

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Лекция 10:

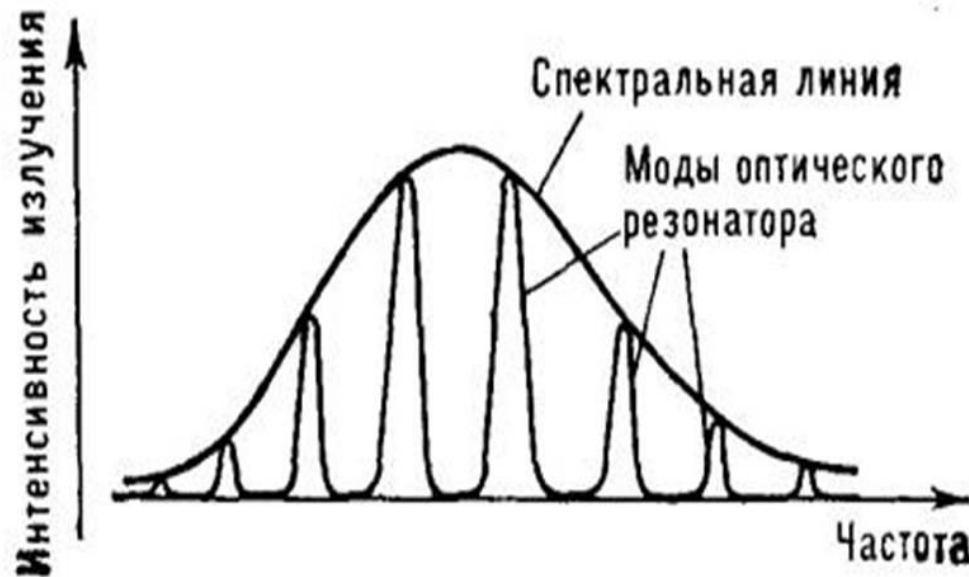
Селекция мод. Режимы работы лазера.

В.М. Шандаров

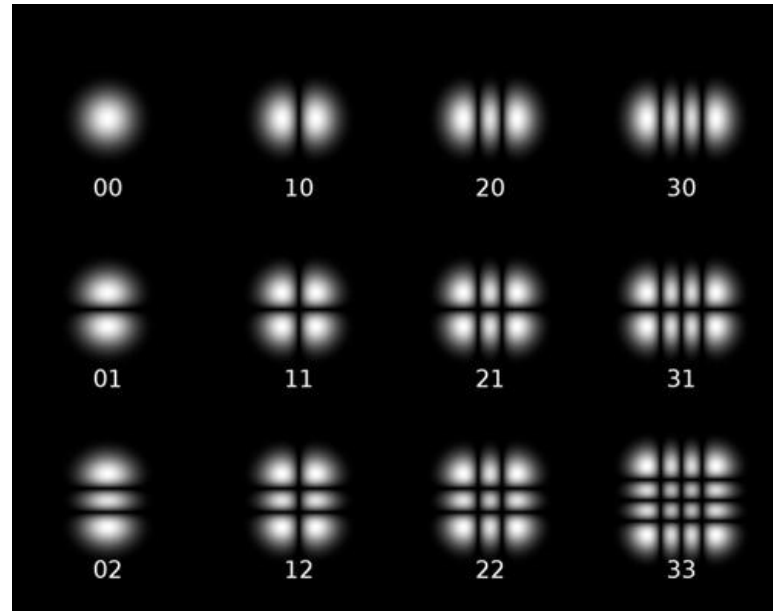
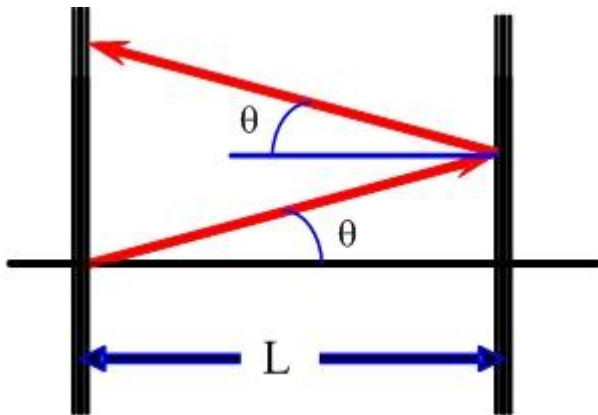
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Спектральный состав лазерного излучения

Спектр, линия активной среды и моды оптического резонатора



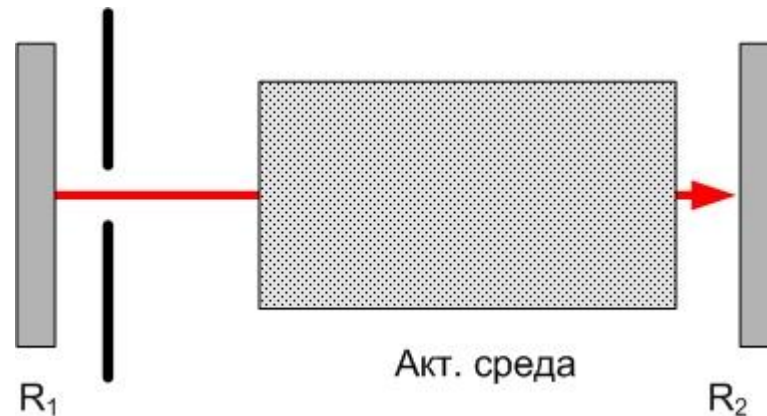
Селекция поперечных мод



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

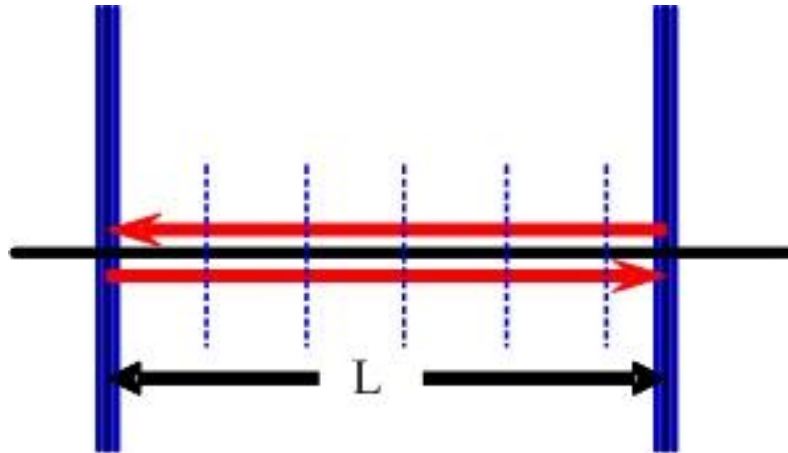
Селекция поперечных мод

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

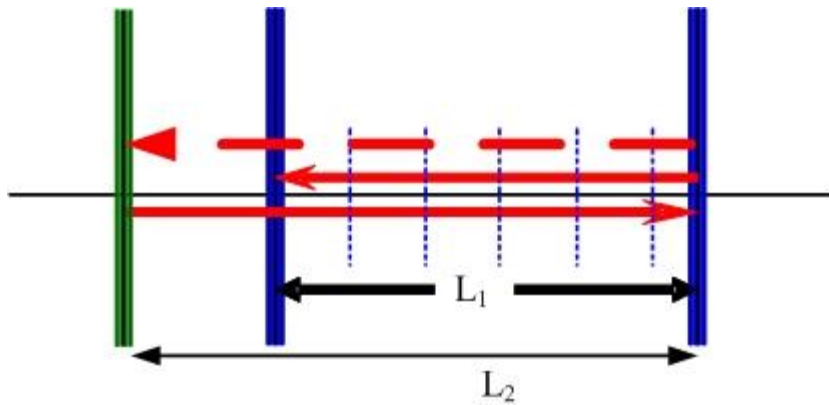
Селекция продольных мод



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

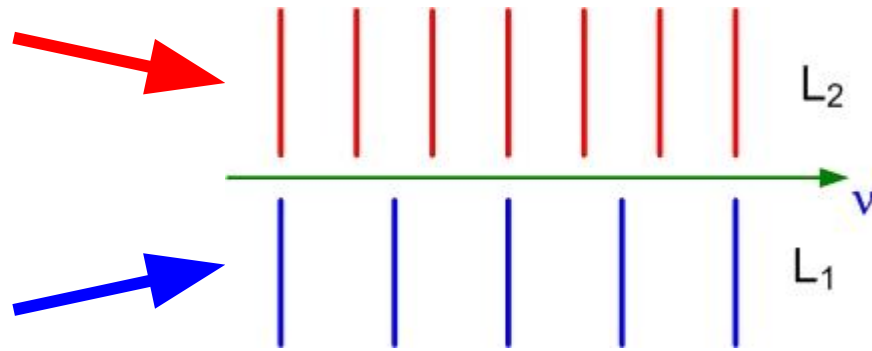
Селекция продольных мод

1. Составной
(трехзеркальный)
резонатор



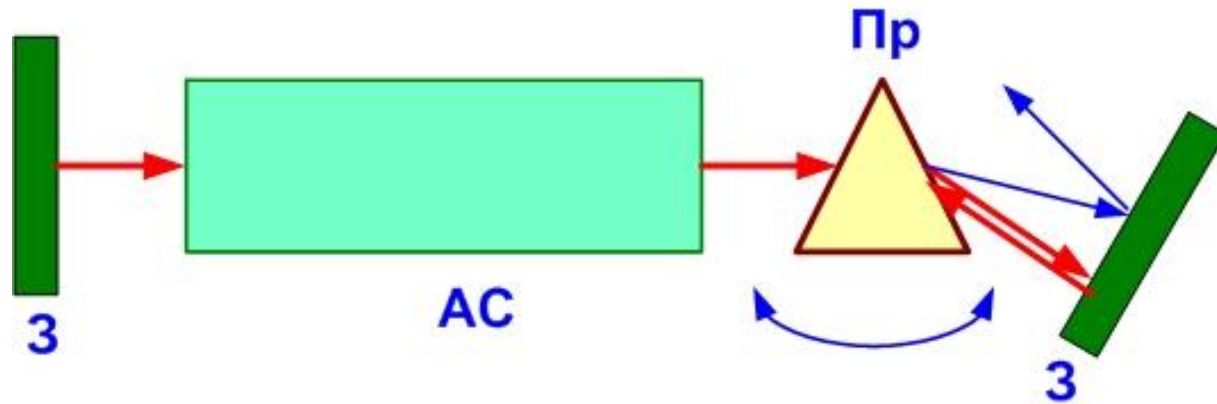
$$\Delta\nu_2 = \frac{c}{2L_2}$$

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



Селекция продольных мод

Селекция продольных мод с помощью дисперсионного элемента



Режимы работы лазеров – режим свободной генерации

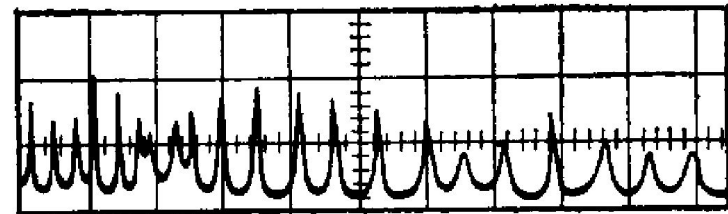
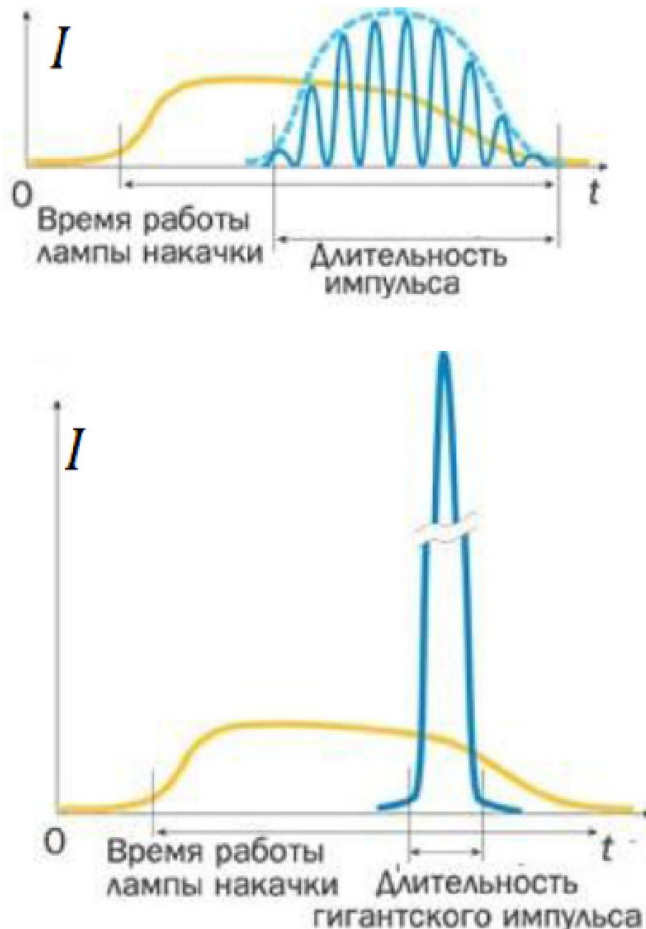


Рис. 5.25. Типичная временная зависимость выходного излучения многомодового твердотельного лазера. В этом случае представлено выходное излучение рубинового лазера, а одно деление на шкале времени соответствует 10 мкс.

Для улучшения характеристик излучения используется режим модуляции добротности.

Режим модуляции добротности

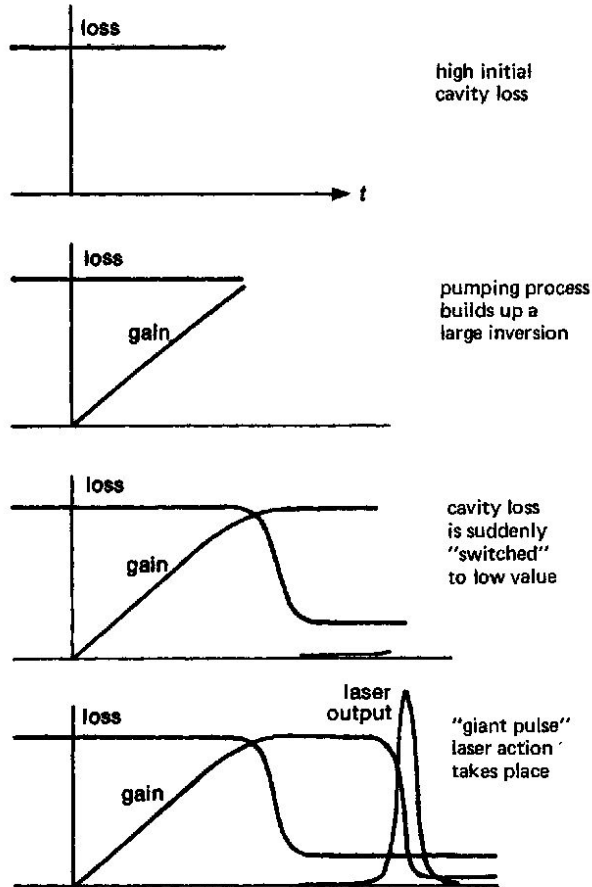
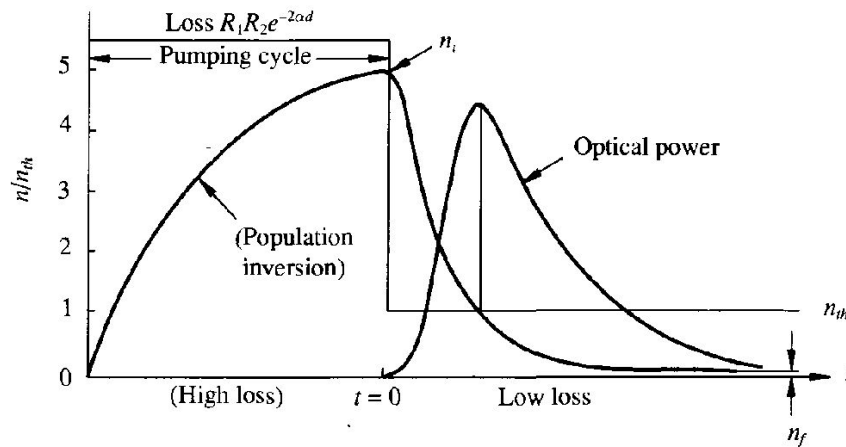
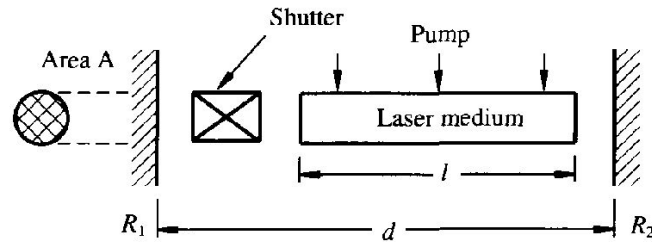
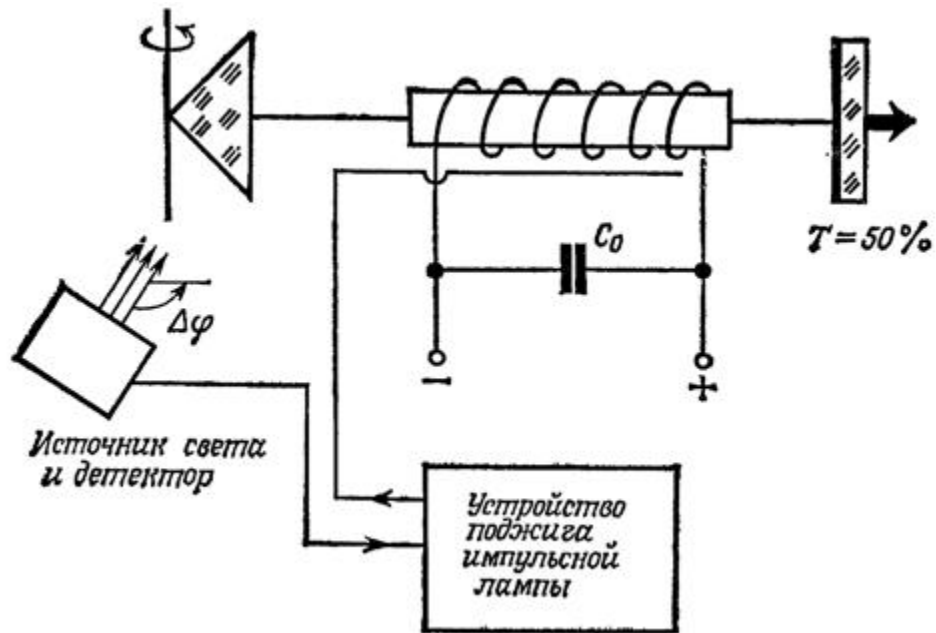


FIGURE 26.1
Laser Q-switching, step-by-step.

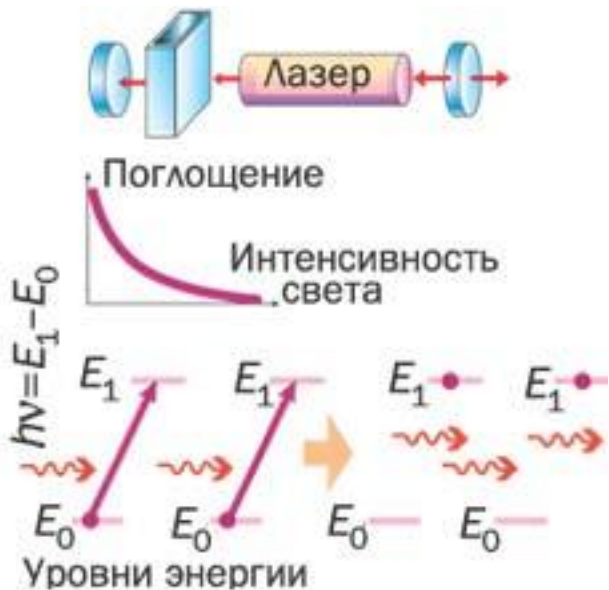
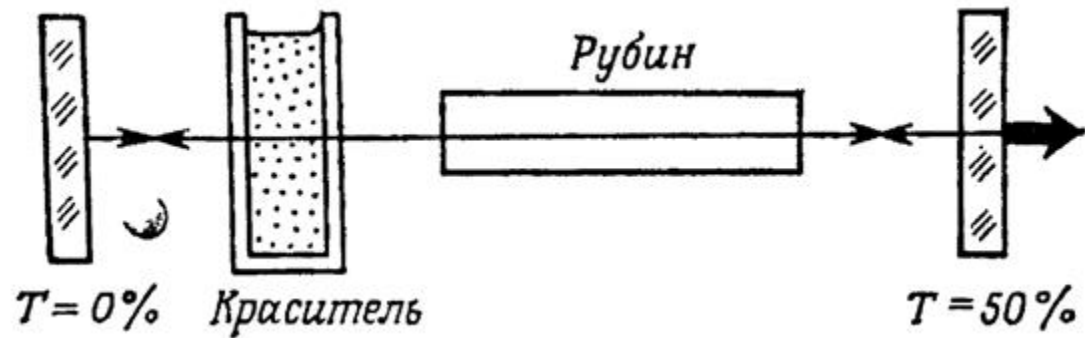
Режим модуляции добротности



Модуляция добротности (механический модулятор)

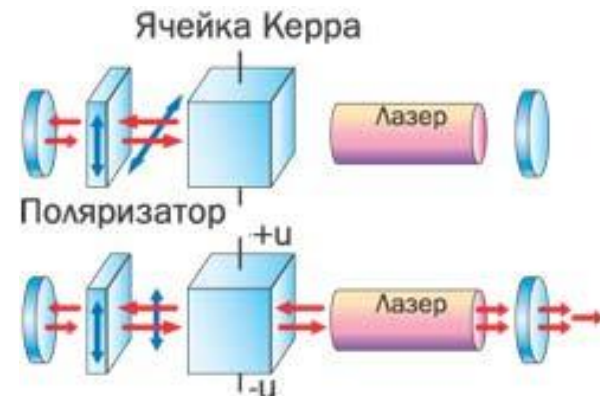
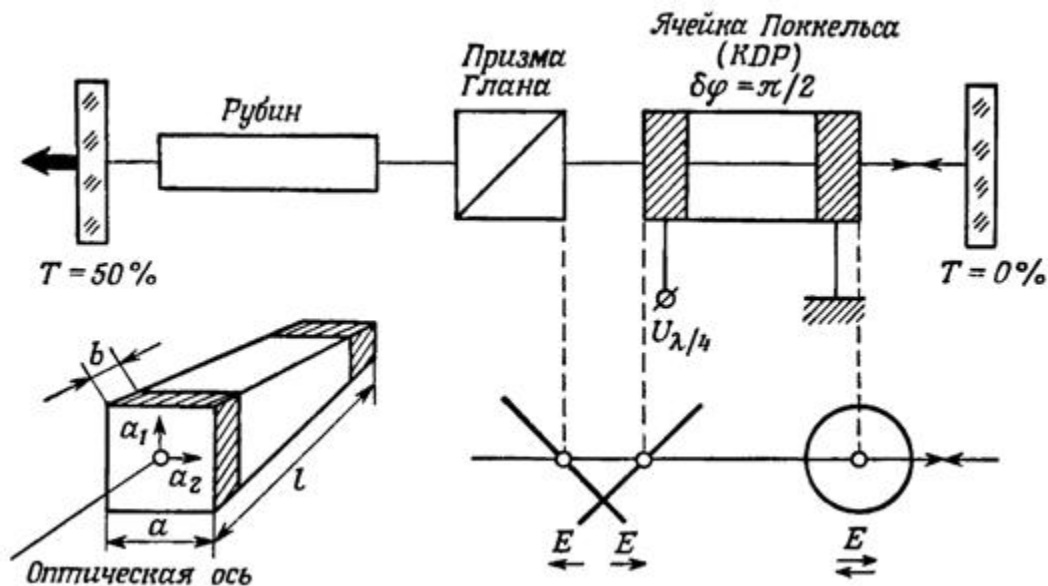


Модуляция добротности (фототропный модулятор)



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.

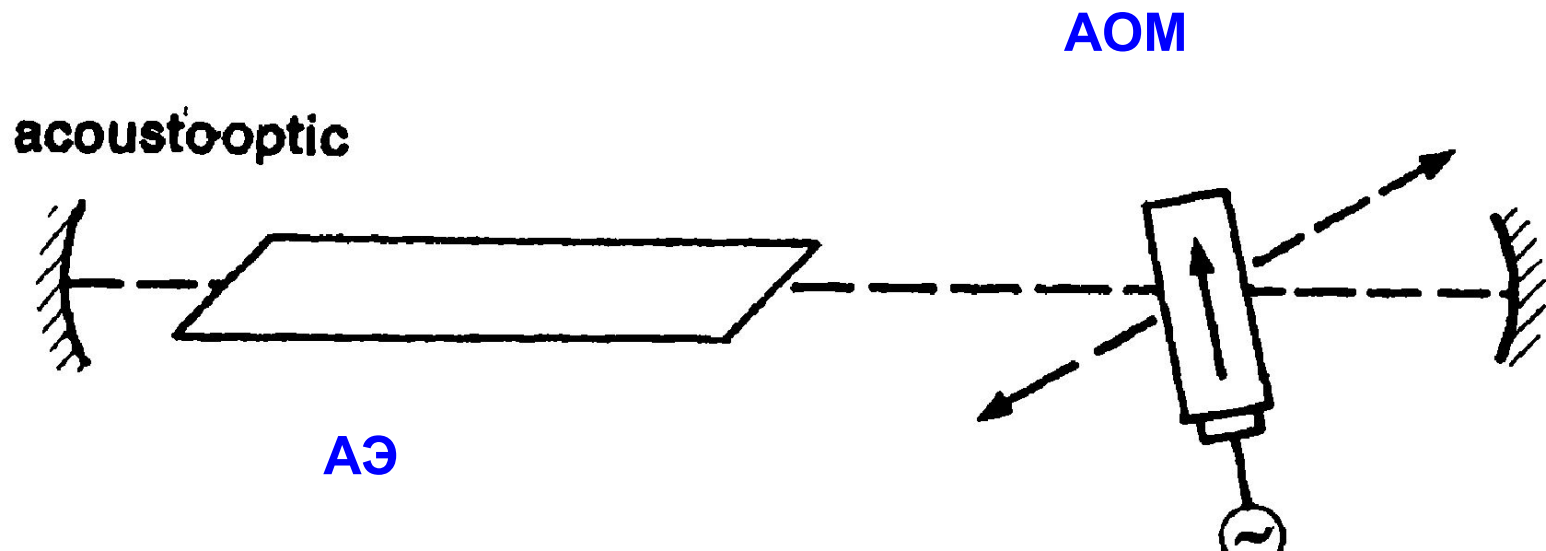
Модуляция добротности (электрооптический модулятор)



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 φ_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:

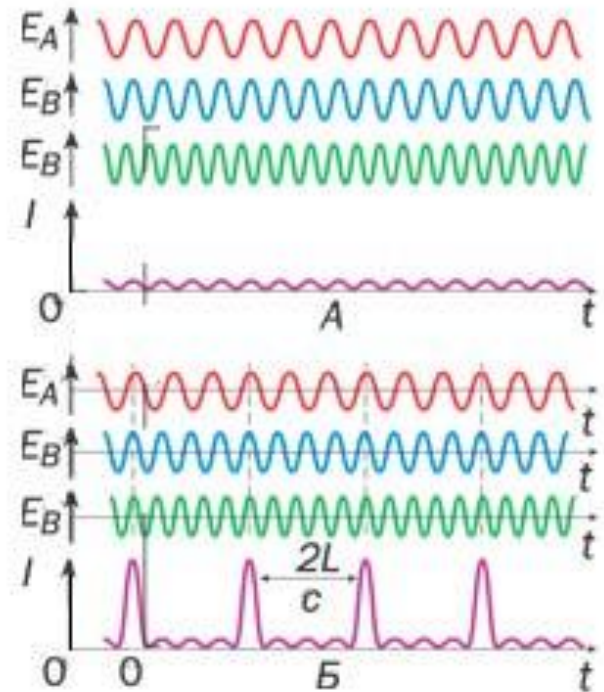
$$A(t) = E_0 \cdot \frac{\sin\left[(2N + 1) \cdot \frac{\Delta\omega t}{2}\right]}{\sin\left[\frac{\Delta\omega t}{2}\right]}$$

Таким образом, $E(t)$ – это гармоническая волна с частотой несущей ω_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 ⁺	Кварцевый АОМ	непрерывный	150
CO ₂ (низк. давл.)	НП (SF ₆), германиевый АОМ	непрерывный	10000–20000
CO ₂ (ТЕА)	НП (SF ₆), германиевый АОМ	импульсный	1000
<i>Твердое тело</i>			
YAG : Nd	Кварцевый АОМ	непрерывный	100
YAG : Nd	ЭОМ (LiNbO ₃)	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!**