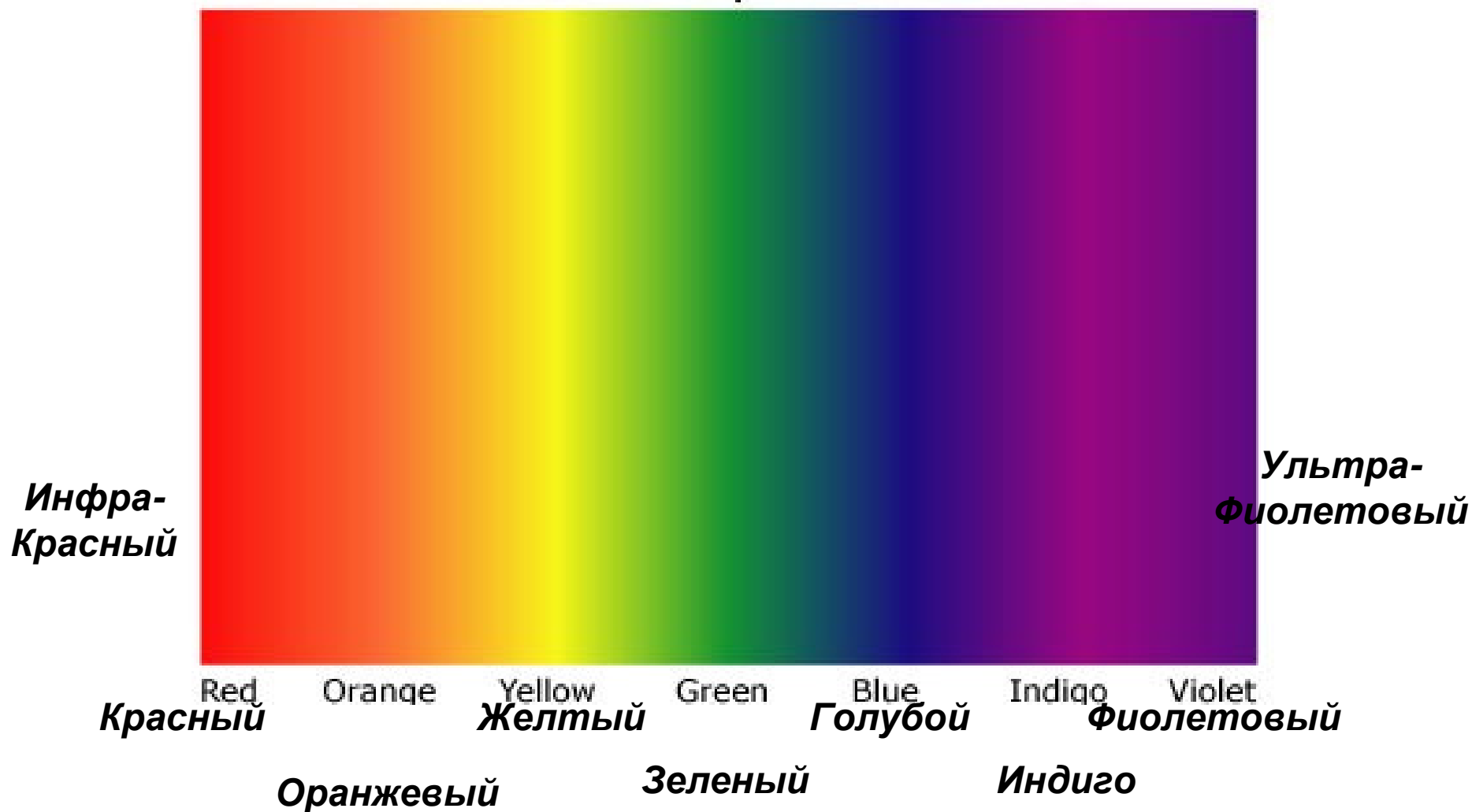


A double slit experiment

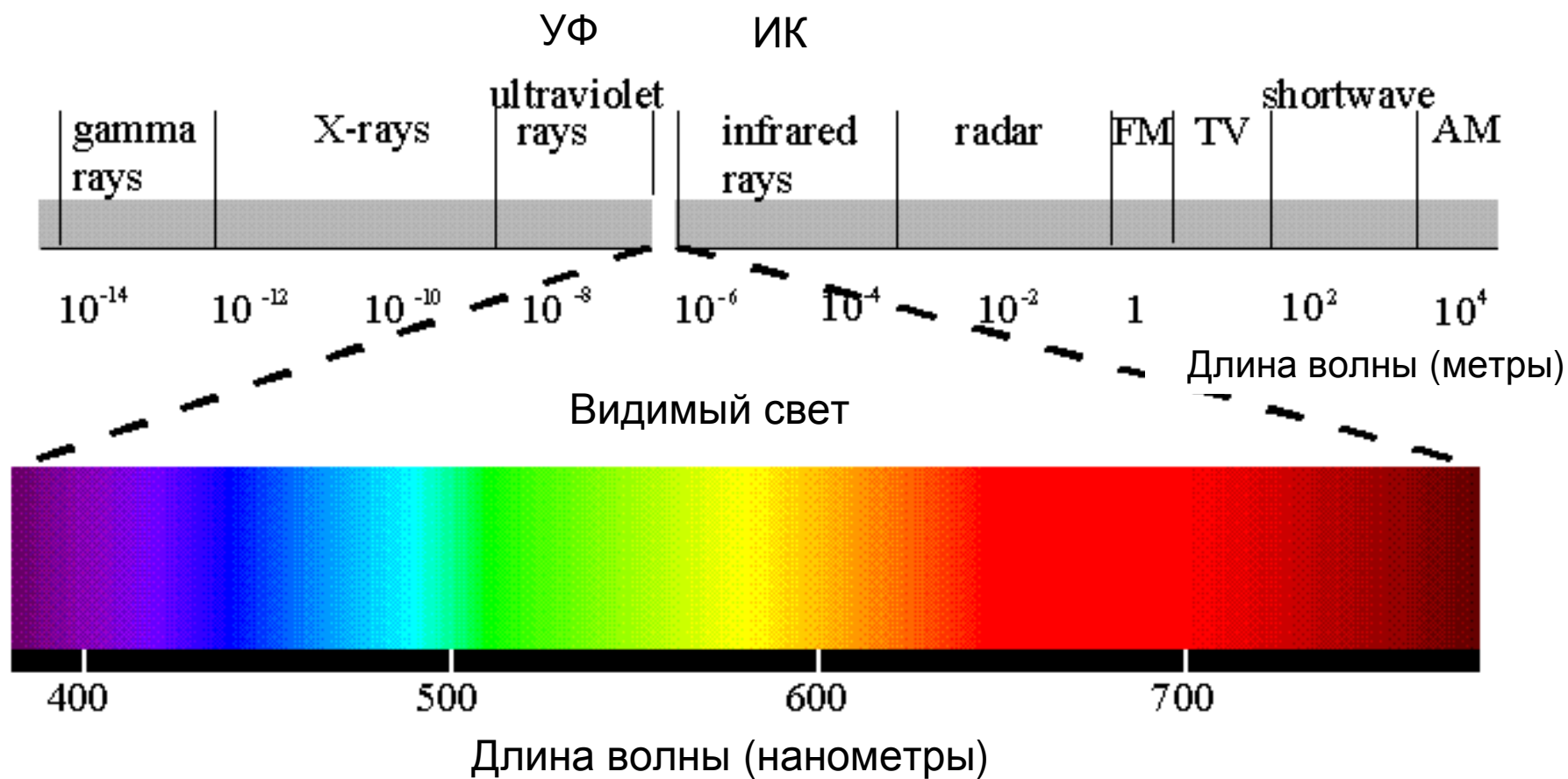


Какой свет мы видим?

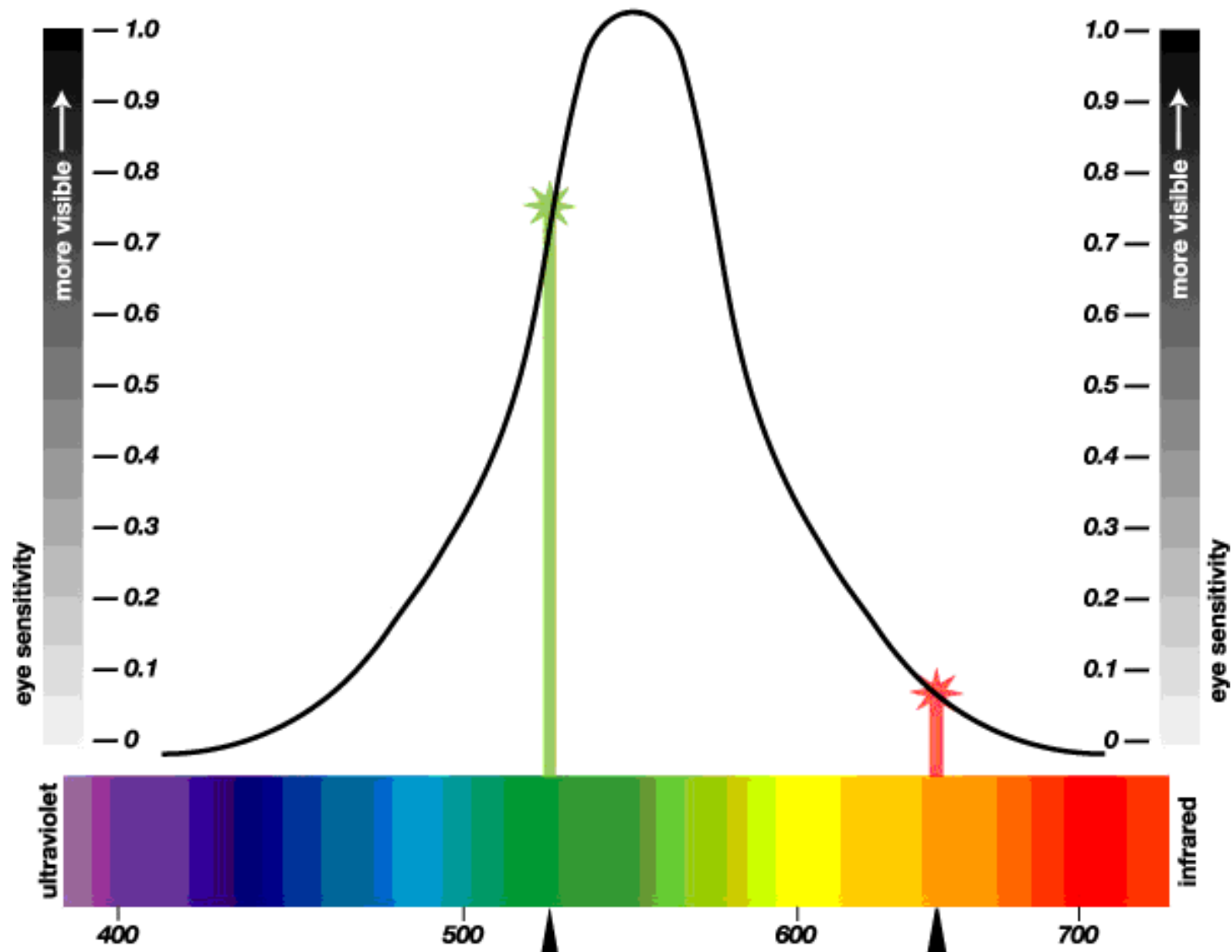
Visible Spectrum



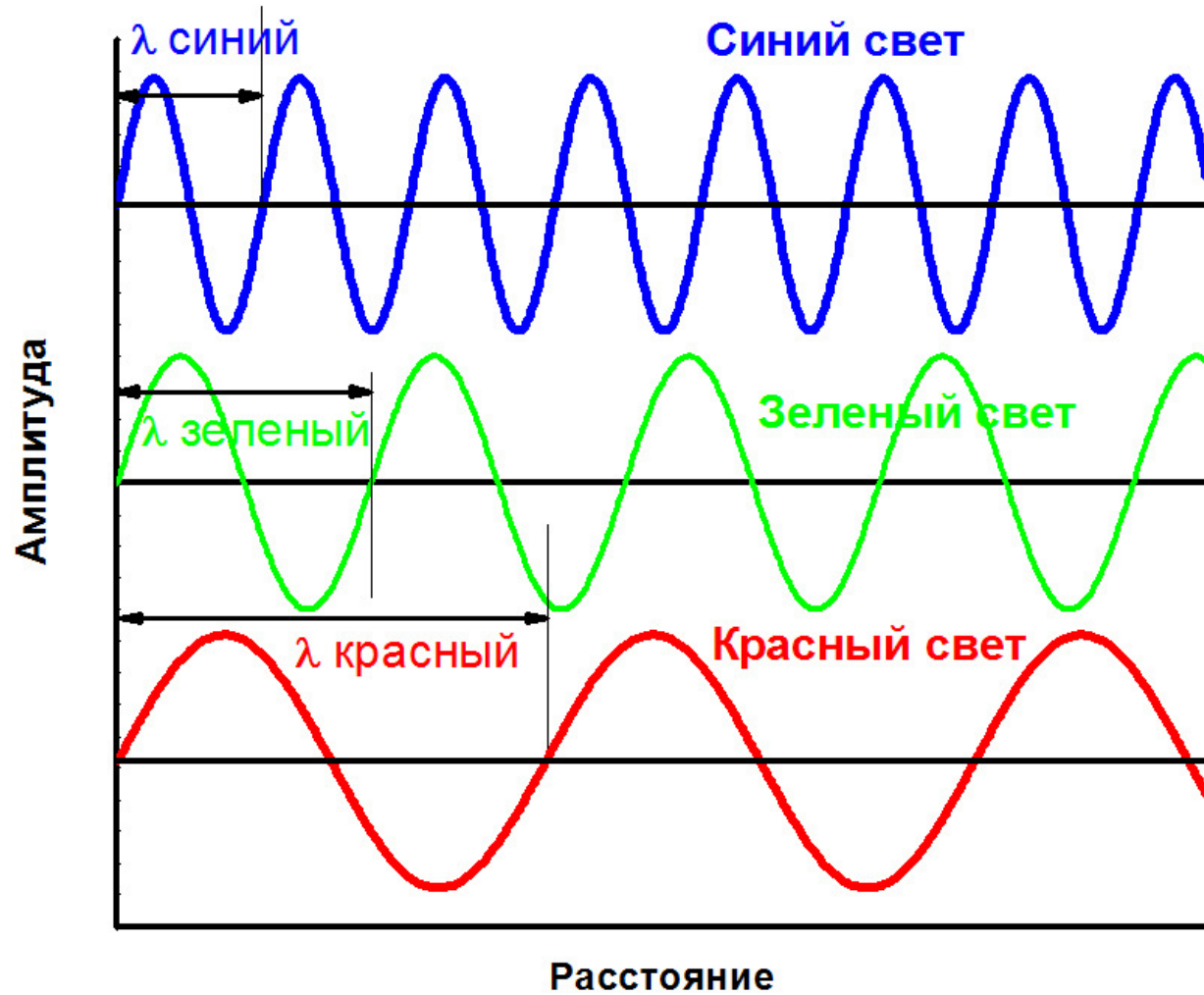
Видимая часть спектра



Чувствительность глаза



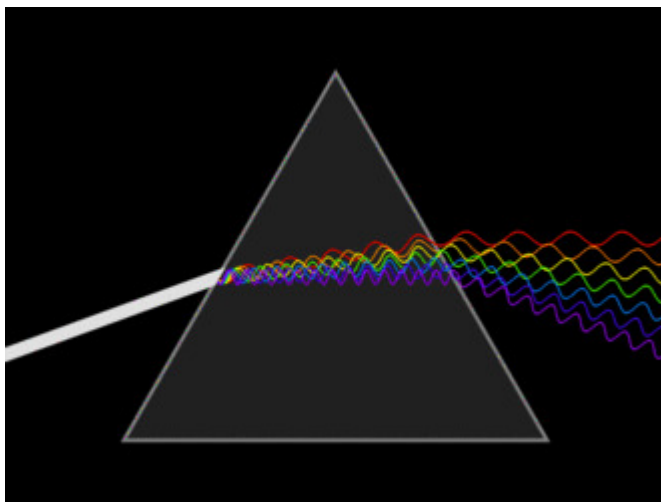
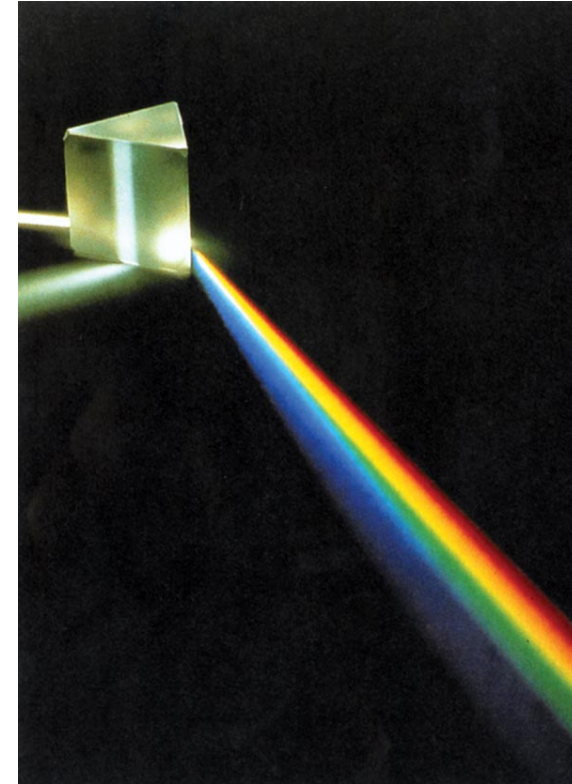
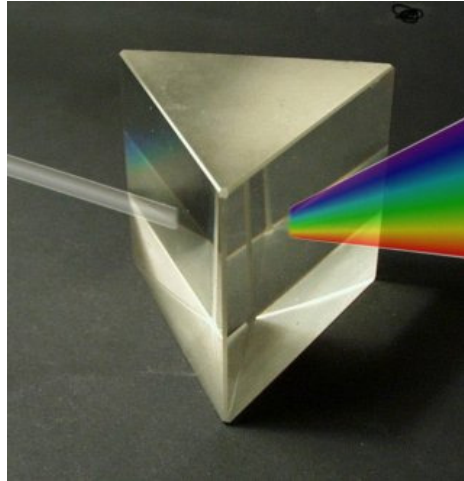
Длина волны, частота, цвет



Как проанализировать длину волны света?

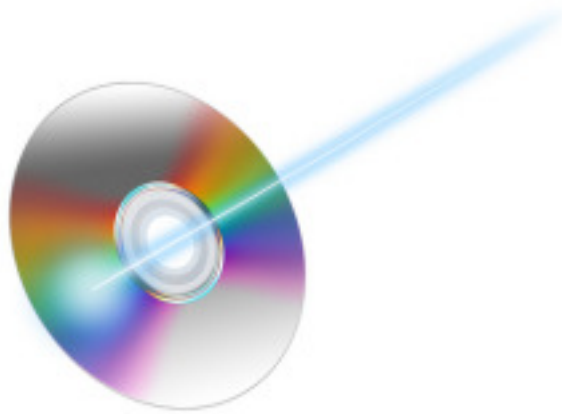
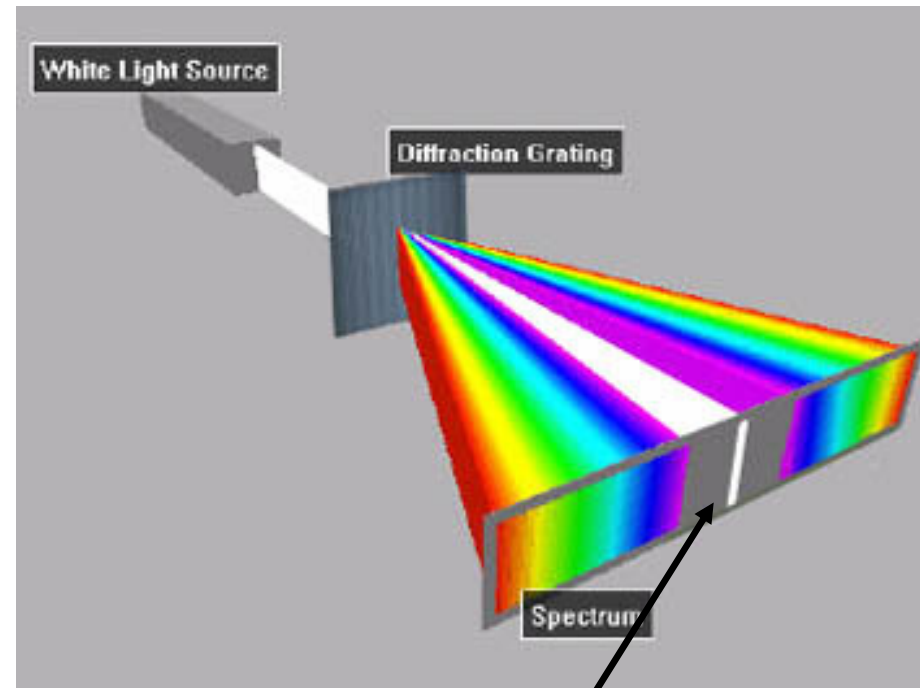
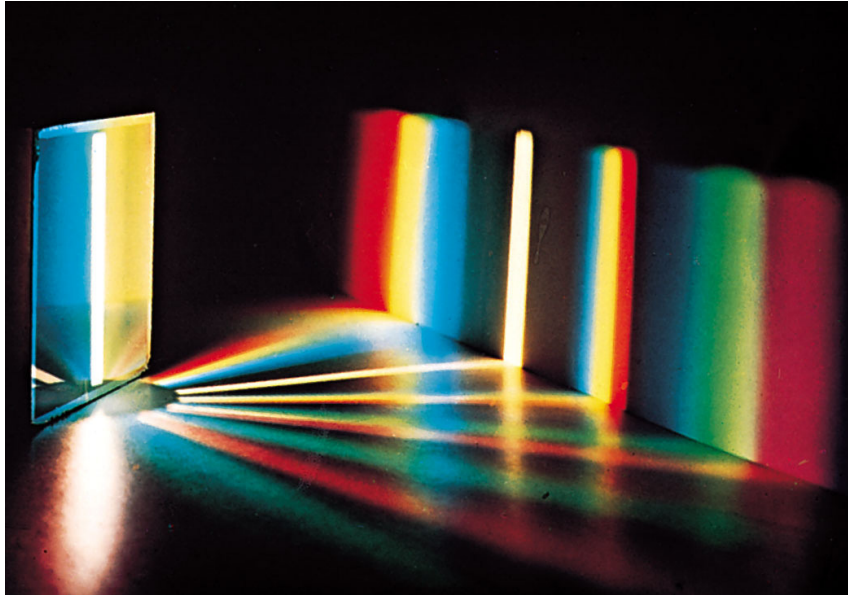


Призма



Коэффициент преломления зависит от частоты (или длины волны)

Дифракционная решетка



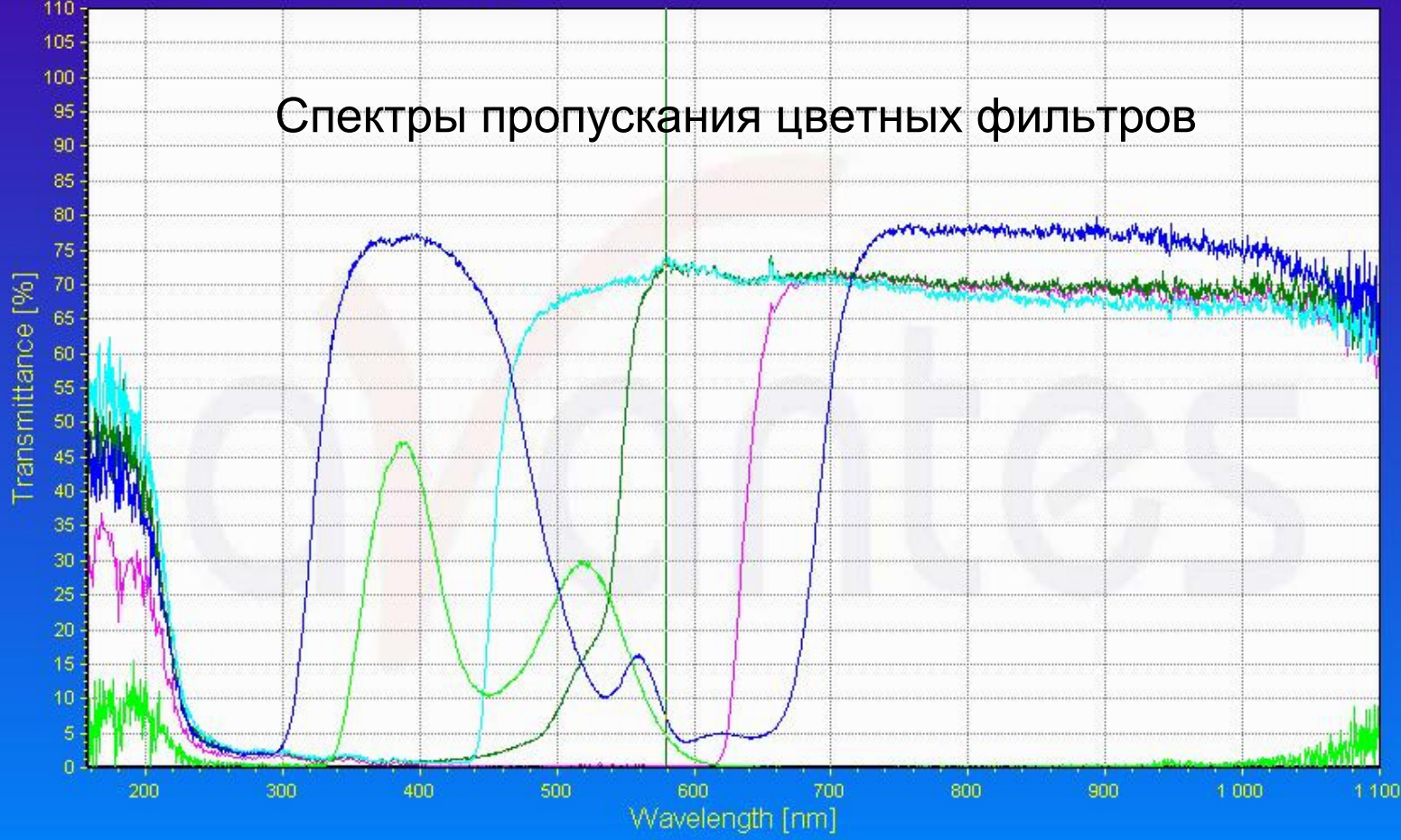
**+ ПЗС линейка
=
спектрометр**



Спектрометр

```
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-
```

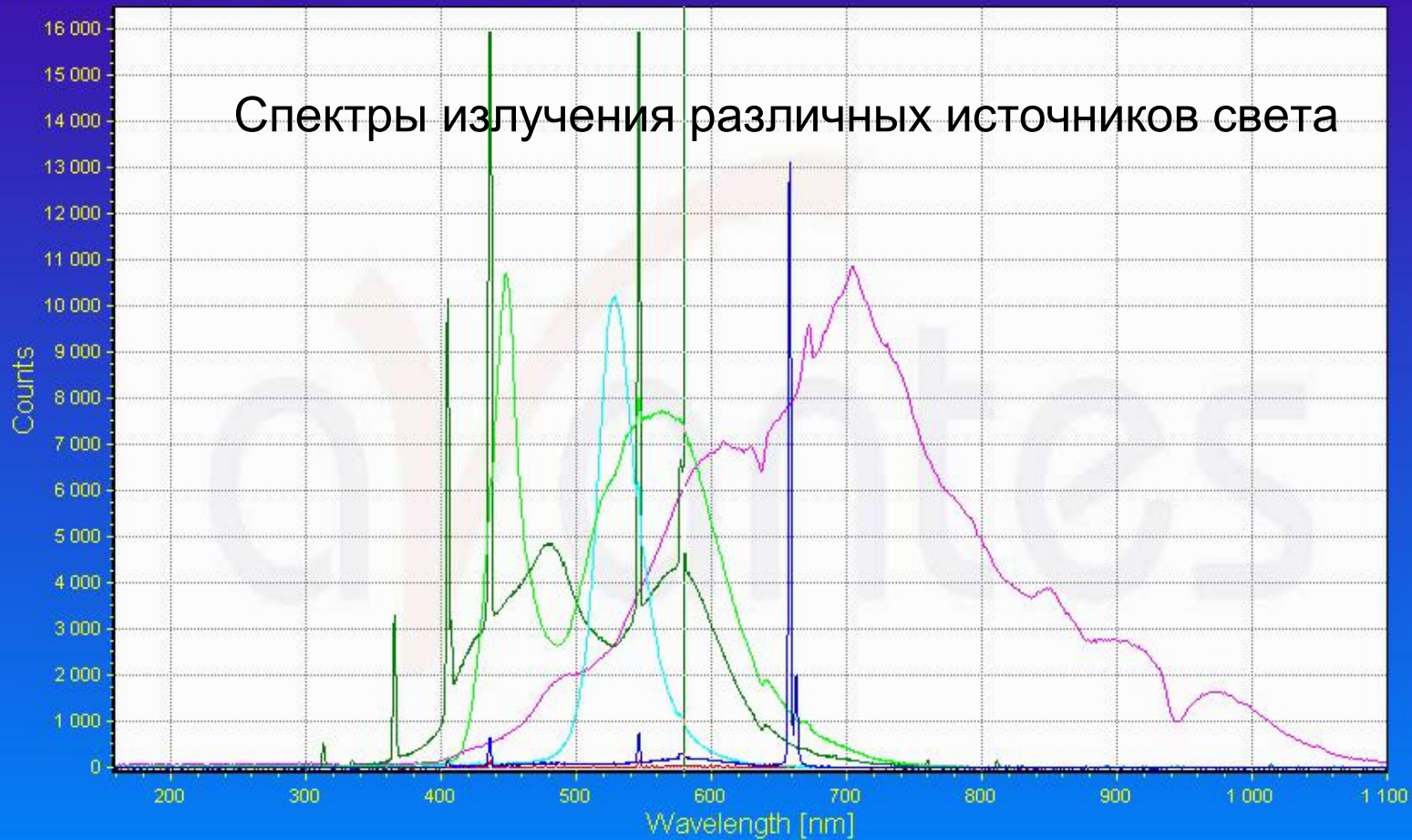
Спектры пропускания цветных фильтров



- Master
- FILTERS0001.TRM
- FILTERS0002.TRM
- FILTERS0003.TRM
- FILTERS0004.TRM
- FILTERS0005.TRM

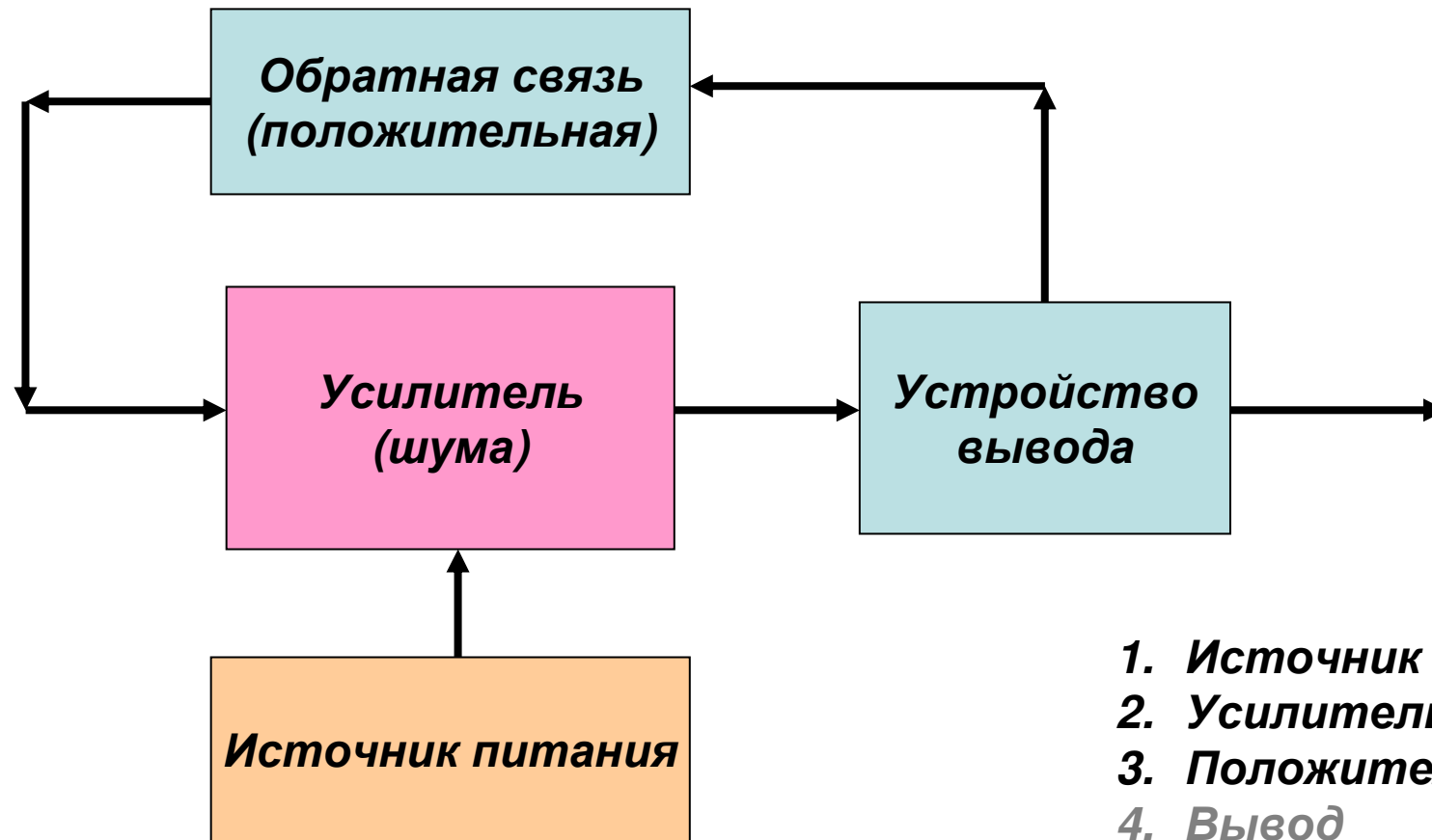
01: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0001.roh: M-
02: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0002.roh: M-
03: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0003.roh: M-
04: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0004.roh: M-
05: amp=0 it=35 av=20 s=0 lllight0005.roh: M-

Спектры излучения различных источников света



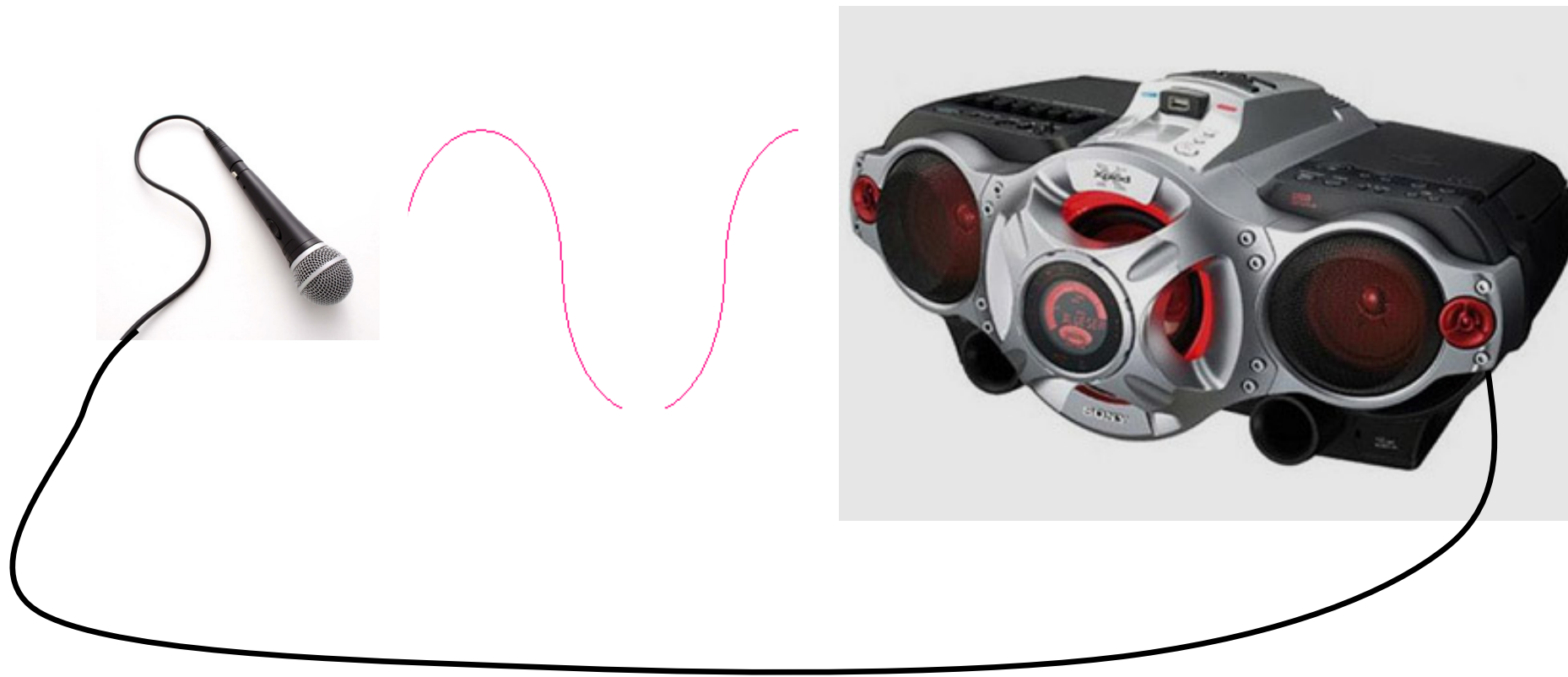
- Master
- LLLIGHT0001.ROH
- LLLIGHT0002.ROH
- LLLIGHT0003.ROH
- LLLIGHT0004.ROH
- LLLIGHT0005.ROH

Что такое генератор? Как он работает?



Любой генератор работает по этой схеме

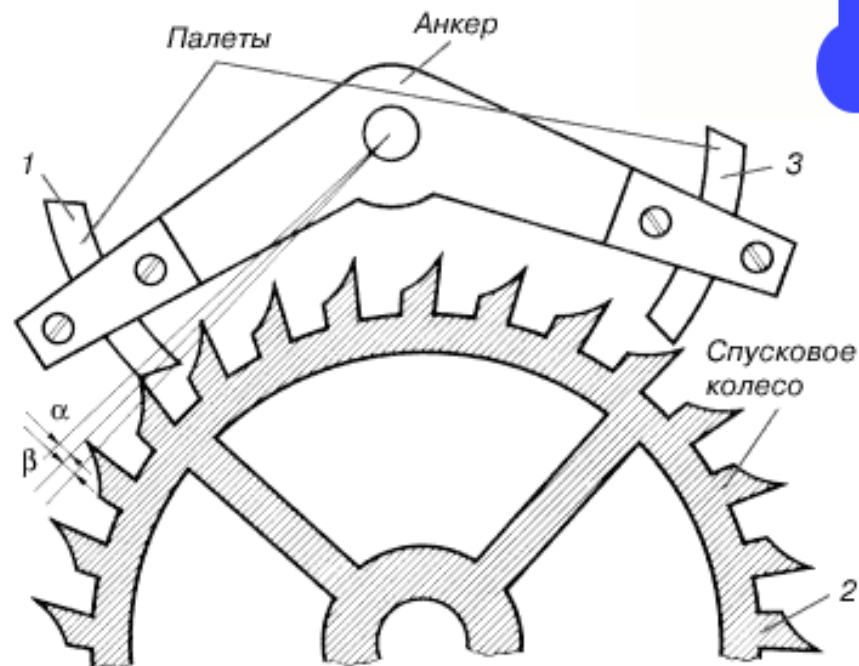
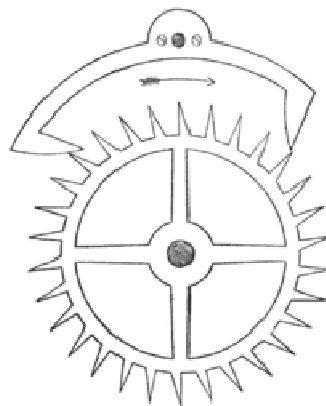
Примеры генераторов



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)

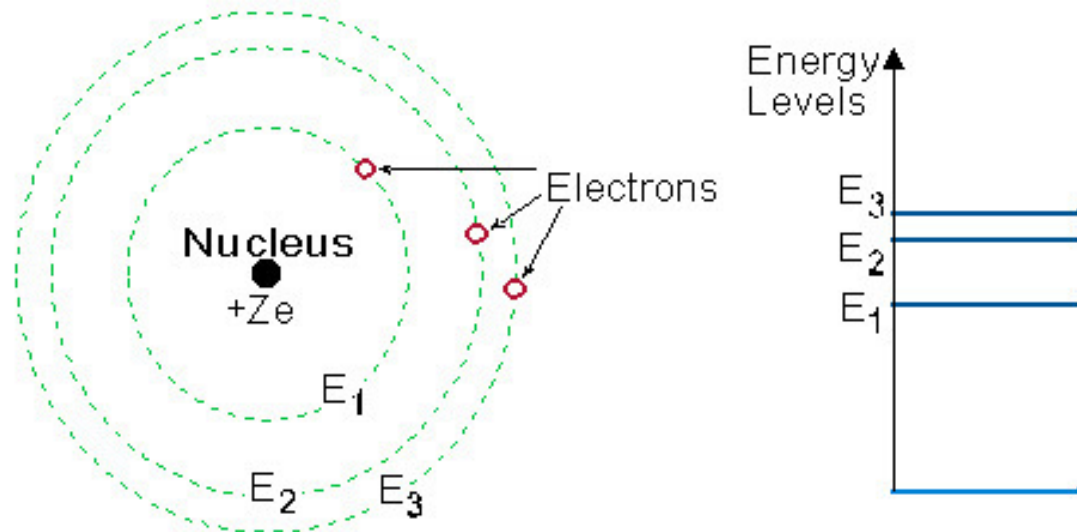
Лазерное излучение это процесс происходящий в веществе.

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.

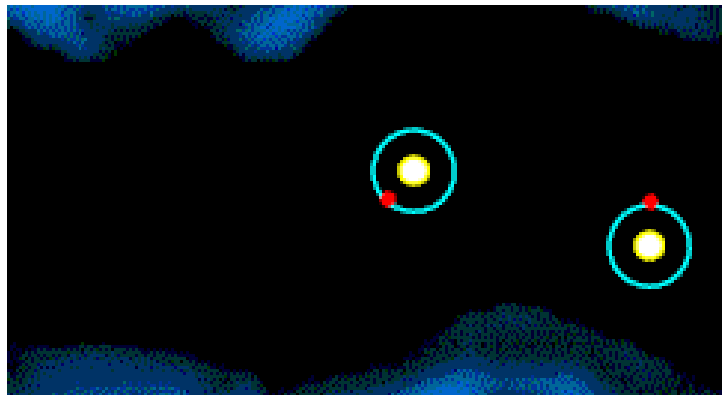
Самый низкий уровень называется **основным уровнем**. Это самый предпочтительный для атома уровень.

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

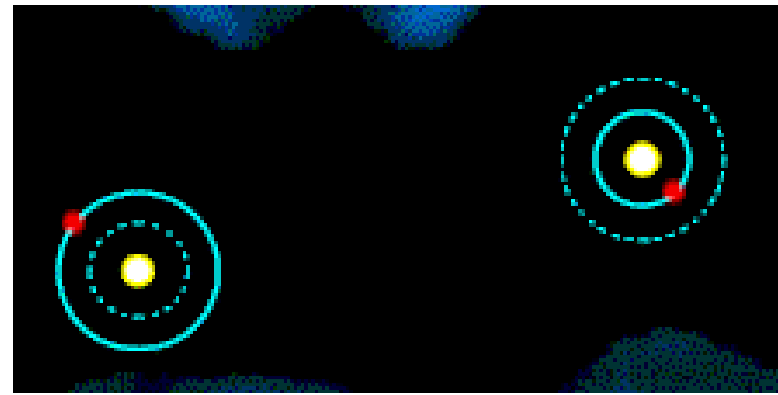
Электрон может «перепрыгнуть» из одного уровня энергии на другой, если получит определенное количество энергии.

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

Перенос энергии от атома к атому

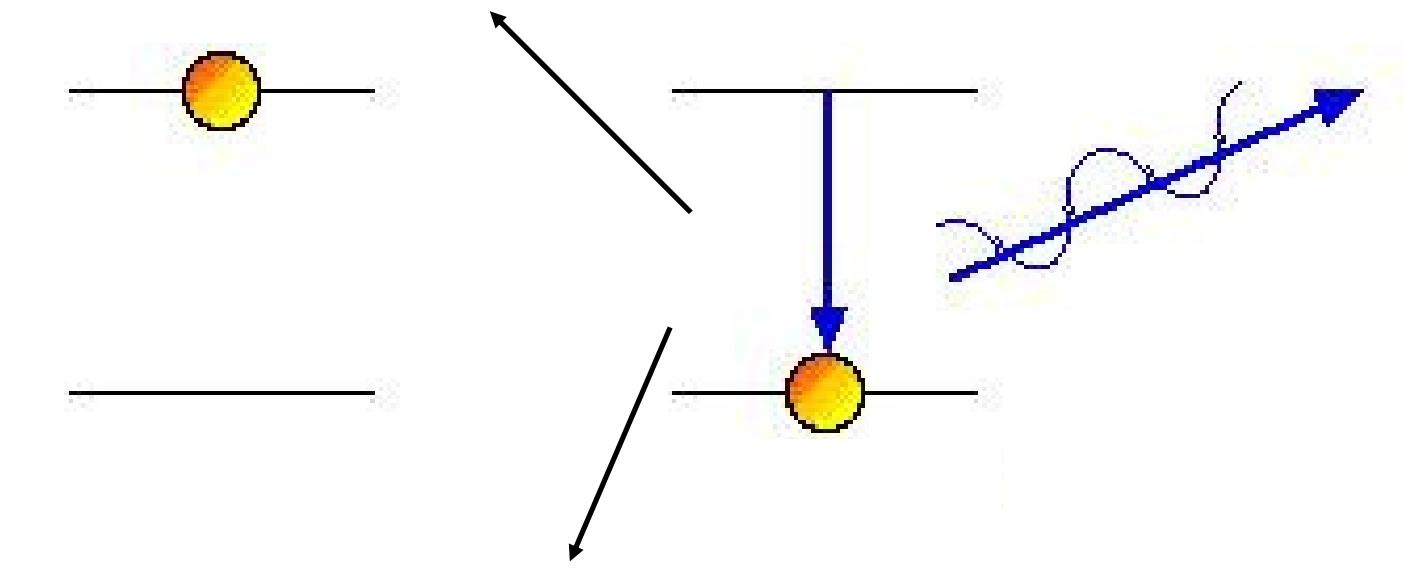


Столкновение атомов



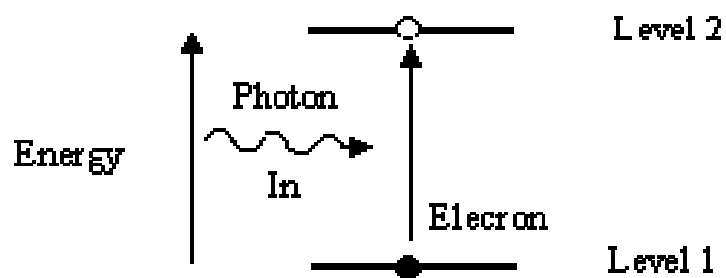
Поглощение и излучение электромагнитного излучения

Спонтанные переходы

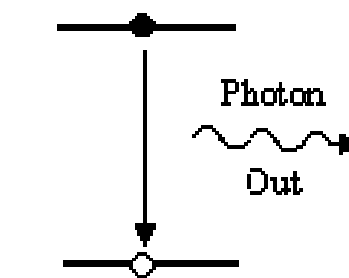


Нет выделенного направления излучения

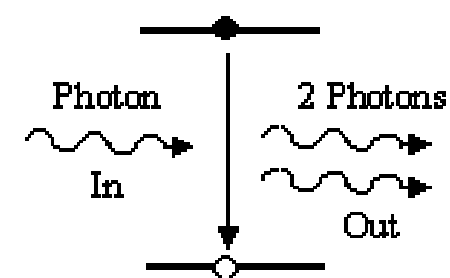
Стимулированные переходы



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} .. 10^{-3} с).

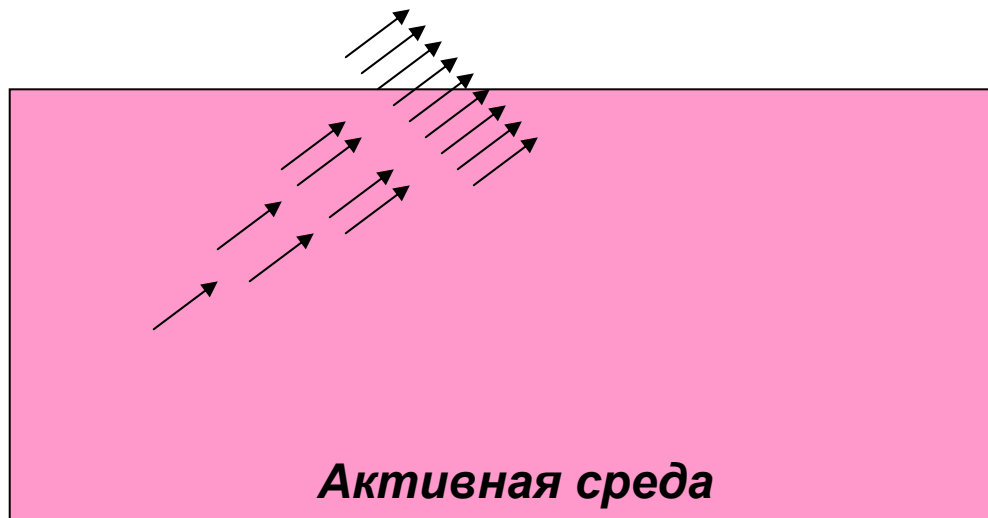
Мы получили УСИЛИТЕЛЬ света!

Но на какой-то определенной длине волны

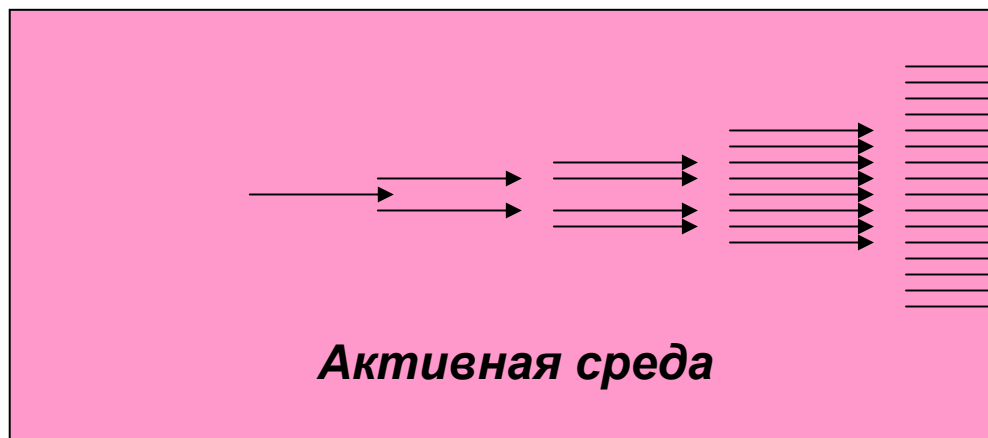
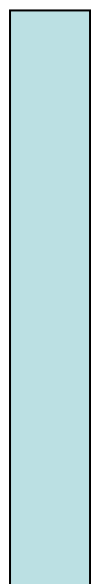
Нам нужно:

**Источник энергии и
Положительная обратная связь**

ПОС



Зеркало



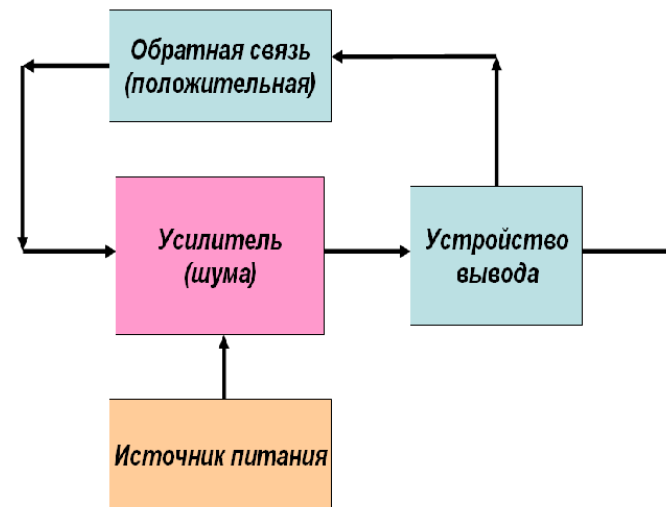
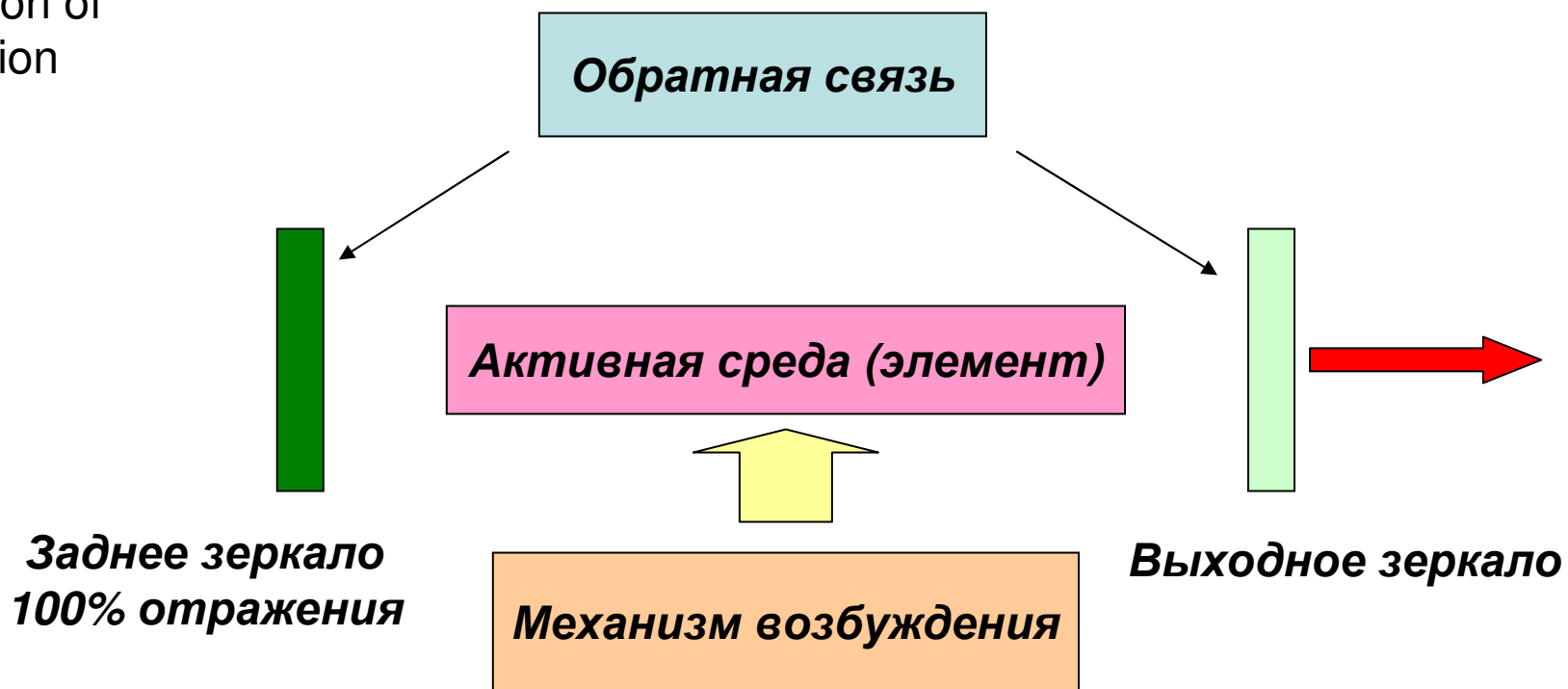
Зеркало



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

Введение в Нелинейную оптику

Головнин Илья Владимирович,

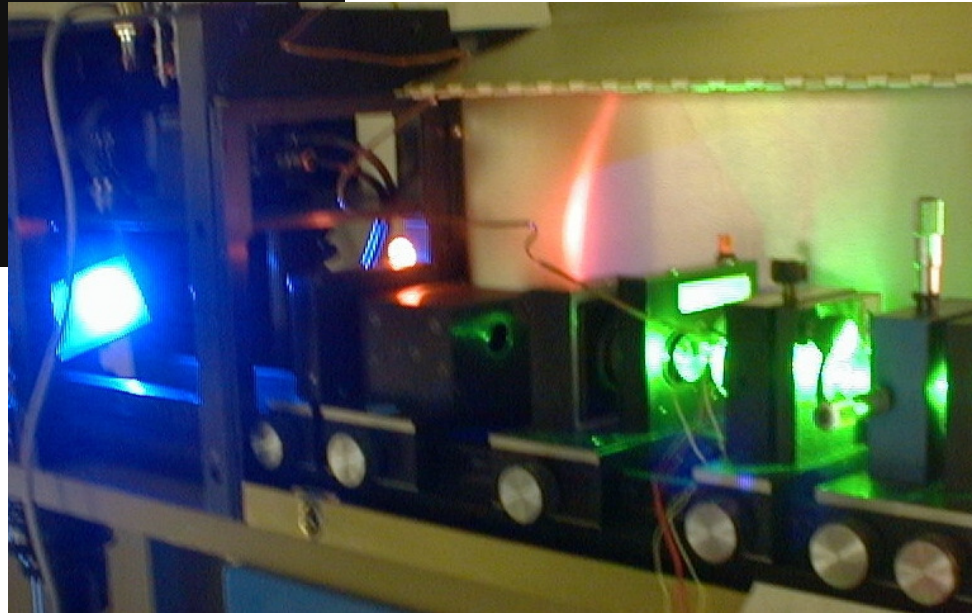
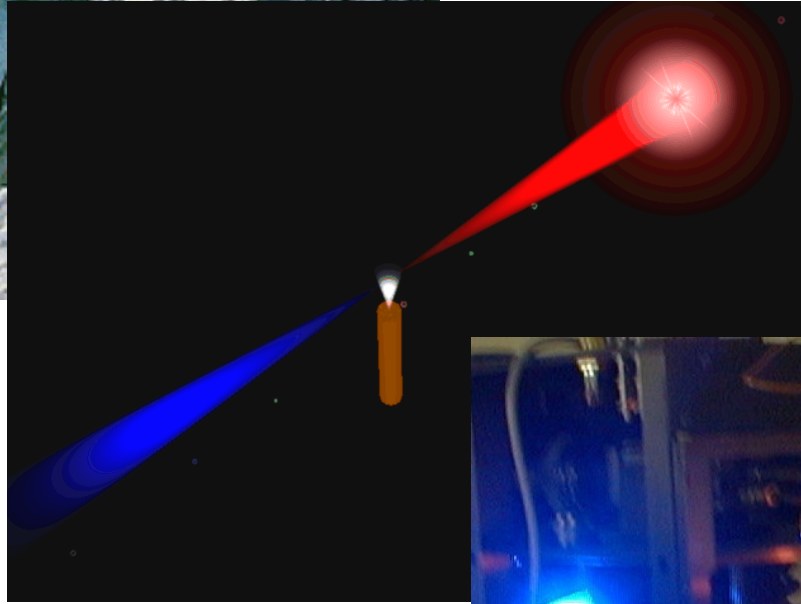
К.ф.-м.н, доцент

Кафедра Общей Физики и Волновых Процессов

Физический факультет

МГУ имени М.В.Ломоносова

golovnin@gmail.com

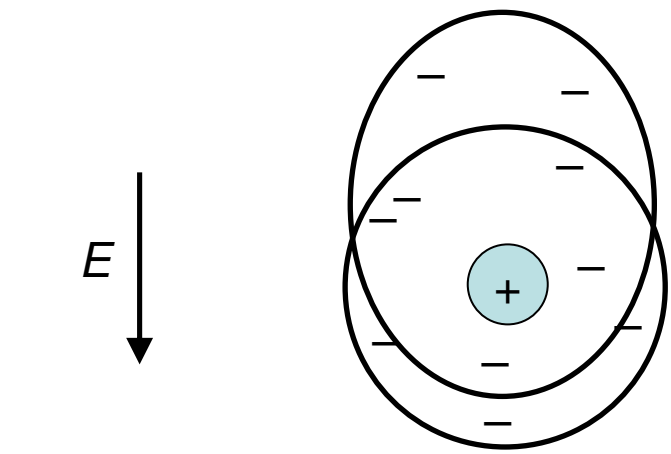


Что такое линейная оптика?

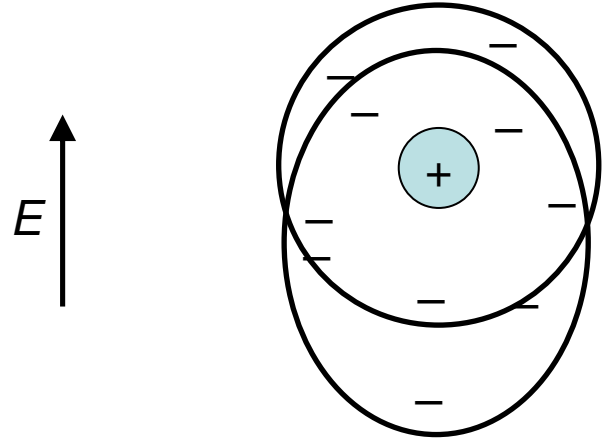
И почему она называется
ЛИНЕЙНОЙ?

Линейная оптика

**Из чего состоит
вещество?**

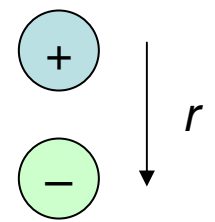
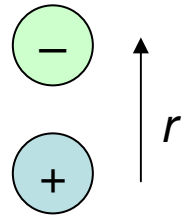


ω



E

$$d = e \times r$$

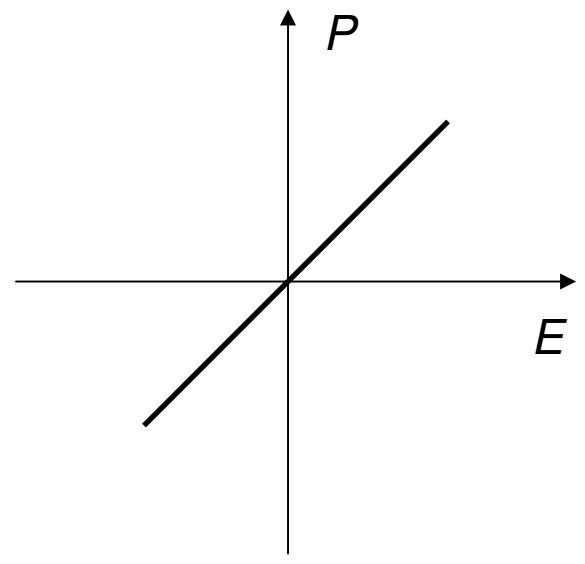


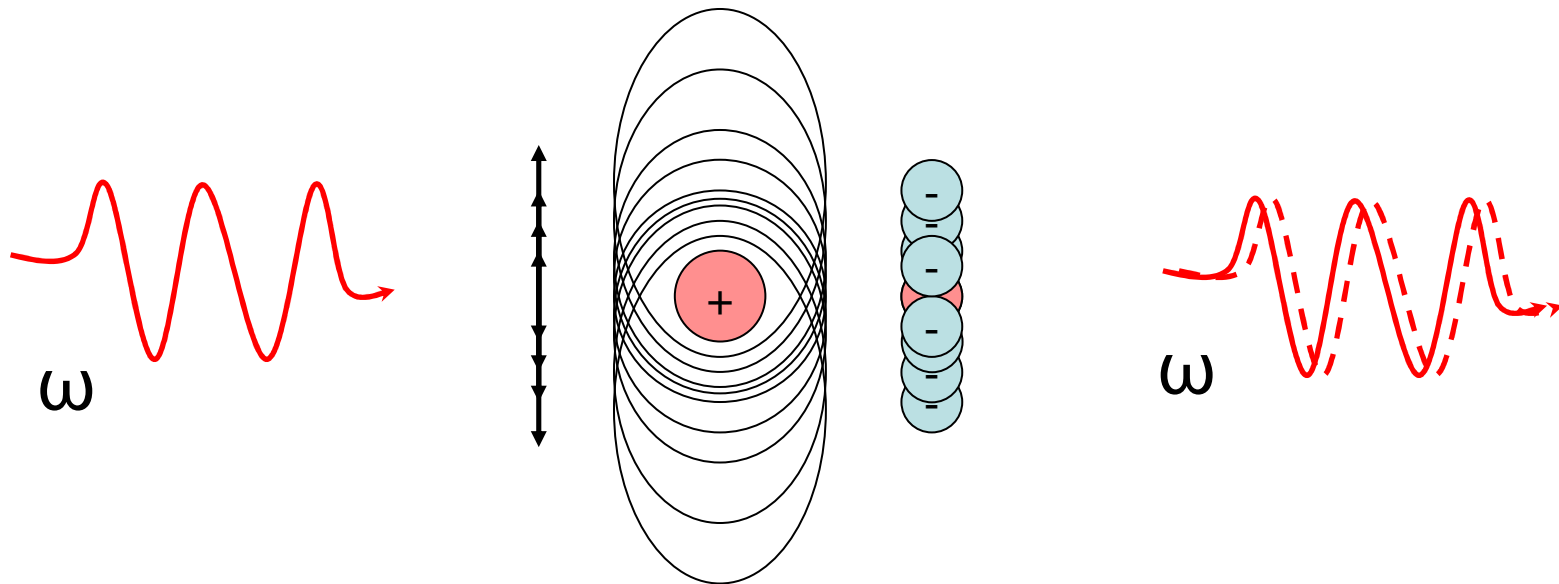
$$P \sim e \times r \times N$$

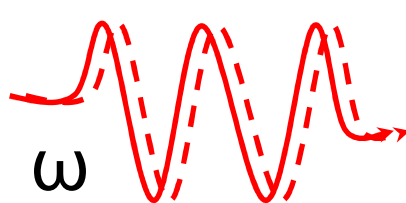
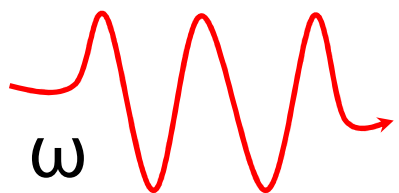
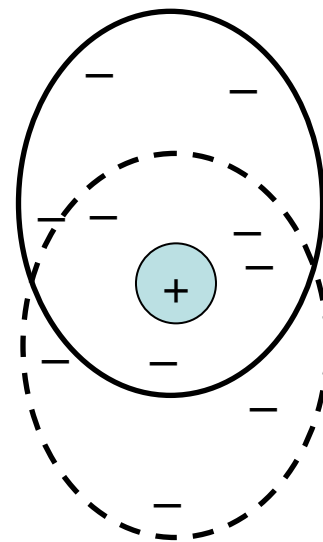
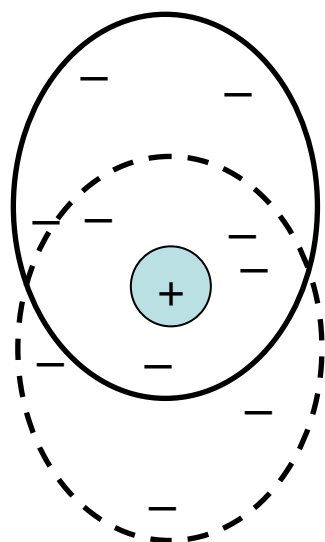
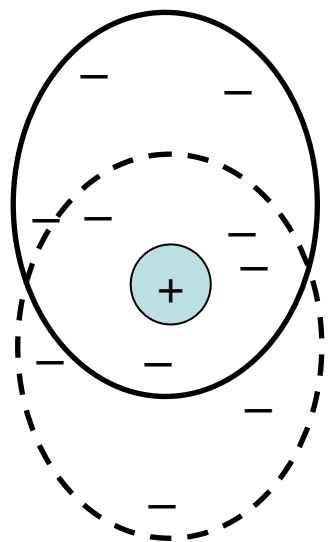
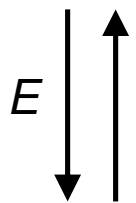
$$r \sim E$$

$$P \sim a \times E$$

ω



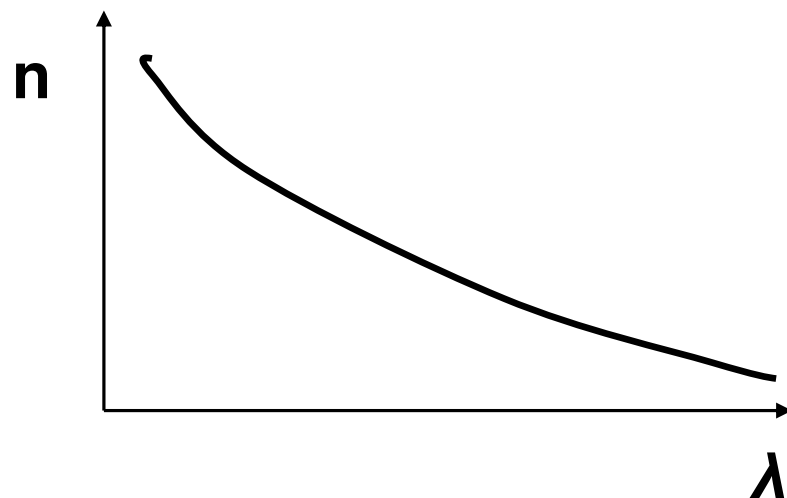




$$v < c$$

$$v = c/n$$

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

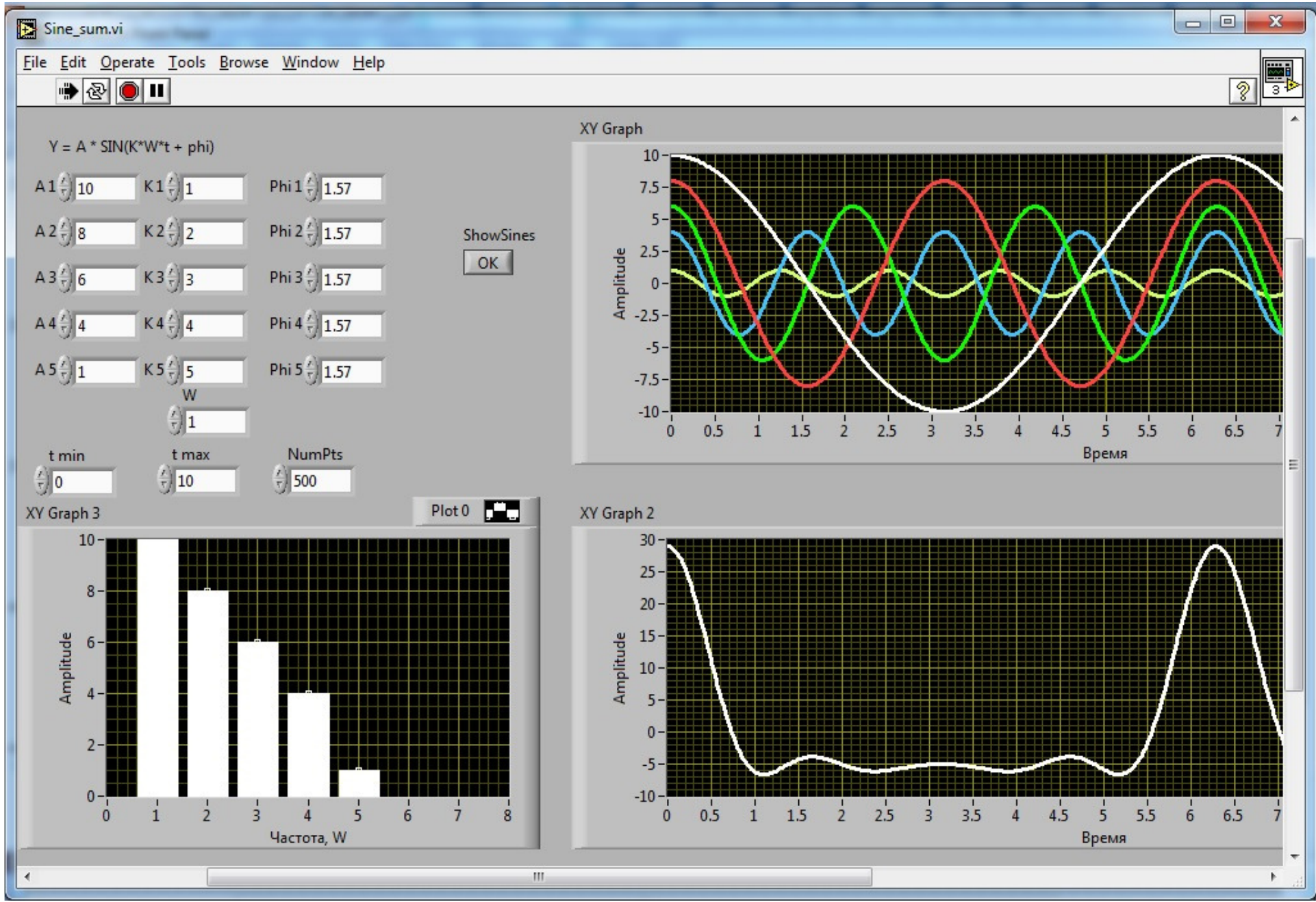


Сложение гармонических колебаний

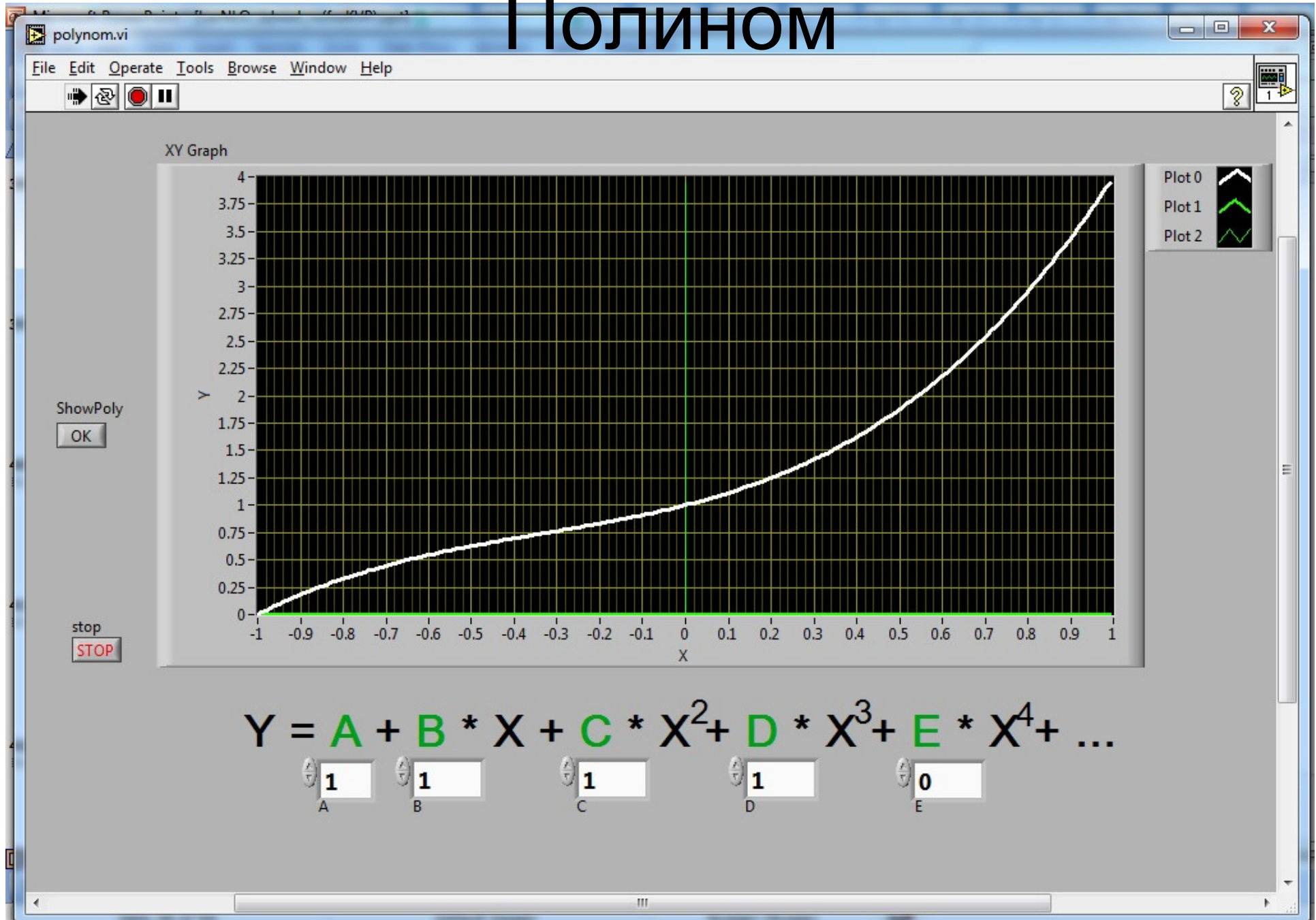
Фурье-преобразование.

Время \rightarrow Частота

Частота \rightarrow Время



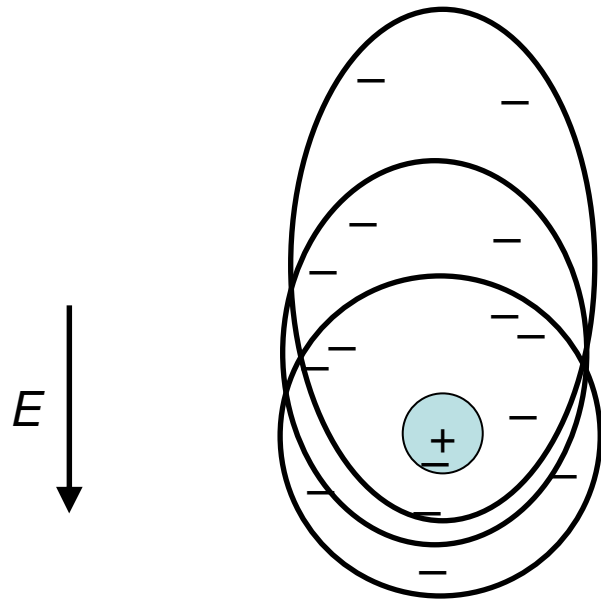
Полином



Нелинейная оптика

Дипольный момент

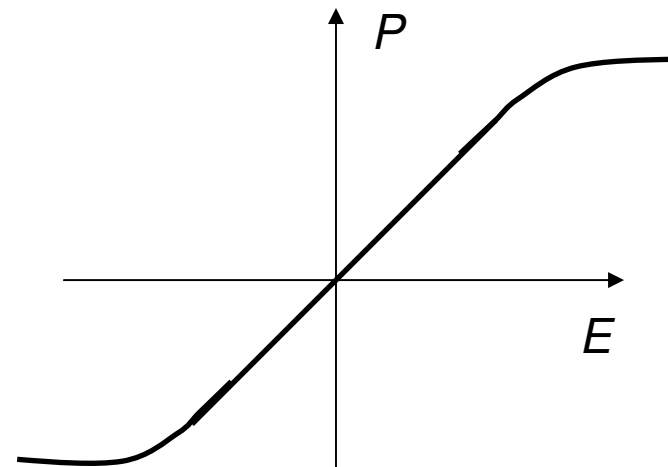
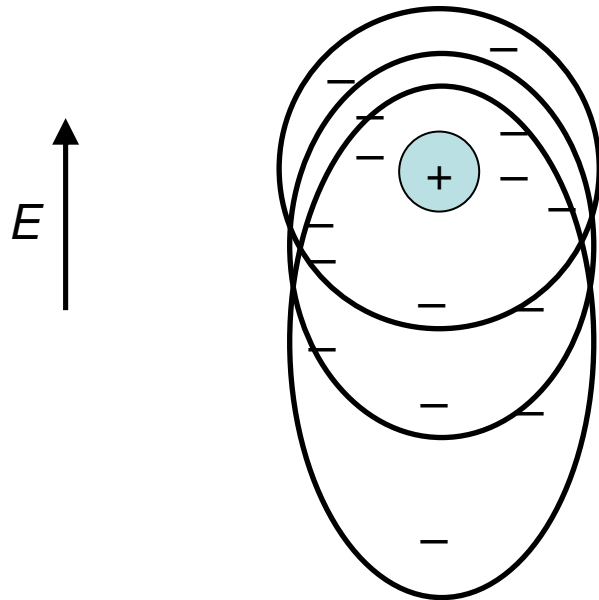
Переизлучение



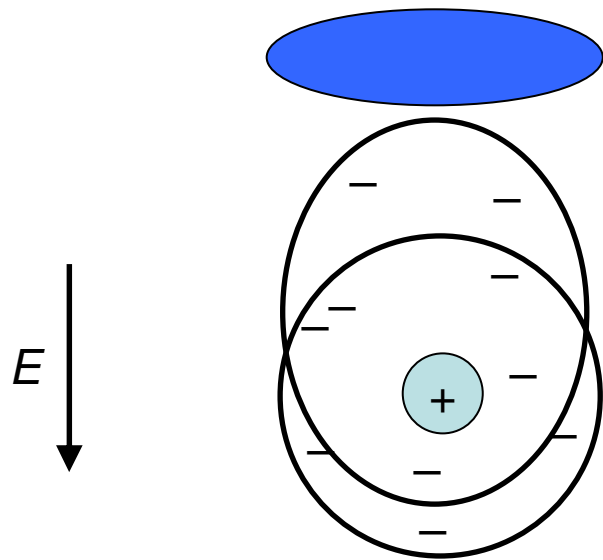
$P = a \times E$ – линейная зависимость

$P \neq a \times E$
Нелинейная зависимость

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

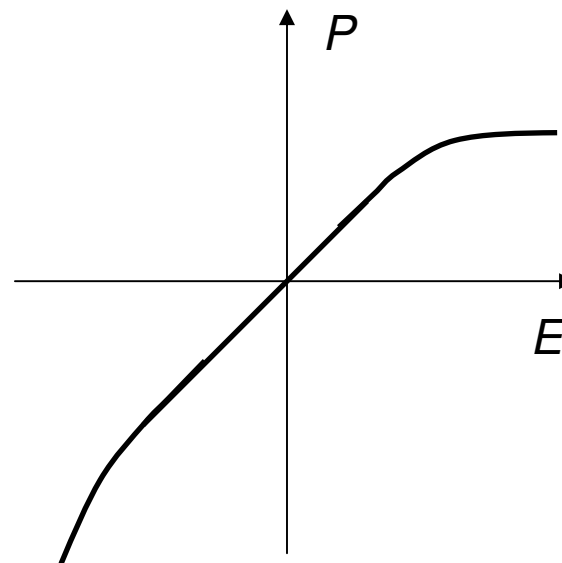
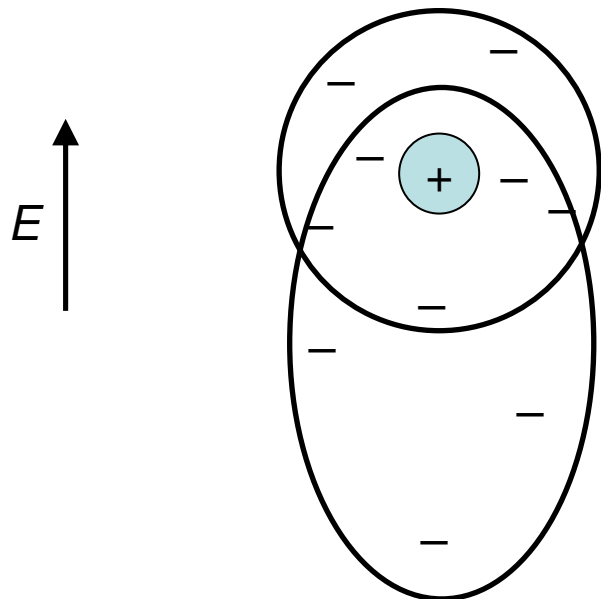


Центросимметричная среда



$P \neq a \times E$
 Нелинейная зависимость

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



Нецентросимметричная среда

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

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

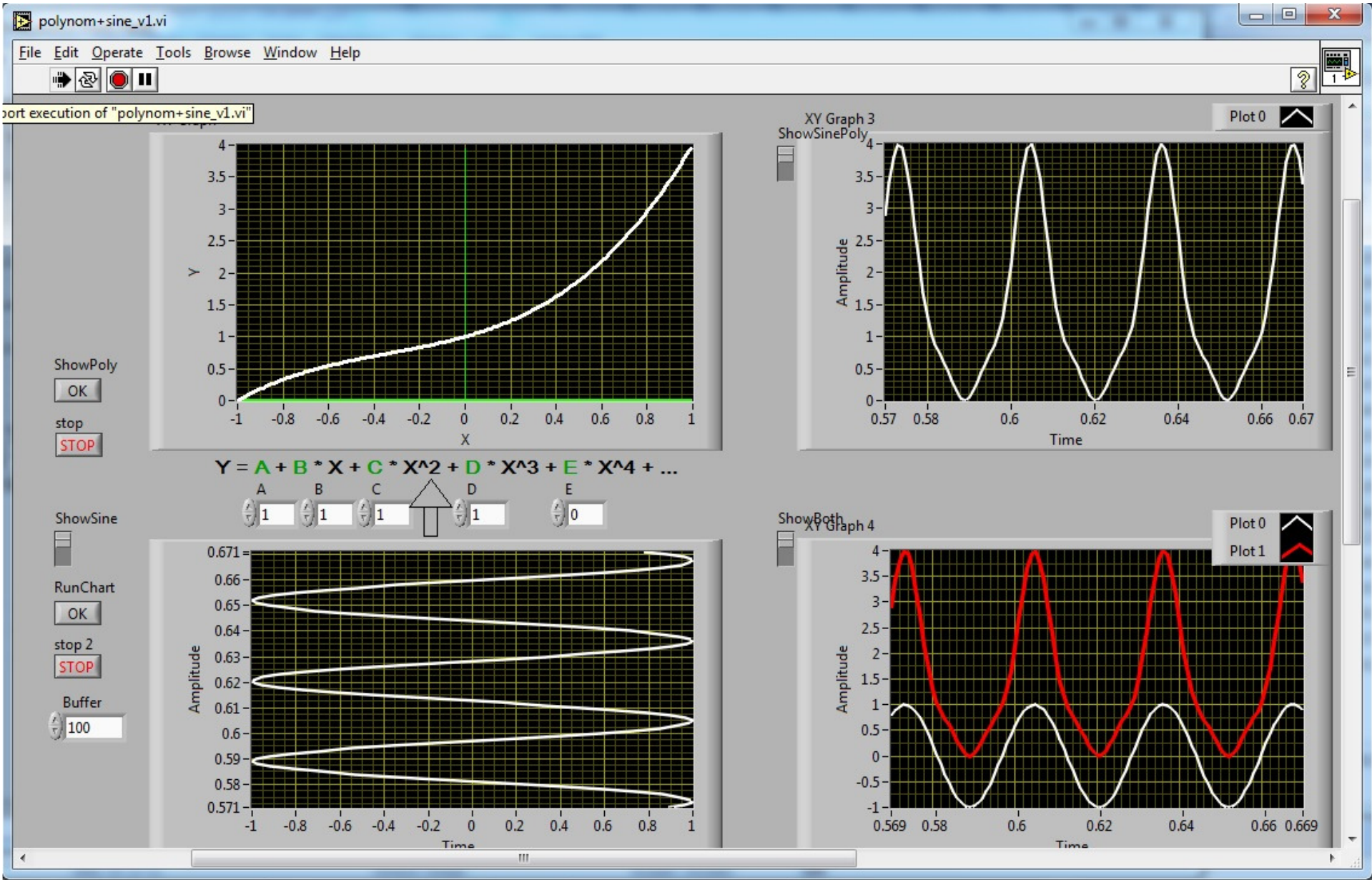
$$aE \sim \cos(\omega t)$$

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

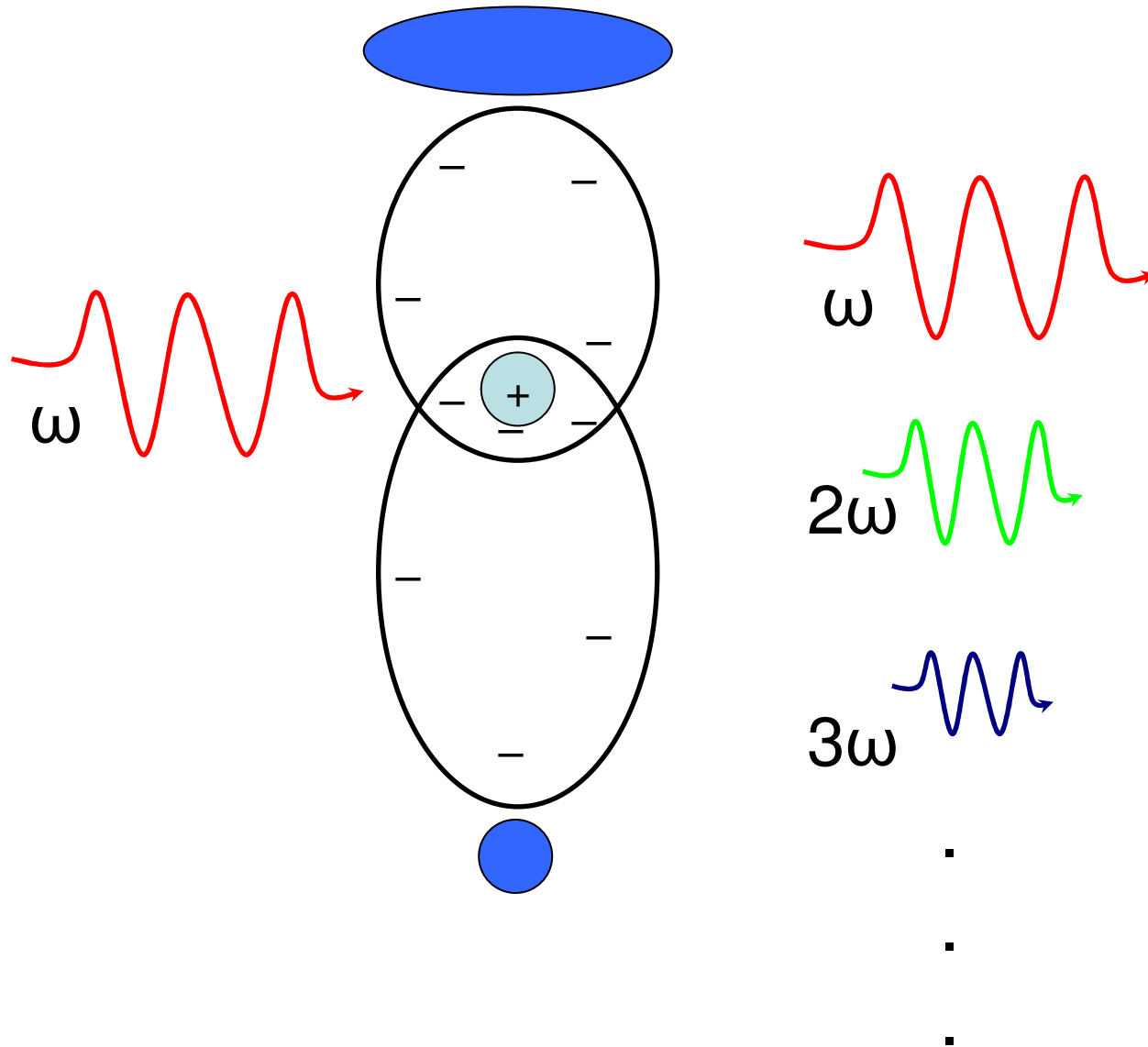
$$cE^3 \sim \cos^3(\omega t) \sim \cos(3\omega t) + \dots$$

Но! Диполь переизлучает!

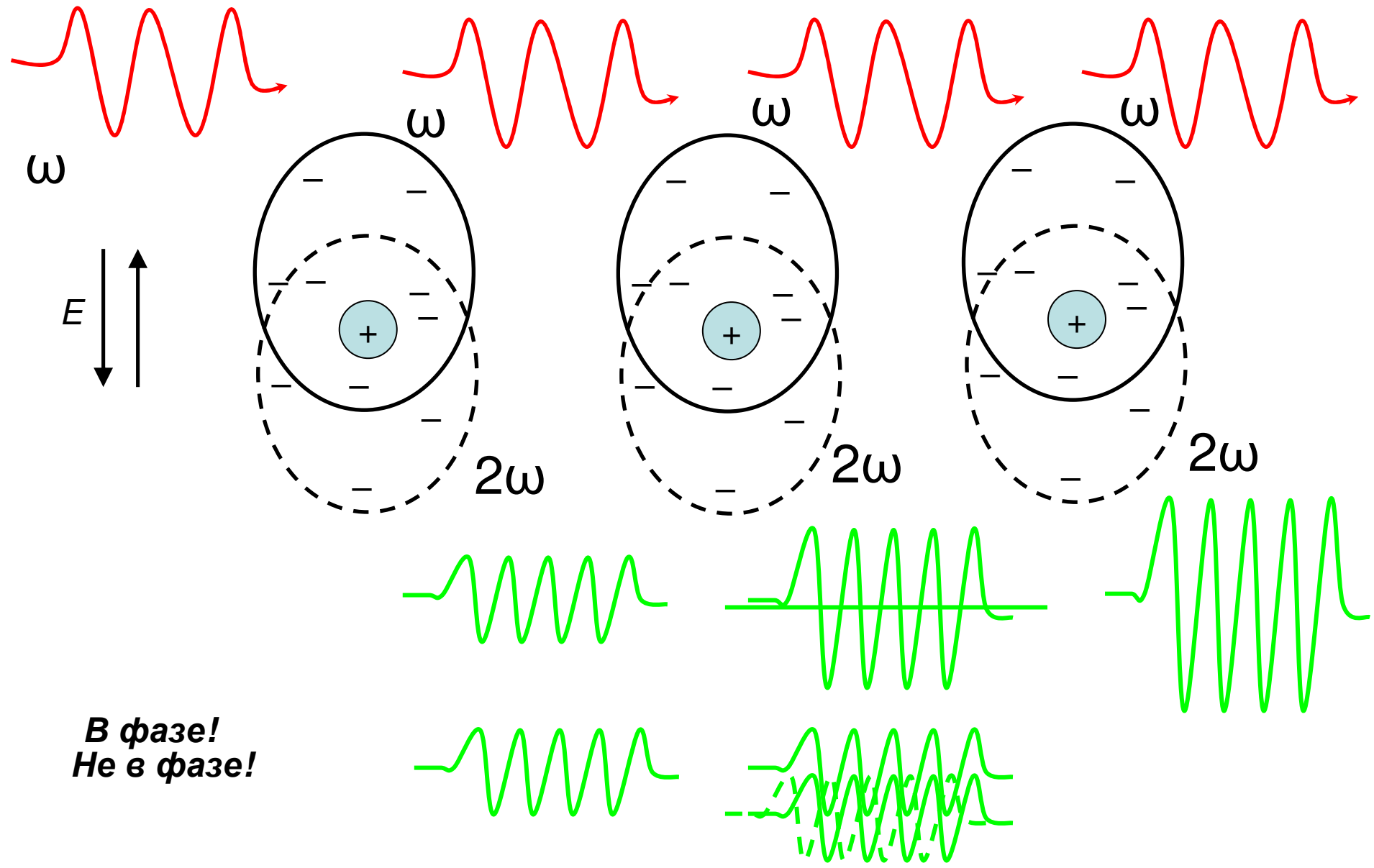
ω 2ω 3ω 4ω 5ω \dots



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



Эффективная ГВГ



В фазе!
Не в фазе!

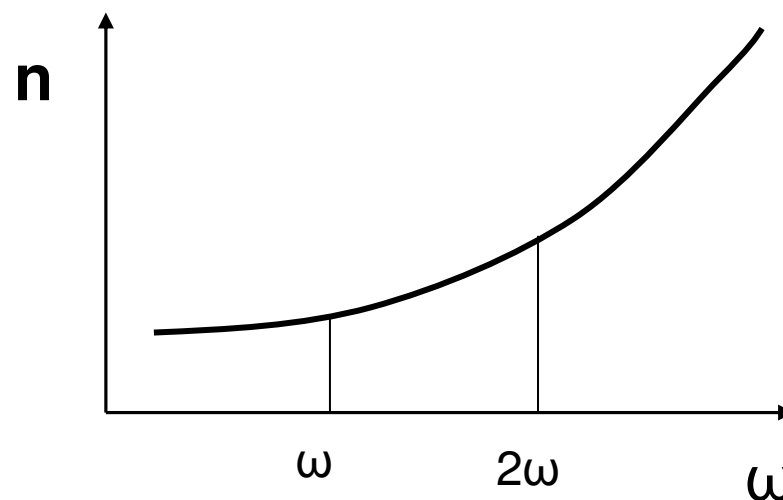
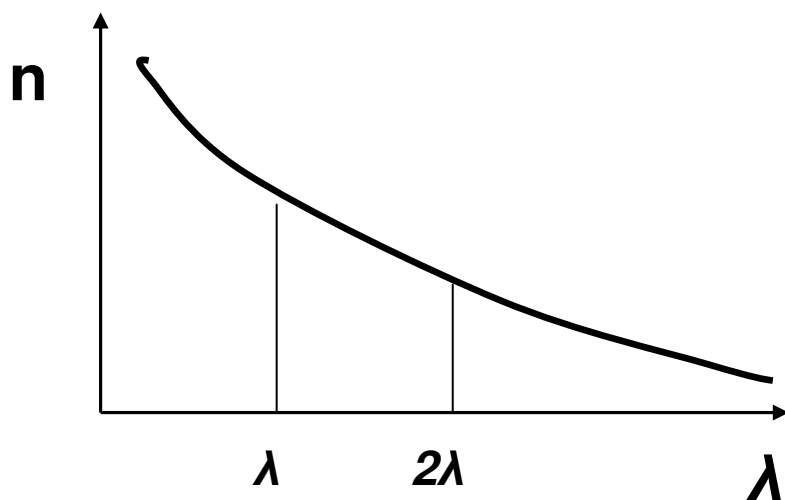
Условие Фазового Синхронизма

$$v(\omega) = v(2\omega) \quad v = c/n$$

$$n(\omega) = n(2\omega) \quad \omega = 2\pi f = 2\pi v/\lambda$$

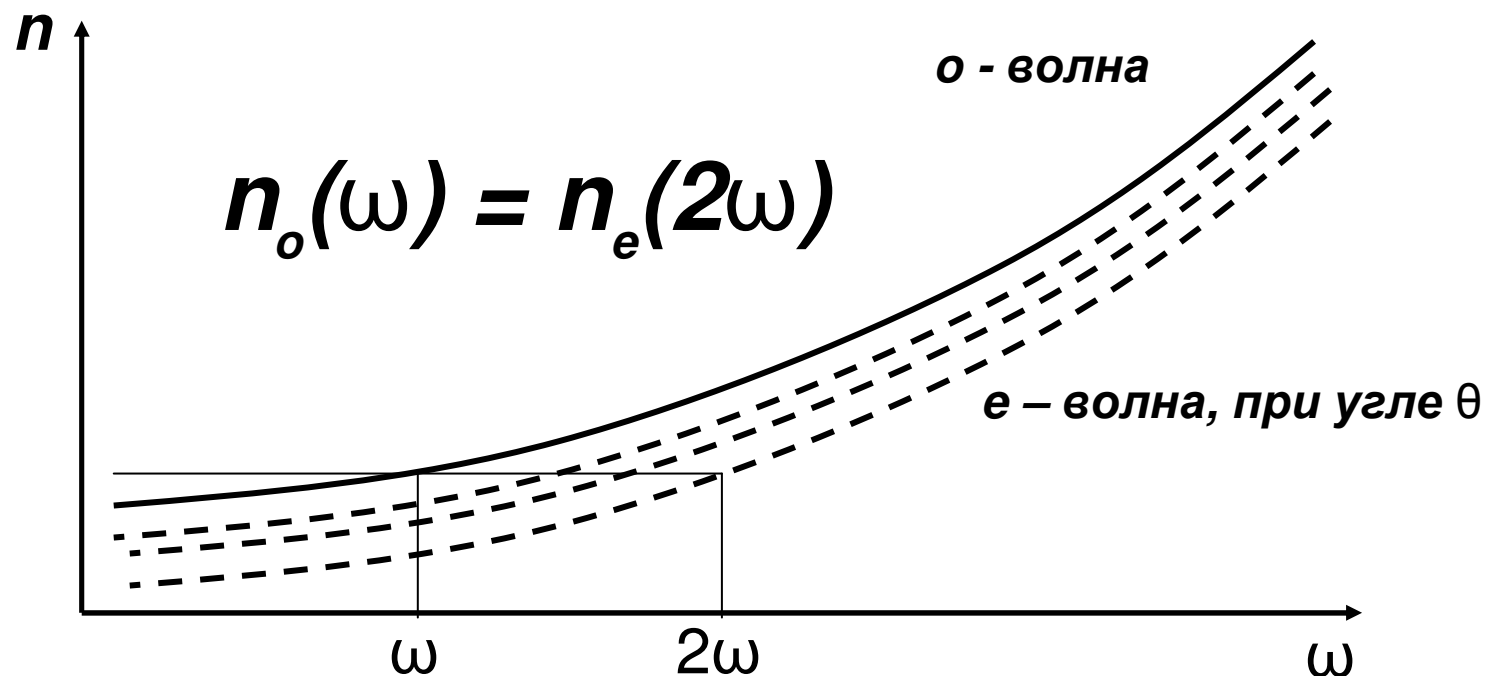
$$n(2\lambda) = n(\lambda)$$

**Это невозможно в средах
С НОРМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ!**



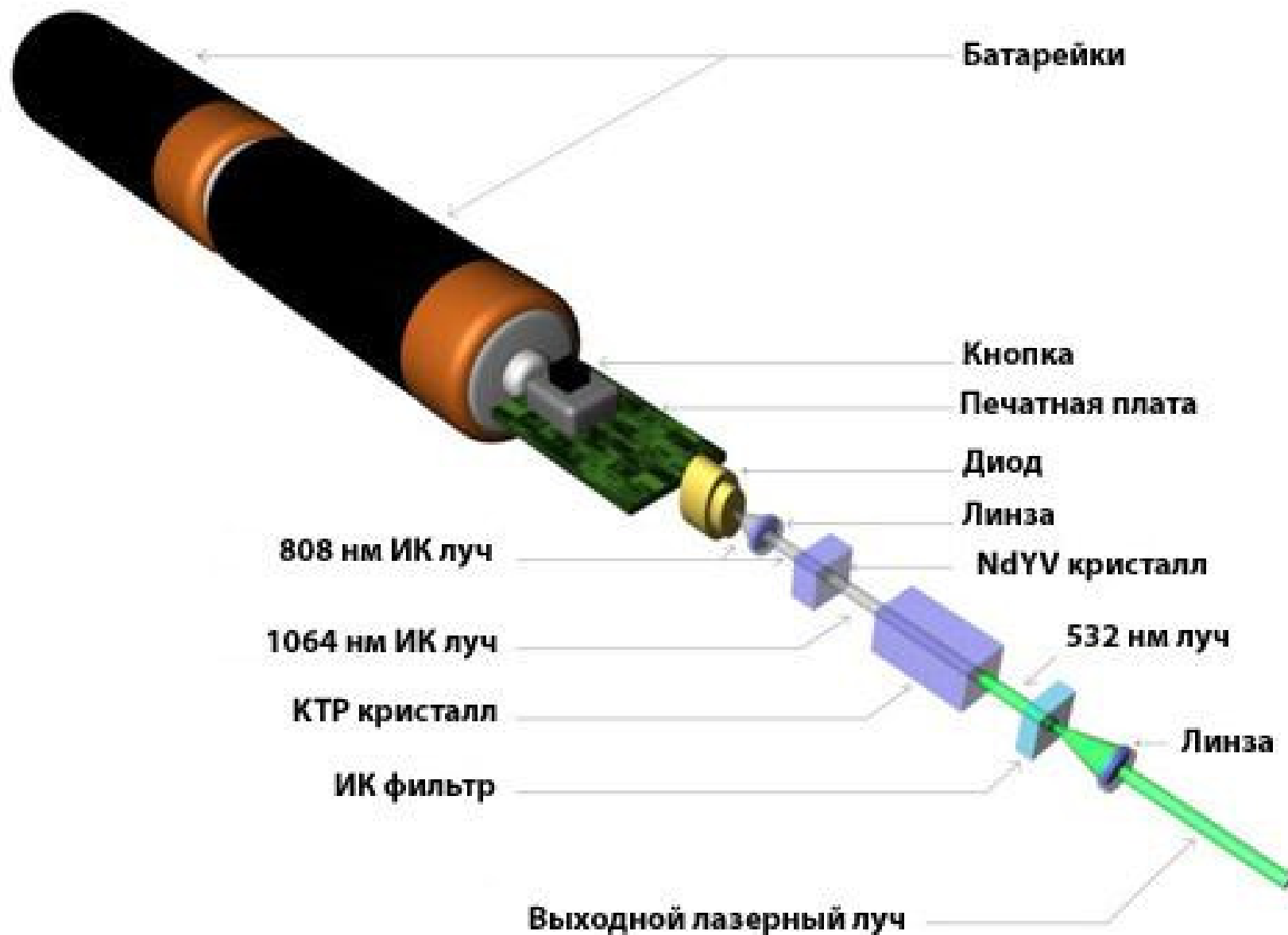
НО!
Это возможно в
АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ!

$n_o = n_o(\omega)$ Обыкновенная волна \uparrow
 $n_e = n_e(\omega, \theta)$ Необыкновенная волна \rightarrow



ГВГ

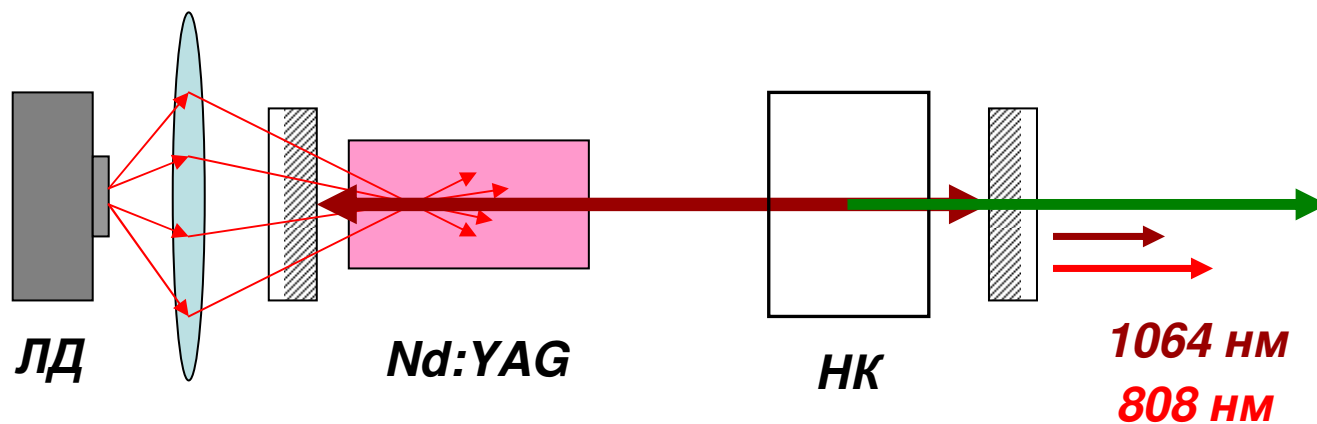
Как устроена мощная лазерная указка



808 нм

1064 нм

532 нм



Проверим?



enter@ilc.edu.ru

Осень 2016 года

***Международный Учебно-Научный Лазерный Центр
МГУ имени М.В.Ломоносова***

***Учебно-методические семинары
по вопросам связанным с***

***Оптикой,
Квантовой физикой,
Фотоникой,***

Применением лазеров в повседневной жизни...

Спасибо за внимание!

