

# Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Лекция 10:

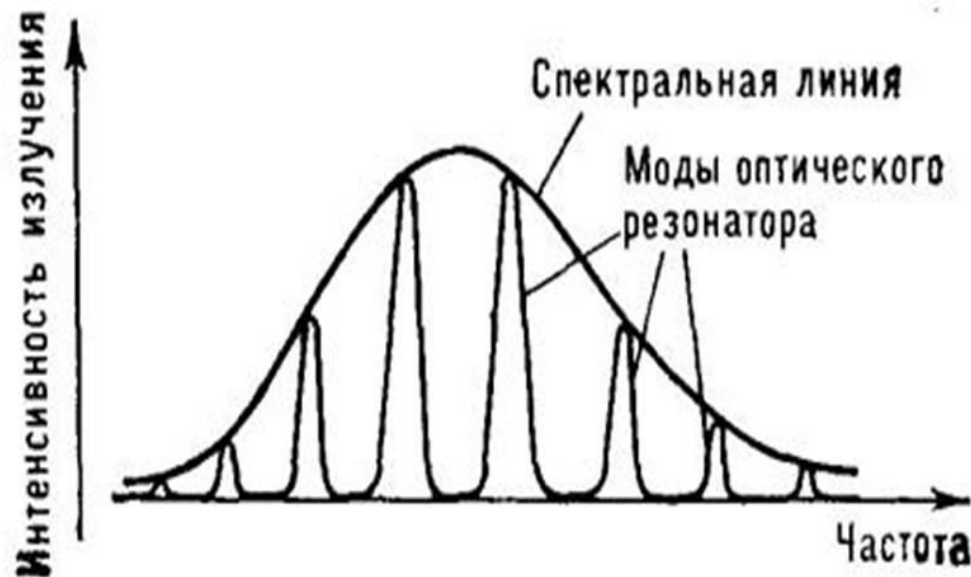
## Селекция мод. Режимы работы лазера.

**В.М. Шандаров**

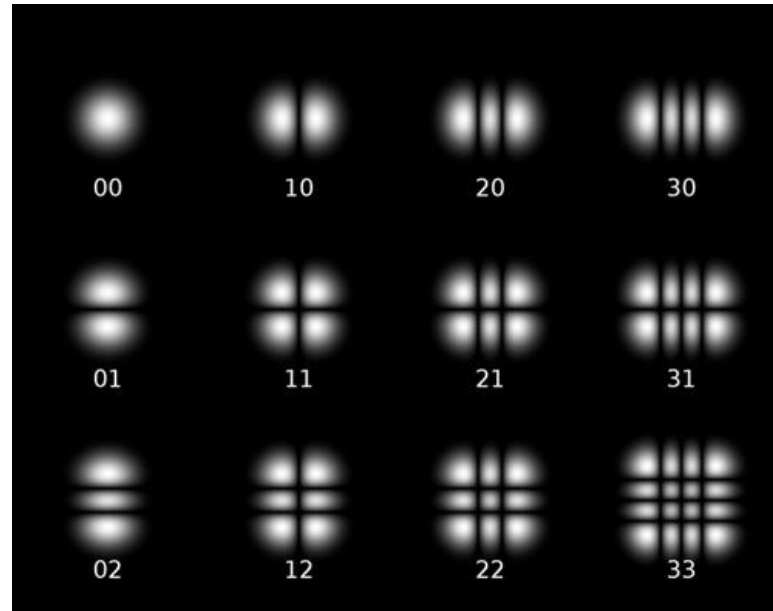
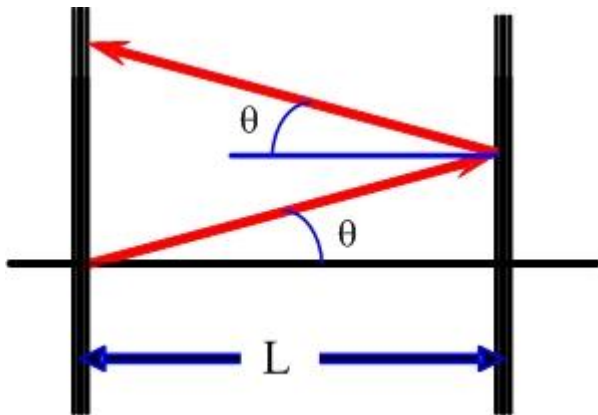
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

# Спектральный состав лазерного излучения

Спектр, линия активной среды и моды оптического резонатора



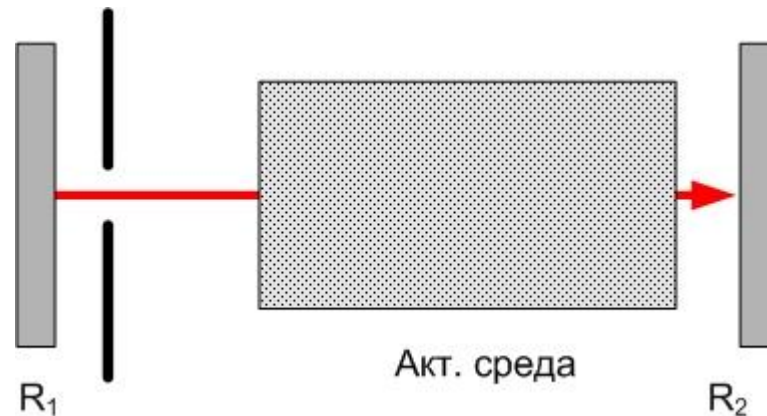
# Селекция поперечных мод



Для поперечных мод низкого порядка световое поле локализовано ближе к осевой области резонатора

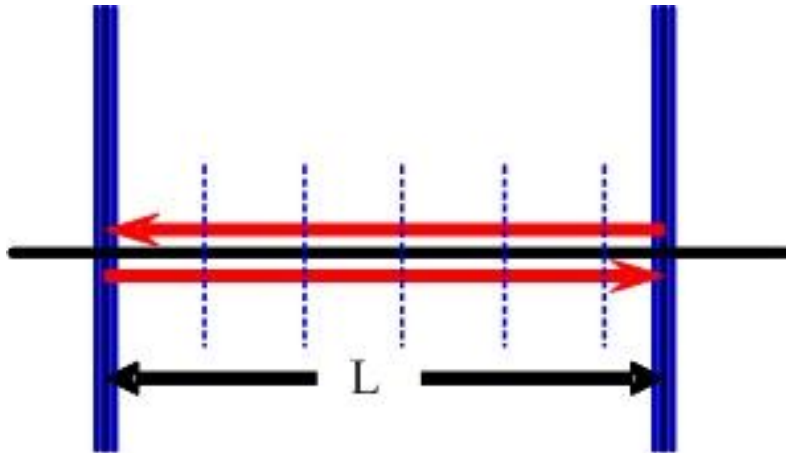
# Селекция поперечных мод

Принцип подавления поперечных мод высшего порядка основан на исключении возможности возвращения световой волны в резонатор при ее распространении в неосевом направлении.



Простейший способ – введение диафрагмы в оптический резонатор

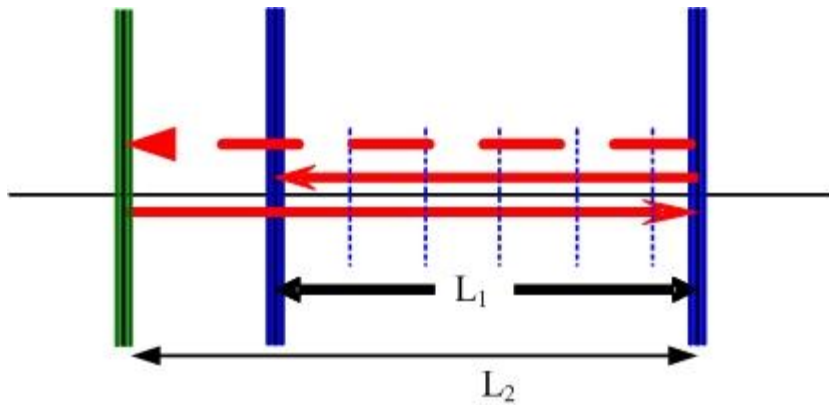
# Селекция продольных мод



Моды резонатора, образованные волнами, распространяющимися вдоль его оптической оси, называют продольными или аксиальными

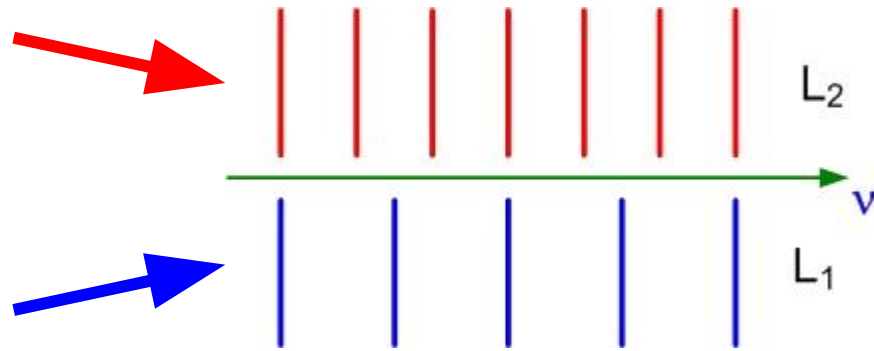
# Селекция продольных мод

1. Составной  
(трехзеркальный)  
резонатор



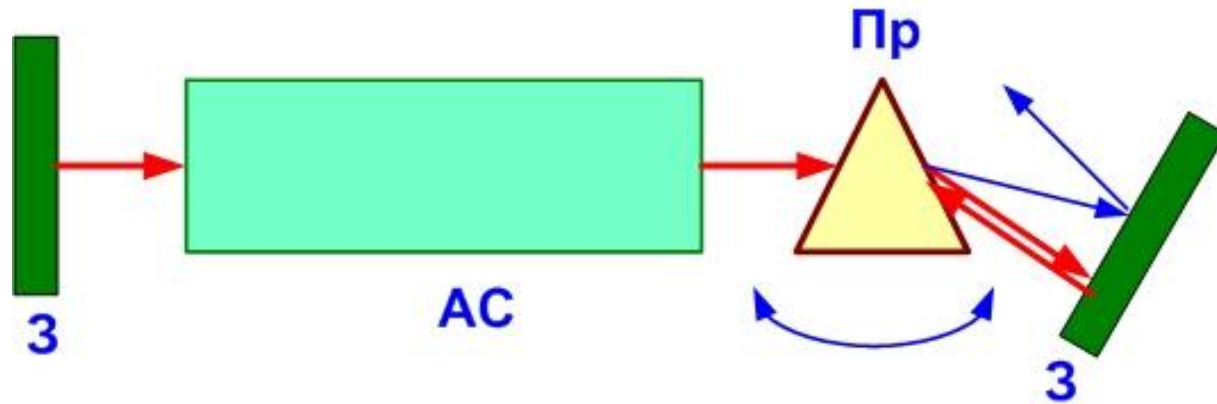
$$\Delta\nu_2 = \frac{c}{2L_2}$$

$$\Delta\nu_1 = \frac{c}{2L_1}$$



# Селекция продольных мод

Селекция продольных мод с помощью дисперсионного элемента



# Режимы работы лазеров – режим свободной генерации

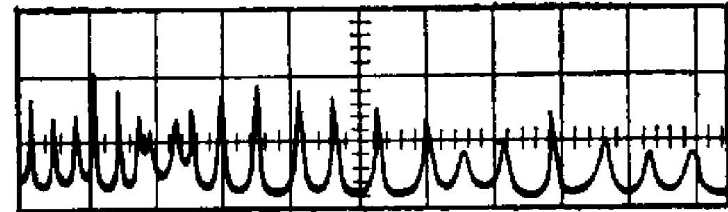
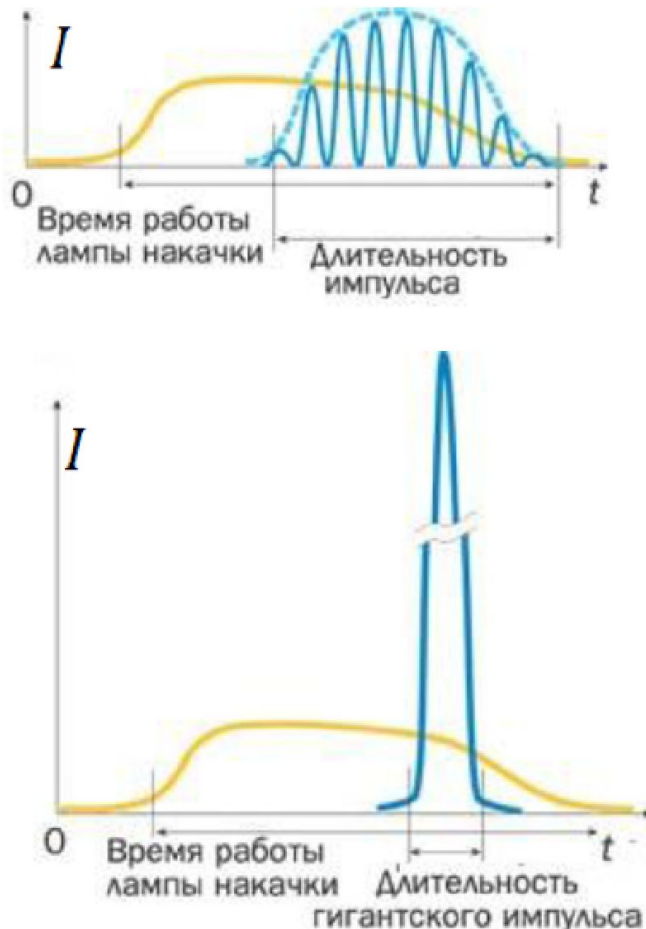


Рис. 5.25. Типичная временная зависимость выходного излучения многомодового твердотельного лазера. В этом случае представлено выходное излучение рубинового лазера, а одно деление на шкале времени соответствует 10 мкс.

Для улучшения характеристик излучения используется режим модуляции добротности.



# Режим модуляции добротности

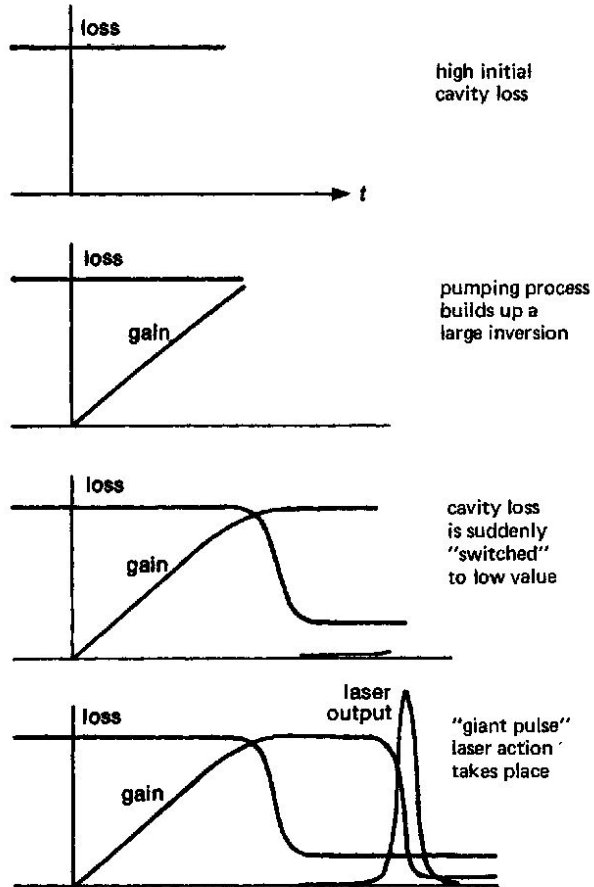
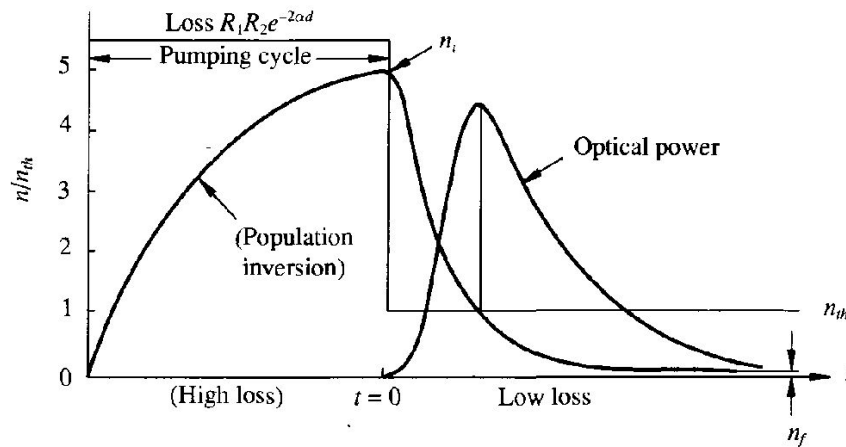
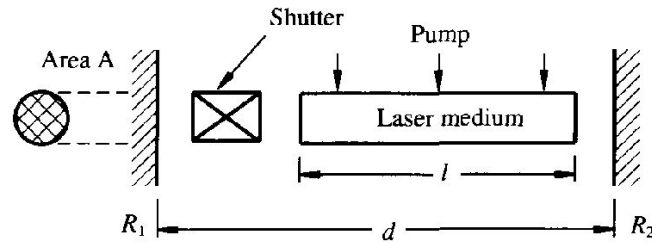
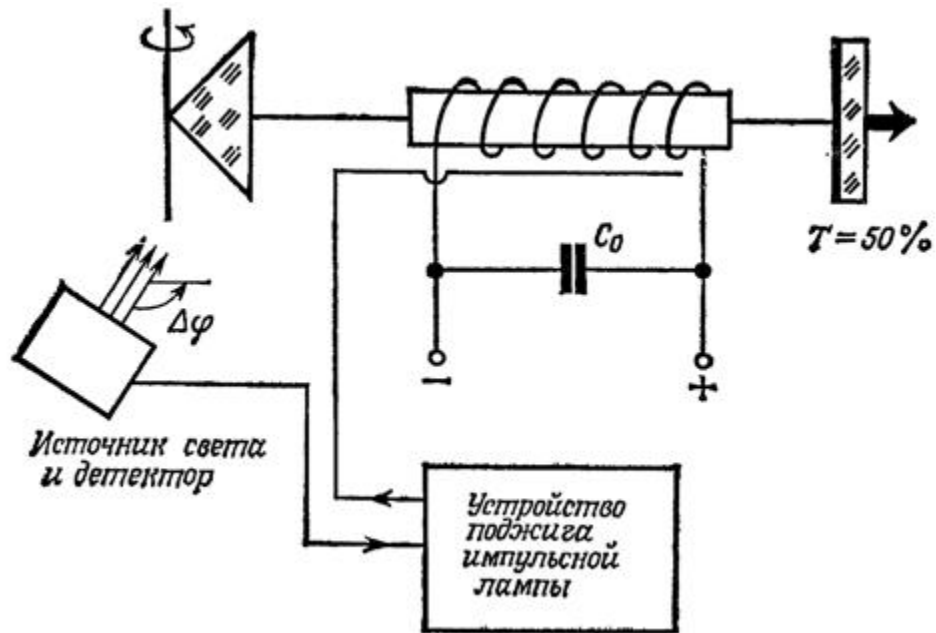


FIGURE 26.1  
Laser Q-switching, step-by-step.

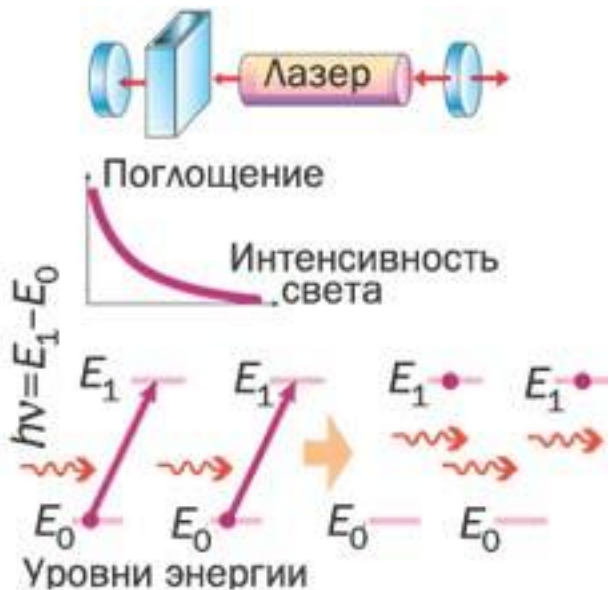
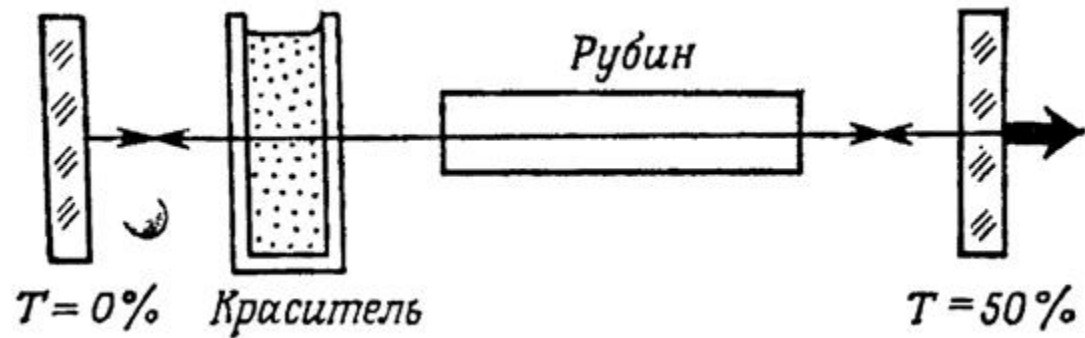
# Режим модуляции добротности



# Модуляция добротности (механический модулятор)

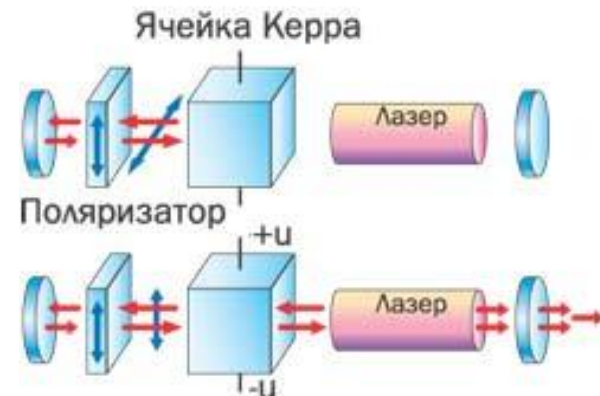
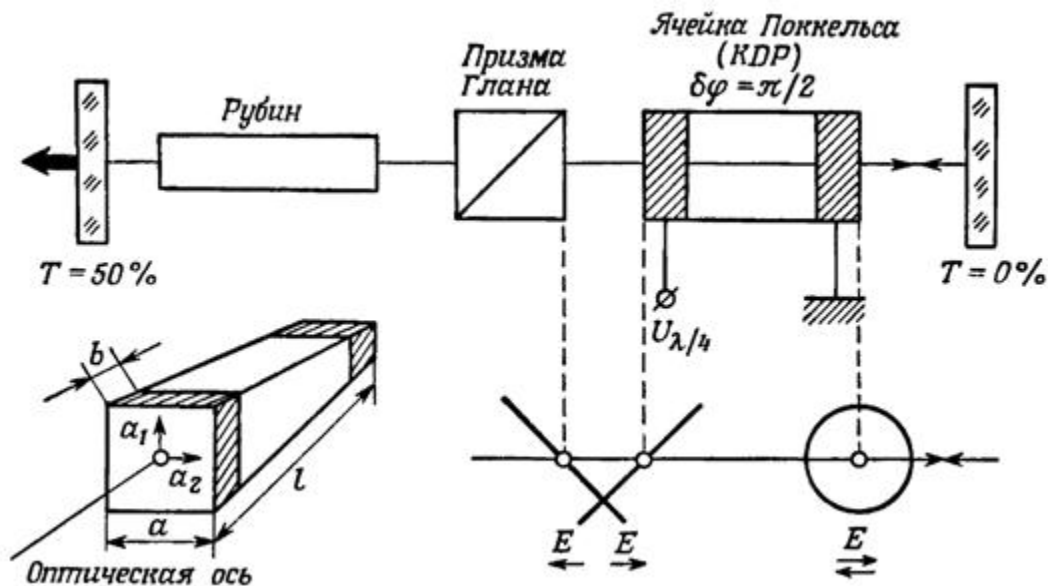


# Модуляция добротности (фототропный модулятор)



Резонансное поглощение излучения растворами органических красителей или стеклами с примесью сульфида кадмия. Слабый световой поток практически полностью поглощается, с ростом его интенсивности поглощение резко падает. Это связано с достижением режима насыщения для молекул красителя. Примерно через  $10^{-3}$  с возбужденные частицы возвращаются в основное состояние, и затвор снова готов к работе. Фототропный модулятор позволяет получать импульсы длительностью порядка  $10^{-10}$ - $10^{-12}$  секунды.

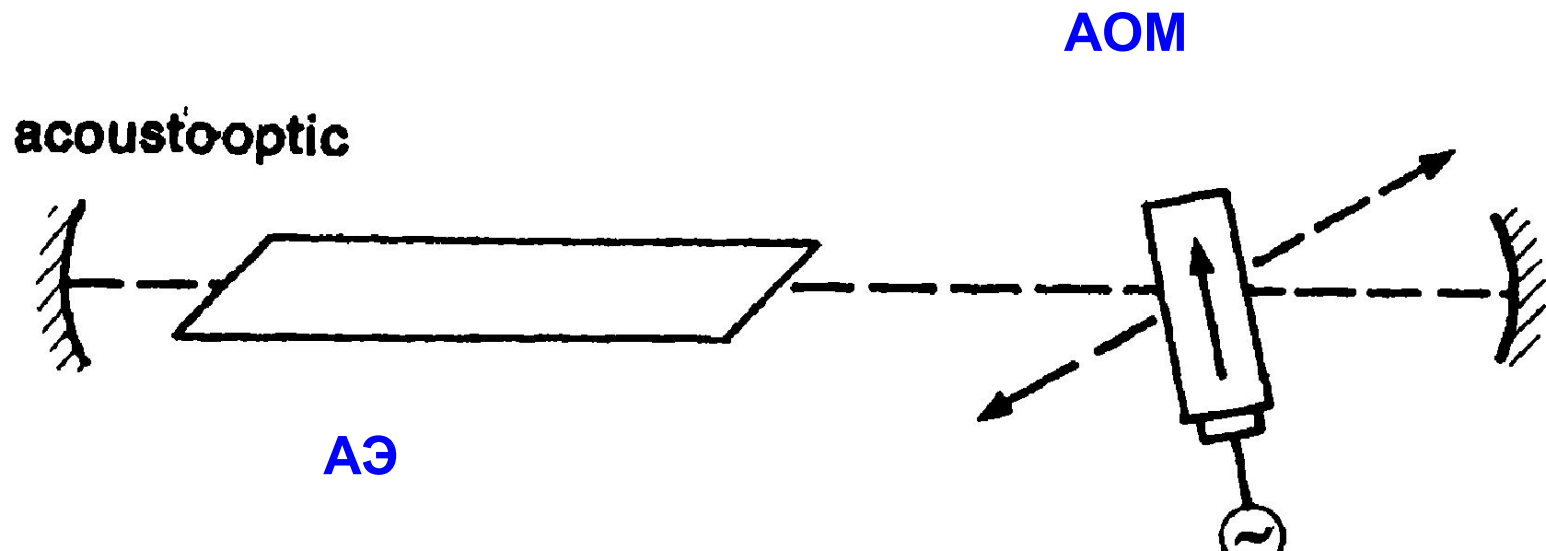
# Модуляция добротности (электрооптический модулятор)



# Модуляция добротности (электрооптический модулятор)

Импульсы длительностью около  $10^{-10}$  секунды дают модуляторы добротности, основанные на повороте плоскости поляризации света в веществе при наложении на него поперечного электрического (эффекты Керра и Погкельса) или продольного магнитного поля (эффект Фарадея). Поляризованное излучение активной среды не проходит сквозь модулятор, пока на него не поступит управляющее напряжение. Быстродействие этих затворов чрезвычайно велико — они срабатывают за  $10^{-13}$  секунды.

# Модуляция добротности (акустооптический модулятор)



Акустооптический метод основан на возрастании потерь в резонаторе в случае дифракции света на акустических волнах

# Синхронизация продольных мод

Основная идея получения сверхкоротких импульсов генерации путем синхронизации продольных мод лазера состоит в следующем. Большинство реальных лазеров работает в многомодовом режиме, их частотный спектр представляет собой практически эквидистантную последовательность собственных продольных мод резонатора, разделенных интервалом  $\Delta\nu=c/2L$ , где  $c$  - скорость света в резонаторе,  $L$  — длина резонатора. Следовательно, суммарное поле генерации является суперпозицией монохроматических компонент, соответствующих продольным модам:

$$E(t) = \sum_{l=-N}^N E_l \cdot \exp\{i[(\omega_0 + l \cdot \Delta\omega)t + \varphi_l]\}$$

$E_l$  и  $\varphi_l$  – амплитуда и фаза  $l$ -той моды при  $t=0$



# Синхронизация продольных мод

Если фазы отдельных мод случайны, то полная мощность излучения равна сумме мощностей всех мод. Если же фазы синхронизированы, то поля мод интерферируют и возможен режим генерации сверхкоротких импульсов.

Пусть амплитуды всех мод одинаковы –  $E_l = E_0$ , а  $\varphi_l = 0$ .

Тогда:

$$E(t) = \sum_{l=-N}^N E_0 \cdot \exp\{i[(\omega_0 + l \cdot \Delta\omega)t]\}$$

и, суммируя, получим:

# Синхронизация продольных мод

$$E(t) = A(t) \cdot \exp[i\omega_0 t]$$

$A(t)$  – сумма геометрической прогрессии

$$A(t) = \sum_{l=-N}^N E_0 \cdot \exp(il\Delta\omega t)$$

Со знаменателем  $\exp(i\Delta\omega t)$

С таким выражением мы встречались, рассматривая дифракцию света на системе из  $N$  прямоугольных щелей.

# Синхронизация продольных мод

Поэтому для  $A(t)$  получим:

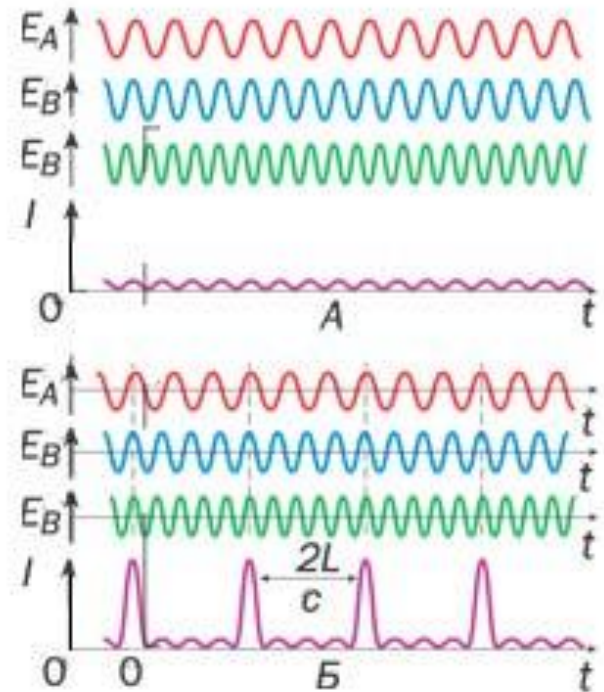
$$A(t) = E_0 \cdot \frac{\sin\left[(2N + 1) \cdot \frac{\Delta\omega t}{2}\right]}{\sin\left[\frac{\Delta\omega t}{2}\right]}$$

Таким образом,  $E(t)$  – это гармоническая волна с частотой несущей  $\omega_0$  и амплитудой  $A(t)$ .

# Синхронизация продольных мод

Выходная мощность лазера:

$$P_{\text{вых}} = P_0 \cdot \frac{\sin^2 \left[ (2N + 1) \cdot \frac{\Delta\omega t}{2} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{\Delta\omega t}{2} \right]}$$



# Синхронизация продольных мод

## Важные следствия:

1. Энергия излучается в виде последовательности коротких световых импульсов. Соседние импульсы следуют с интервалом  $\tau=2L/c$  – это время прохода фотоном резонатора.
2. Ширина импульса примерно равна временному интервалу между его вершиной и ближайшим минимумом:

$$\tau_e = \frac{\tau}{2N+1}$$

3. Число генерируемых мод определяется шириной спектральной линии и размером резонатора.

# Синхронизация продольных мод

4. Минимально возможная длительность излучения для разных активных сред ( $\tau_{\text{и}} \sim \Delta\nu^{-1}$ ):

-Газовые лазеры -  $\tau_{\text{и}} \sim$  до 1 нс

-Твердотельные – до 1 пс

5. В режиме синхронизации мод пиковая мощность в импульсе в  $(2N+1)$  раз больше суммы мощностей отдельных мод.

# Синхронизация мод - методы

1. Активная синхронизация с помощью управляемого модулятора:
  - За счет амплитудной модуляции модулятором внутри резонатора с частотой модуляции, равной межмодовому интервалу. Т.к. при амплитудной модуляции в спектре появляются боковые составляющие со сдвигом  $\Delta\omega$ , то все моды оказываются связанными.
  - Путем частотной модуляции: внешний модулятор меняет с частотой  $\Delta\omega$  длину резонатора, т.е. его резонансные частоты. Все моды имеют при этом одинаковый фазовый сдвиг относительно друг друга.
2. Пассивная синхронизация мод с помощью нелинейной среды в резонаторе.

# Синхронизация продольных мод

## Лазеры с синхронизацией мод

Активная среда	Элемент, осуществляющий синхронизацию	Режим работы	Длительность импульсов, пс
<i>Газ</i>			
He-Ne	Кварцевый АОМ	непрерывный	1000
He-Ne	НП (кювета с неоном)	непрерывный	350
He-Ne	НП (крезилвиолет в метаноле)	непрерывный	220
Ar <sup>+</sup>	Кварцевый АОМ	непрерывный	150
CO <sub>2</sub> (низк. давл.)	НП (SF <sub>6</sub> ), германиевый АОМ	непрерывный	10000–20000
CO <sub>2</sub> (ТЕА)	НП (SF <sub>6</sub> ), германиевый АОМ	импульсный	1000
<i>Твердое тело</i>			
YAG : Nd	Кварцевый АОМ	непрерывный	100
YAG : Nd	ЭОМ (LiNbO <sub>3</sub> )	импульсный	40
Стекло: Nd	НП (красители 9860 или 9840)	импульсный	5
Рубин	НП (DDI)	импульсный	10
GaAs	НП	непрерывный	5
Центры окраски	Синхронная накачка	непрерывный	5
<i>Жидкость</i>			
Родамин 6G	НП (DODCI)	непрерывный	0,025
Родамин 6G	НП (DODCI)	импульсный	1
Родамин 6G	Синхронная накачка	непрерывный	0,5
АОМ – акустооптический модулятор, ЭОМ – электрооптический модулятор, НП – насыщающийся поглотитель, ТЕА – лазер с поперечным возбуждением при атмосферном давлении			



**Спасибо за  
внимание!**