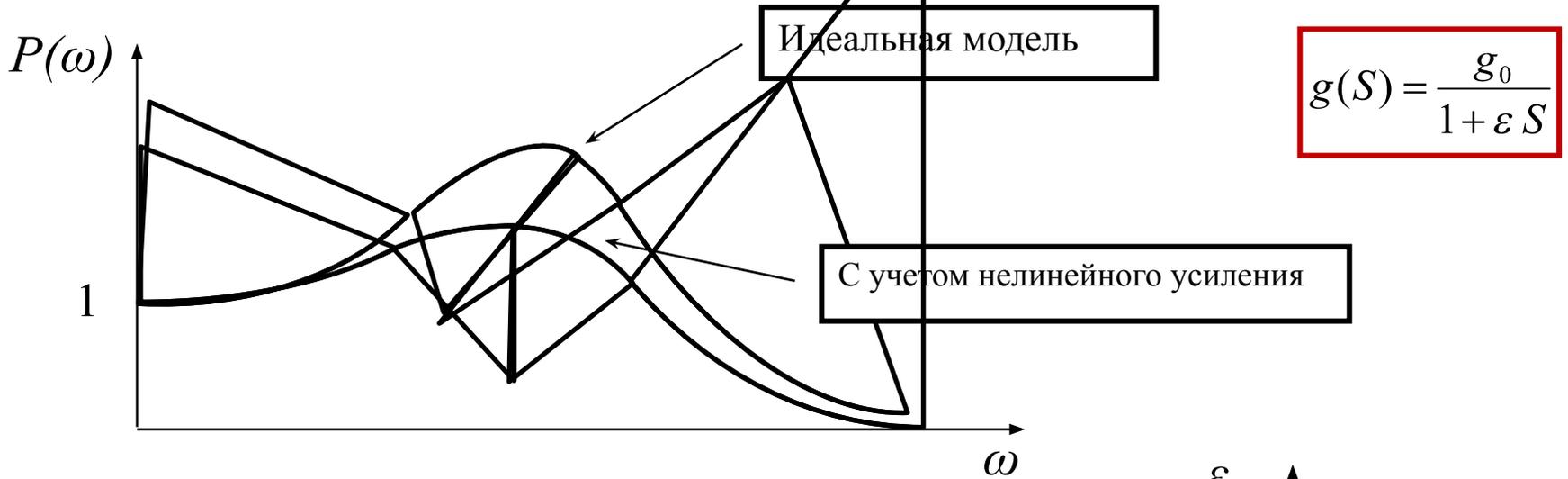


# Факторы влияющие на форму частотного отклика излучения лазера: Нелинейное усиление

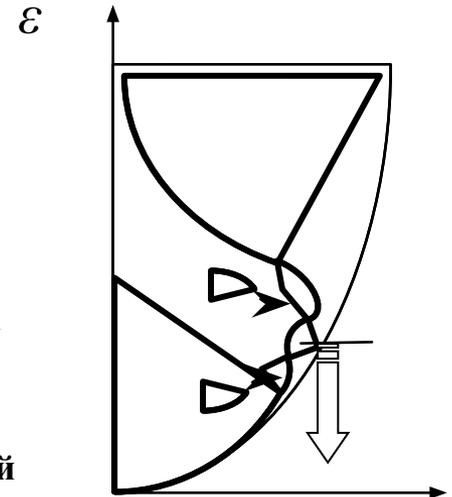


Природа нелинейного усиления:



**Выжигание пространственных дыр**

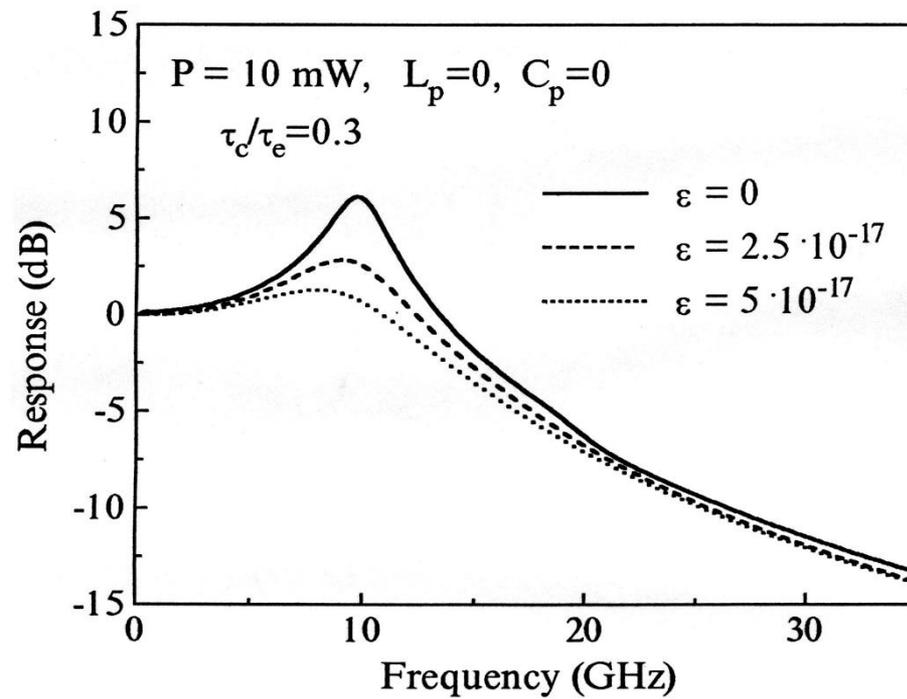
- инт. света
- конц. носителей



**Выжигание спектральных дыр**

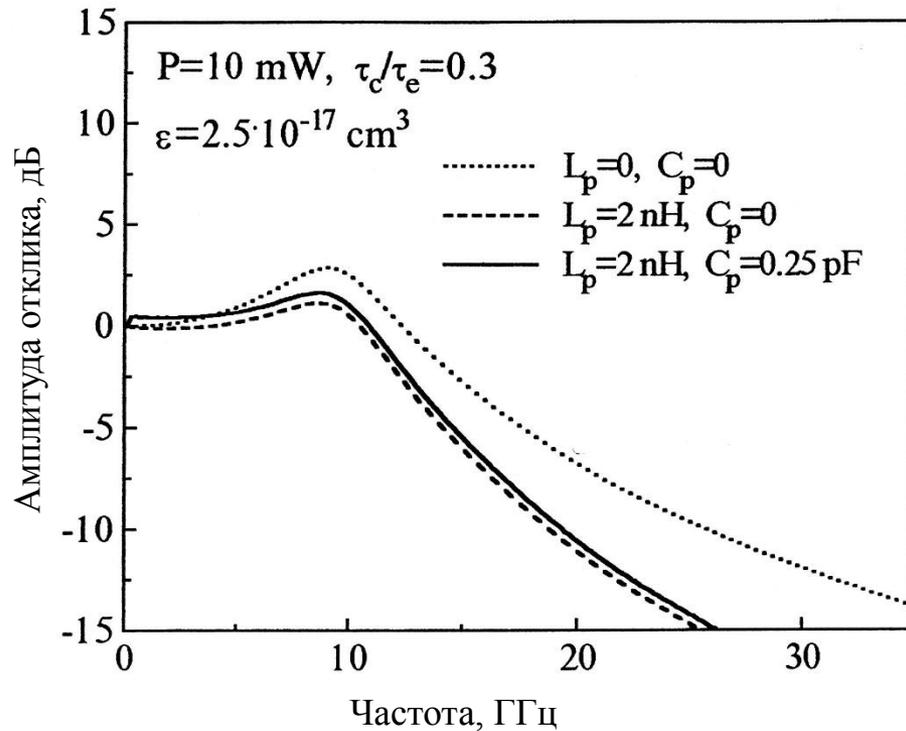
$n(\varepsilon)$

# Влияние нелинейного усиления на частотную характеристику лазера



# Влияние паразитных элементов цепи питания на частотные характеристики лазеров

Результаты моделирования:



$L_p$  - паразитная индуктивность проволочки подвода питания

$C_p$  - паразитная емкость (контакты и барьерная емкость структуры)

Паразитные элементы цепи питания лазера

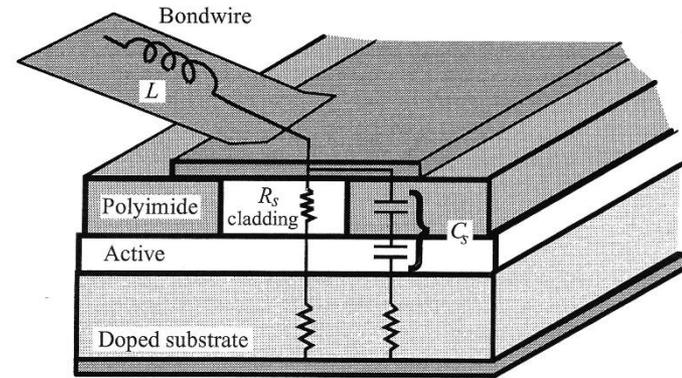
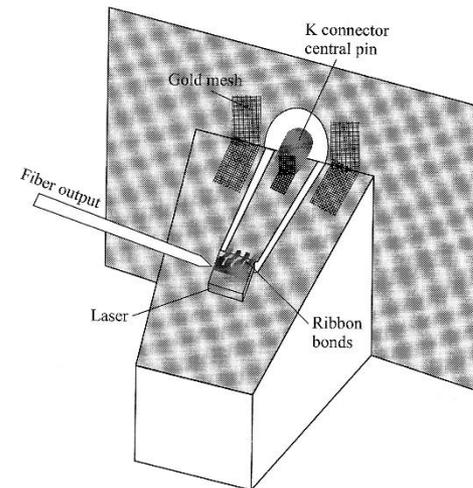
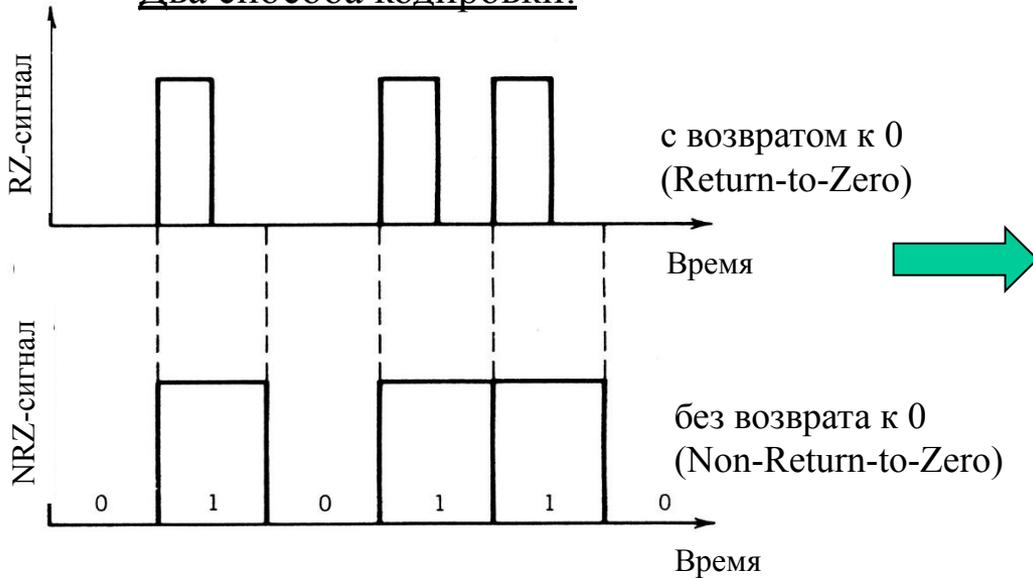


Схема монтажа высокочастотного лазера:

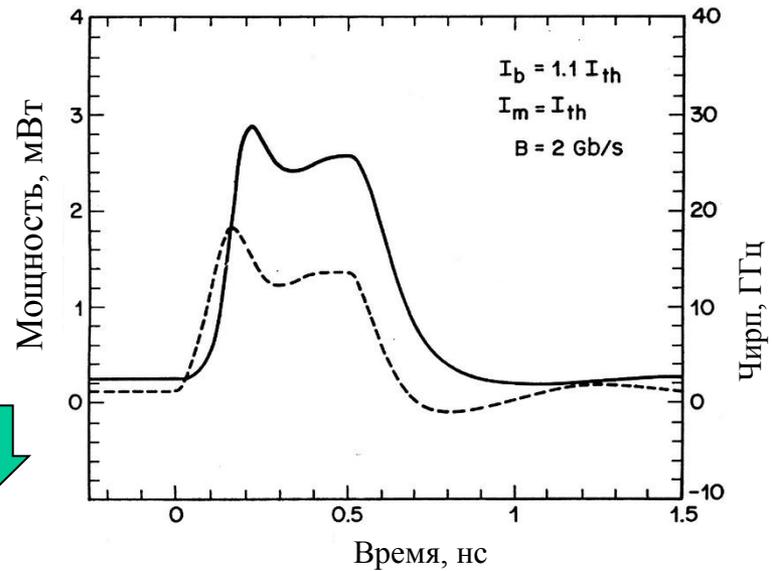


# Передача информации с помощью коротких импульсов света, генерируемых лазерами

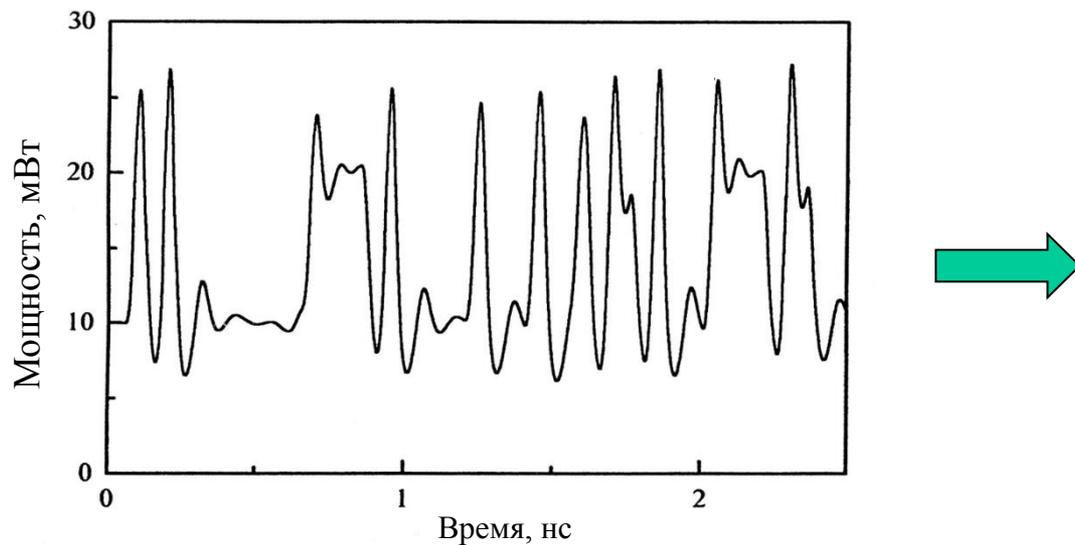
Два способа кодировки:



Отклик на одиночный импульс:

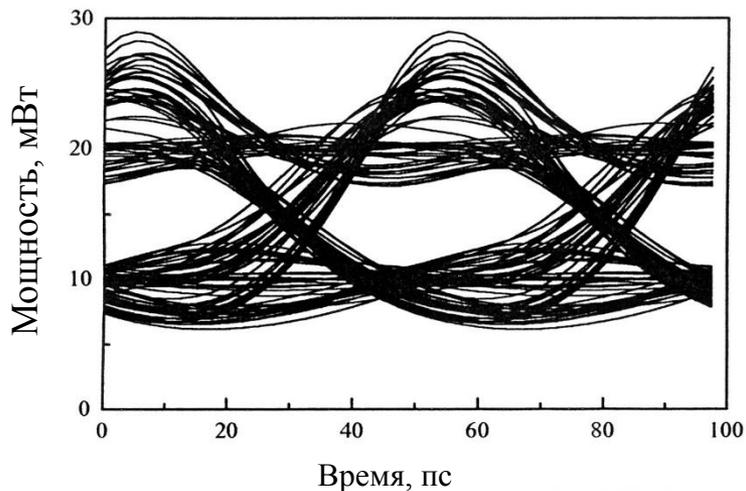
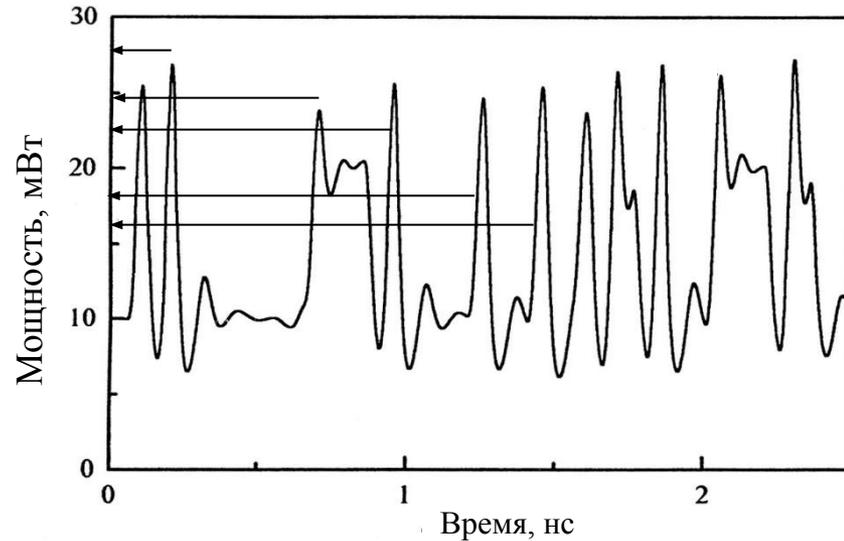
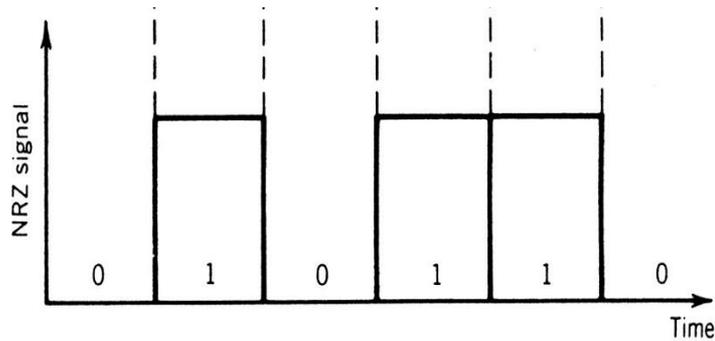


Отклик на последовательность импульсов:



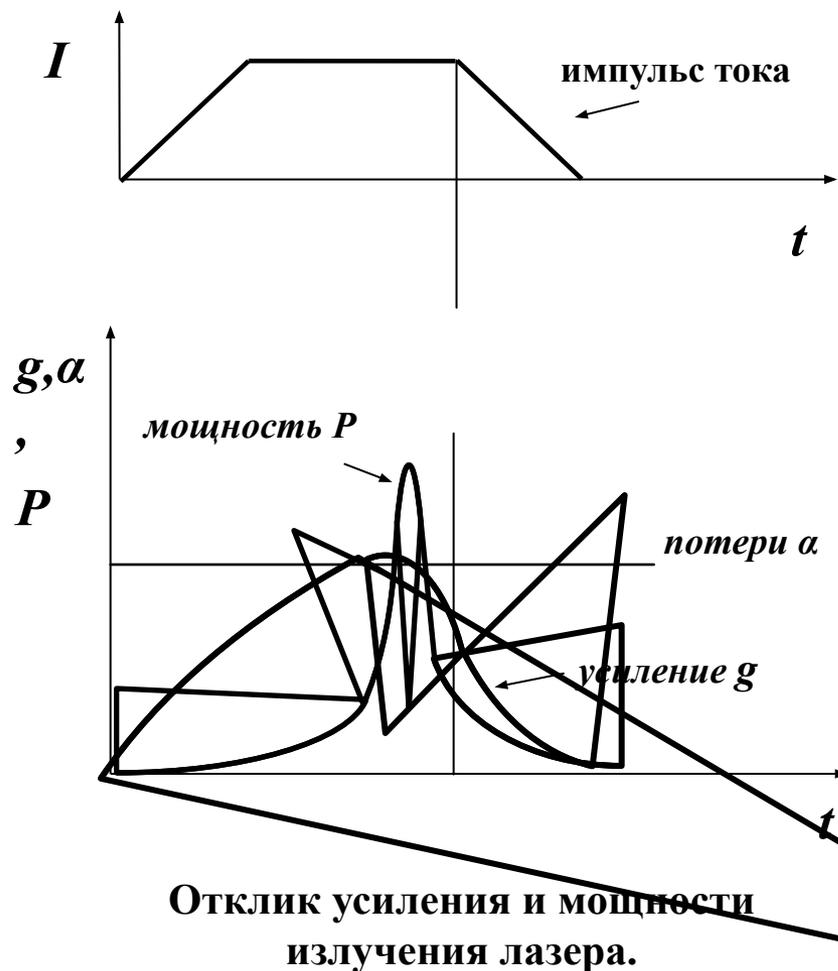
# «Глаз-диаграмма» - мера искажения оптических сигналов

Принцип построения «глаз-диаграммы» (на примере NRZ):



1. Запомним форму отклика в памяти осциллографа
2. Приведем передние фронты всех оптических импульсов к одному моменту времени  $t=0$  (как показано на рис.)
3. В результате получим «глаз-диаграмму»
4. **Площадь открытой части глаза есть мера качества передачи сигнала**

# Генерация коротких одиночных импульсов света: Режим модуляции усиления



При накачке коротким импульсом тока усиление растет, достигает уровня потерь и затем превышает его (динамический эффект!)

Для генерации одиночных импульсов света нужны короткие импульсы тока накачки, обычно  $< 1$  нс, (тогда не возникают релаксационные колебания мощности на спаде импульса света)

Пиковая мощность тем больше, чем сильнее в структуре лазера электрон-фотонный резонанс.

Для этого надо:

- большое  $dg/dn$  (дифф. усиление)
- малое  $\tau_p$  (большие потери, короткий рез-тор)
- малое  $\varepsilon$  (коэфф. нелинейного усиления)

Типичные величины импульсной мощности в этом режиме:

$$P_{\text{макс}} \sim 1-10 \text{ Вт}$$

Длительность импульса:  $\sim 100$  пс

# Генерация коротких импульсов света: Режим модуляции добротности

Для работы в этом режиме в резонаторе лазера должен быть *насыщаемый светом нелинейный поглотитель* (см. далее)

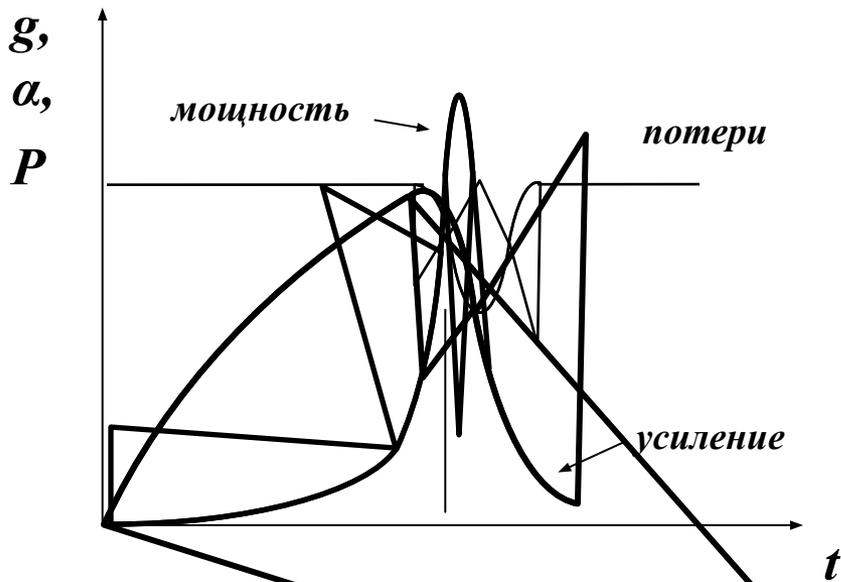
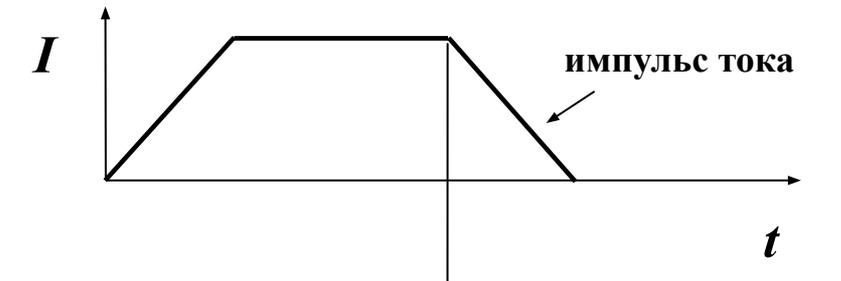
При накачке коротким импульсом тока усиление растет, достигает *исходного* уровня потерь и тогда начинает расти оптическая мощность

В результате роста мощности поглотитель насыщается и потери в резонаторе уменьшаются

При уменьшении потерь мощность света быстро растет, но это приводит к «съеманию» инверсии, усиление падает и мощность света начинает падать

Тогда восстанавливается исходный высокий уровень потерь и генерация прекращается

Чтобы получить максимальную пиковую мощность импульса света надо обеспечить высокий уровень исходных потерь и сделать быстрым насыщающийся поглотитель



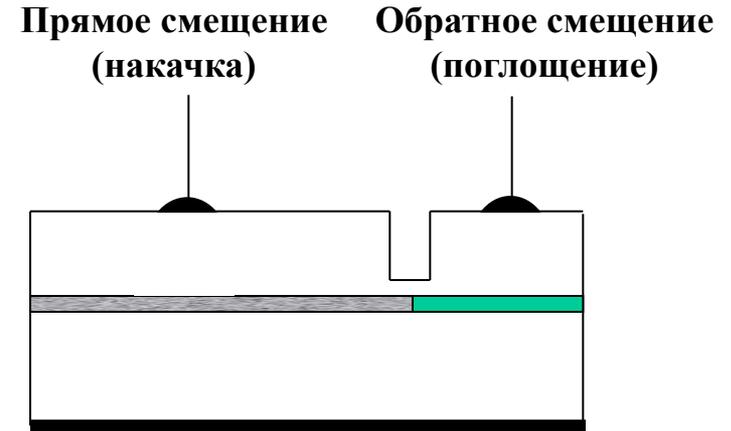
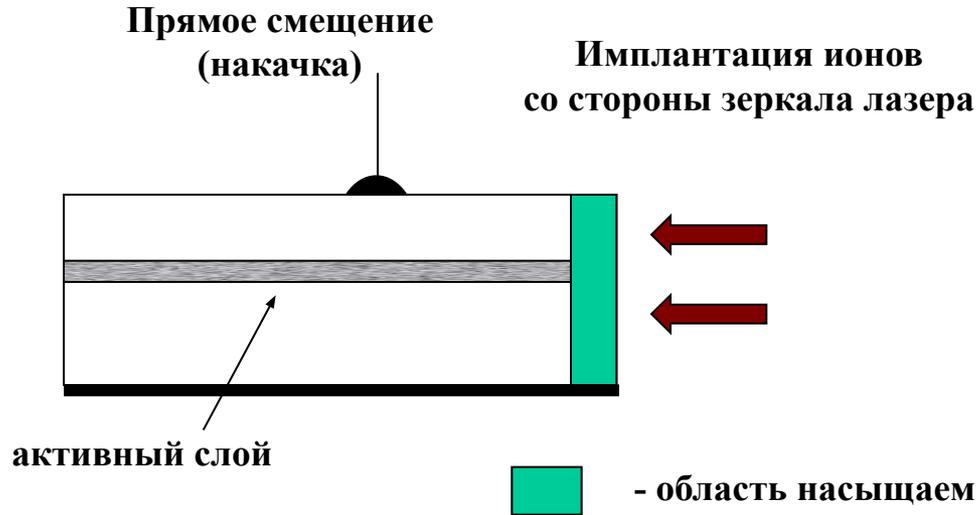
Отклик усиления, потерь и  
мощности излучения лазера

Типичные величины импульсной мощности  
в этом режиме:

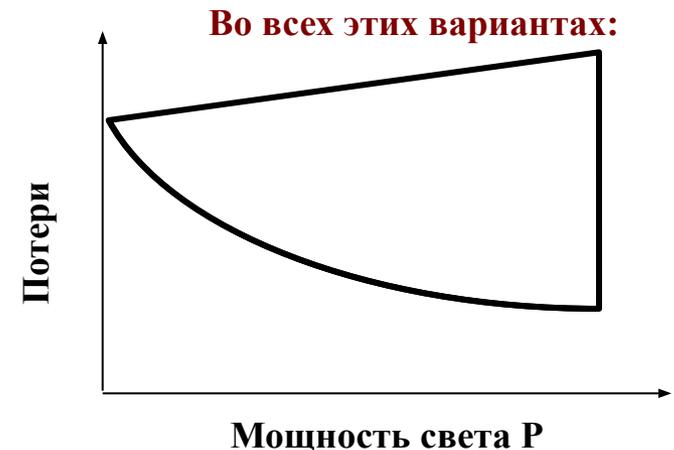
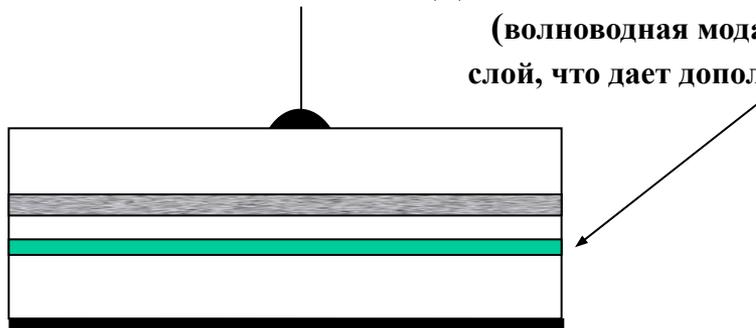
$$P_{\text{макс}} \sim 50-100 \text{ Вт}$$

# Как сделать насыщающийся поглотитель ?

## Основные практические решения

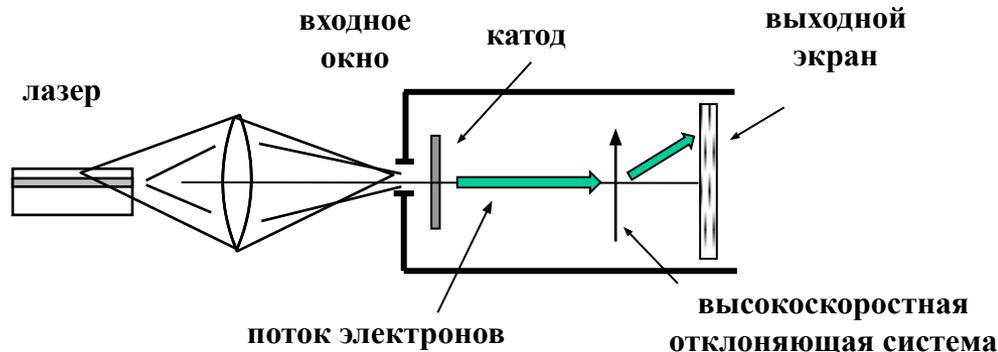


Дополнительный поглощающий слой  
(волноводная мода проникает в этот слой, что дает дополнительные потери)

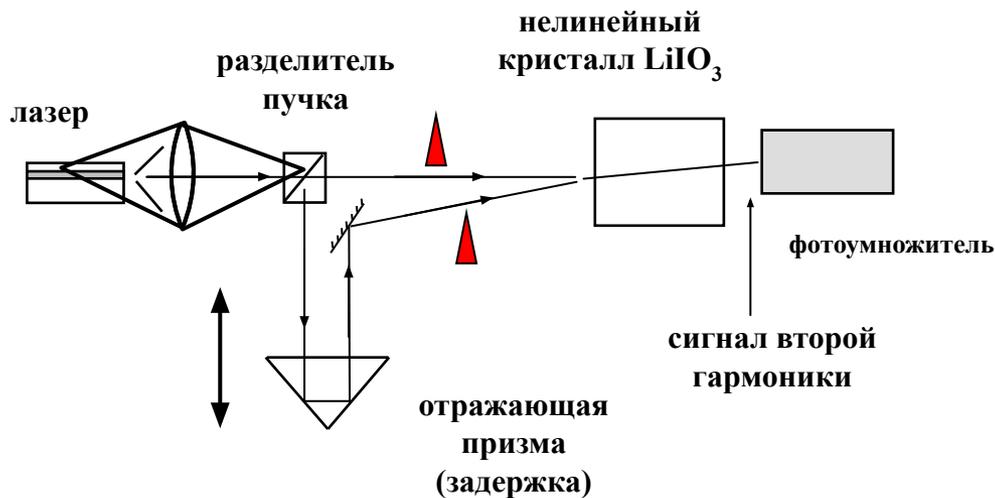


# Методы измерения формы и длительности коротких импульсов света

## I. Регистрация коротких импульсов света с помощью стрик-камеры ( $\delta \sim 10$ пс):



## II. Автокорреляционные измерения ( $\delta < 1$ пс):

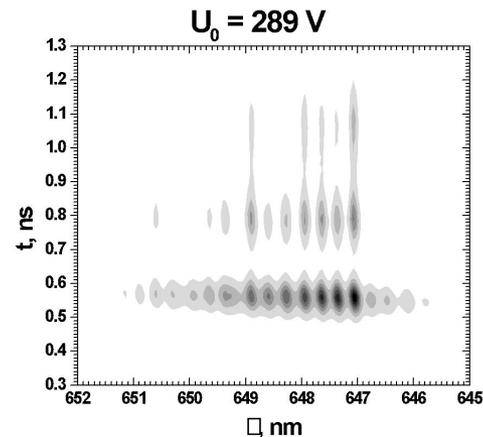
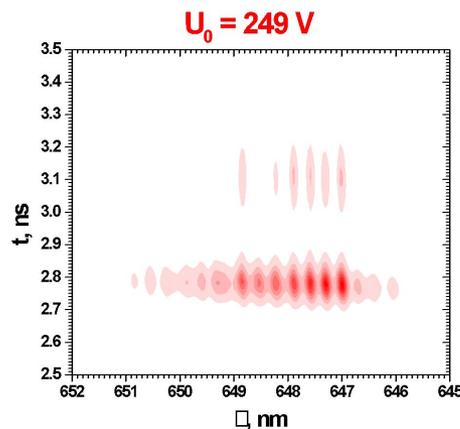
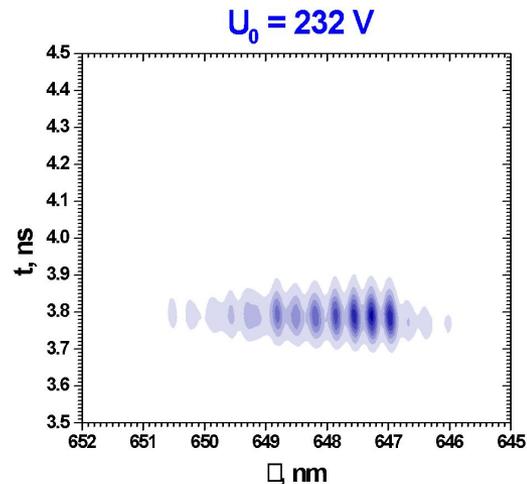
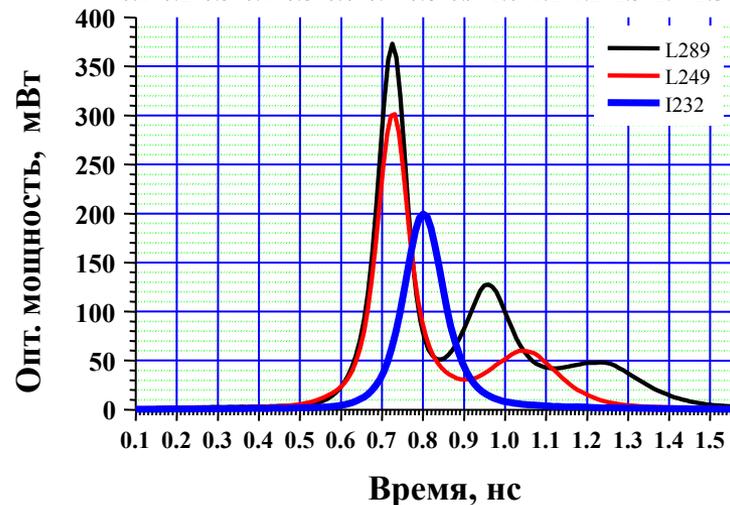
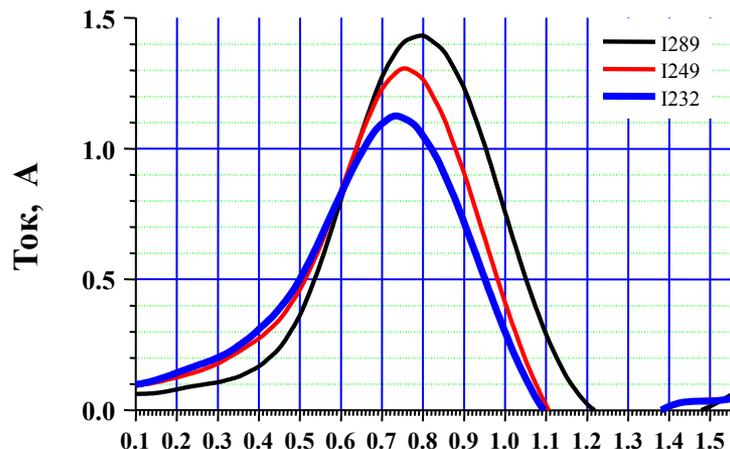


# Генерация коротких импульсов света в режиме модуляции усиления: регистрация с помощью стрик-камеры

DL5147-042;  $\lambda=648$  nm;  $\Delta\lambda\sim 4$  nm

$I_{in}=45$  mA; 750 mW/mA

$C_0/R_0$ : 2.7pF / 40;  $C_1/R_1$ : 220pF / 7.5

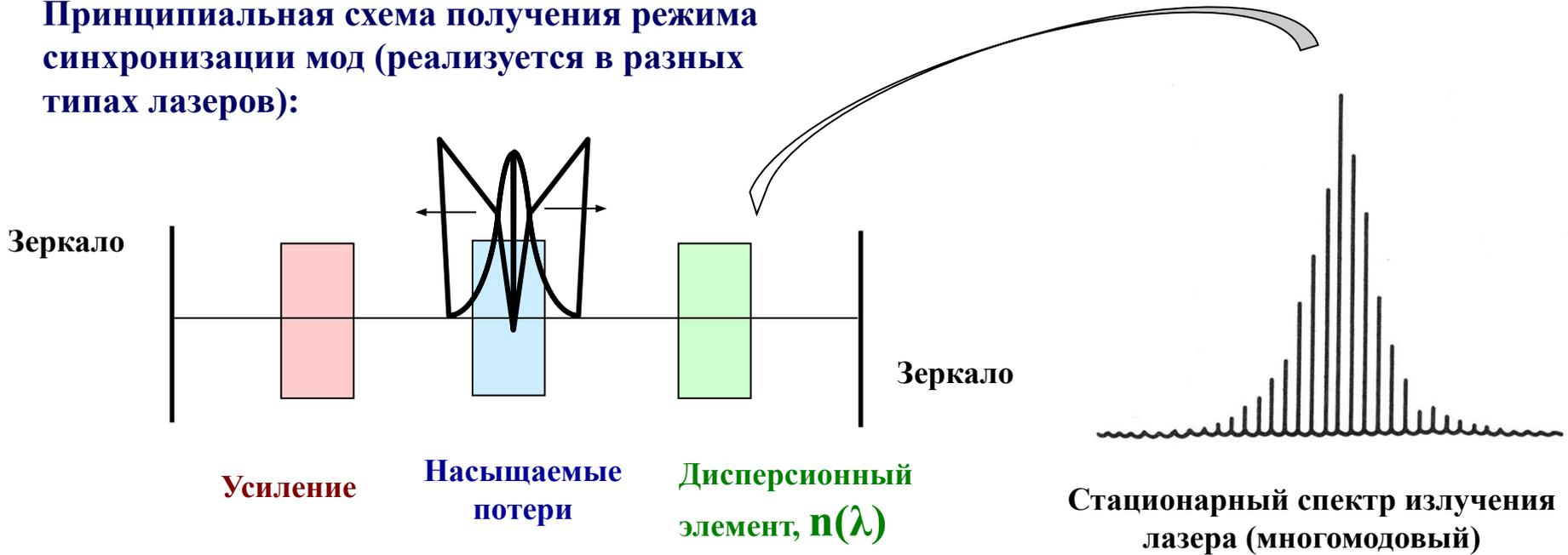


Для получения одиночных импульсов света необходимо выбирать амплитуду и длительность импульса тока накачки

→ **мощность опт. импульса ограничена**

# Синхронизация мод в инжекционных лазерах

Принципиальная схема получения режима синхронизации мод (реализуется в разных типах лазеров):

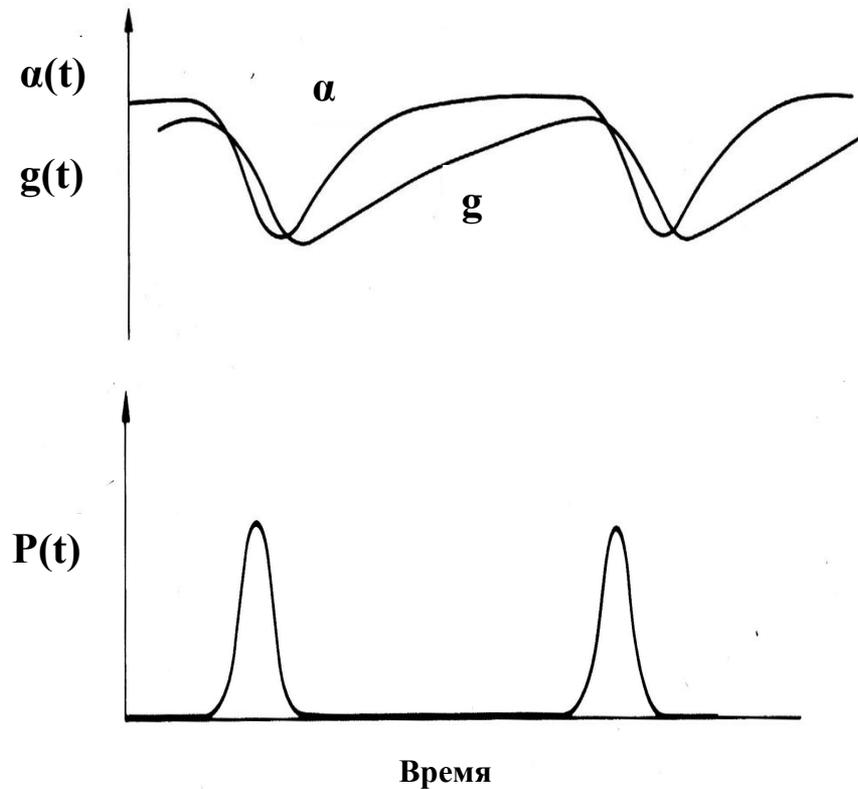
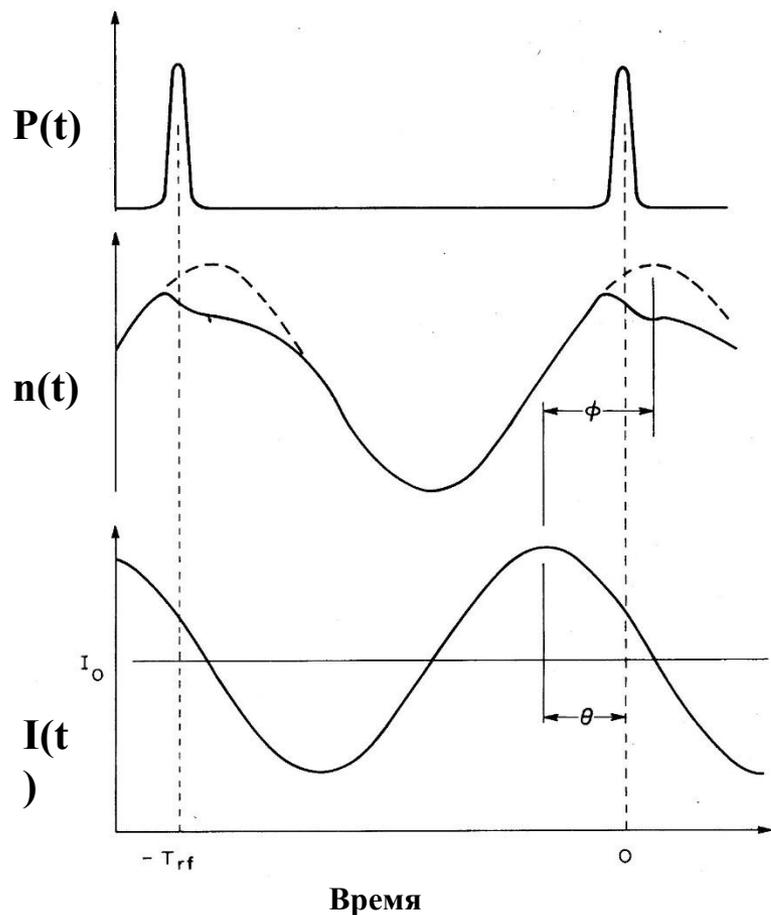


При наличии в резонаторе усиления, насыщаемых потерь и специального вида дисперсии фазы разных продольных мод могут случайно *синхронизоваться*, что приводит к генерации *последовательности очень коротких импульсов света*.

## Основные черты режима:

- Длительность опт. импульса тем меньше, чем больше мод участвует в синхронизации
- Период повторения импульсов света равен времени двойного пролета резонатора

# Режимы активной и пассивной синхронизации мод

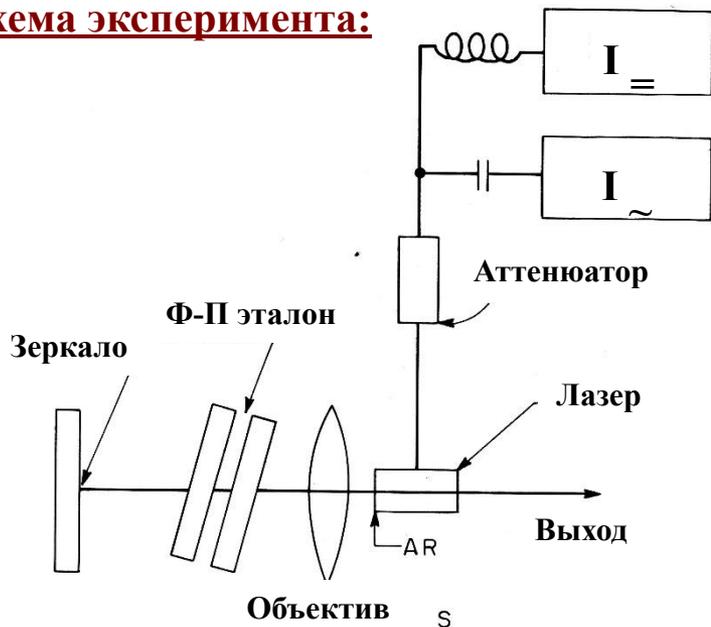


**Активная СМ:** Подается постоянный + переменный ток  
 $f_{RF} \approx (2 \text{ времени пролета } p\text{-ра})^{-1}$

**Пассивная СМ:** Подается постоянный ток  
 Нужно чтобы:  $d\alpha/dP > dG/dP$

# Эксперимент по синхронизации мод в инжекционном лазере

## Схема эксперимента:

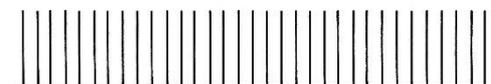


## Структура продольных мод :

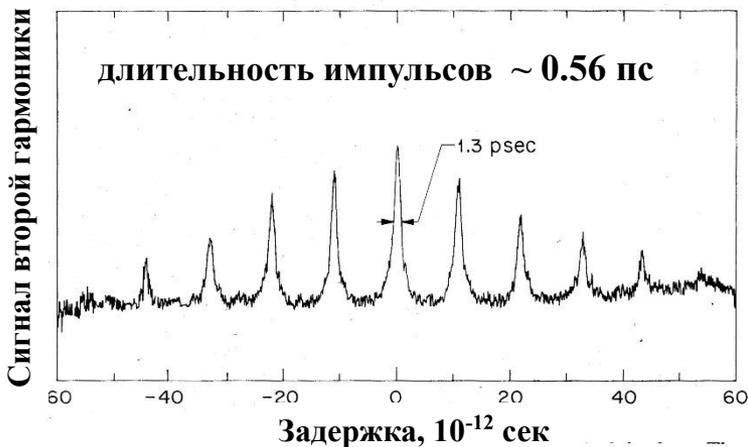
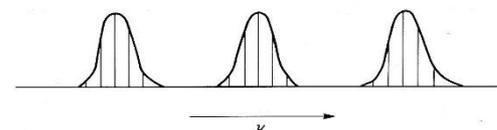
моды инж. лазера



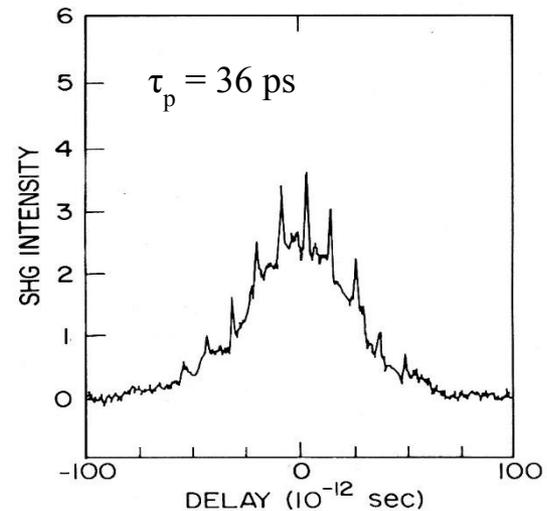
моды внешнего рез-ра



моды составного резонатора



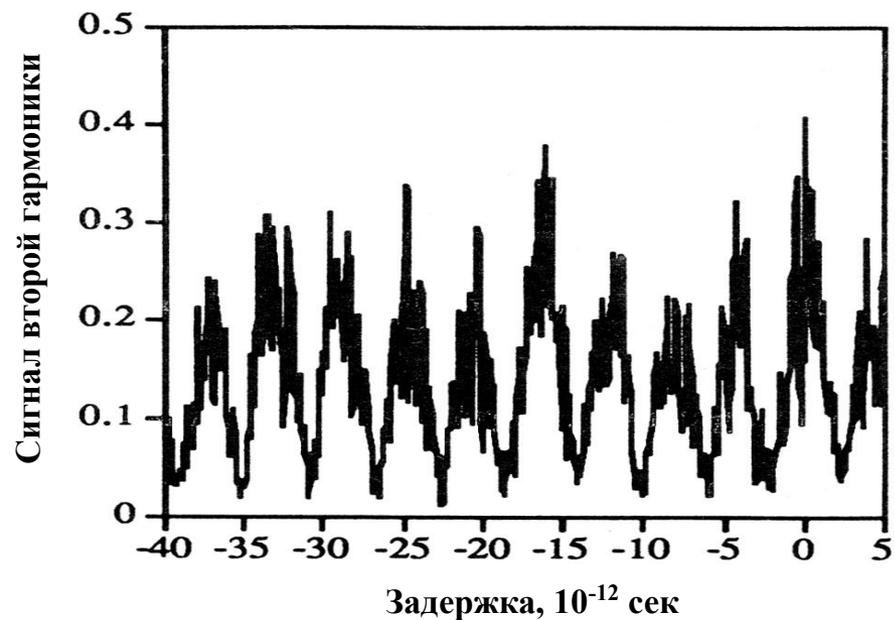
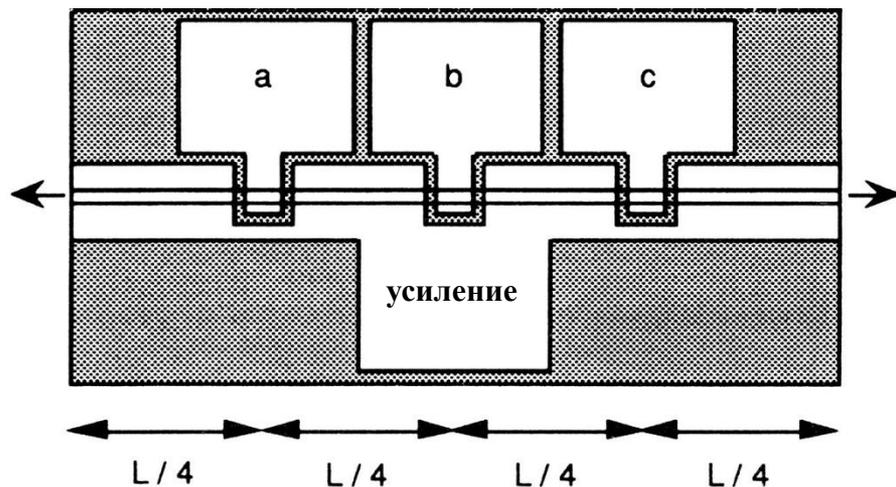
Синхронизация  
широкого спектра мод



Синхронизация мод в пределах  
одной моды инж. лазера

# Получение сверхвысокочастотных оптических сигналов в режиме синхронизации мод на сталкивающихся импульсах

Схематическое изображение структуры лазера  
а, b и с - области поглотителя (обратное смещение)



**Частота повторения импульсов 200 ГГц !!**