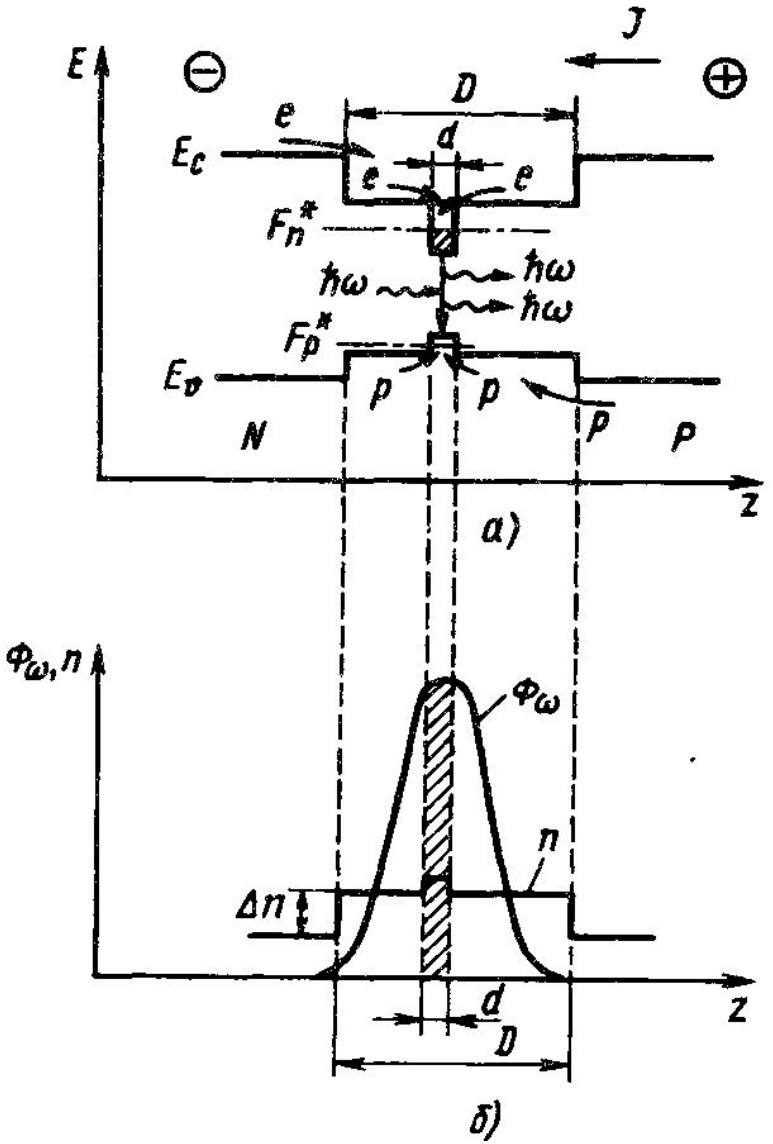
# Гетеролазеры с раздельным электронным и оптическим ограничением

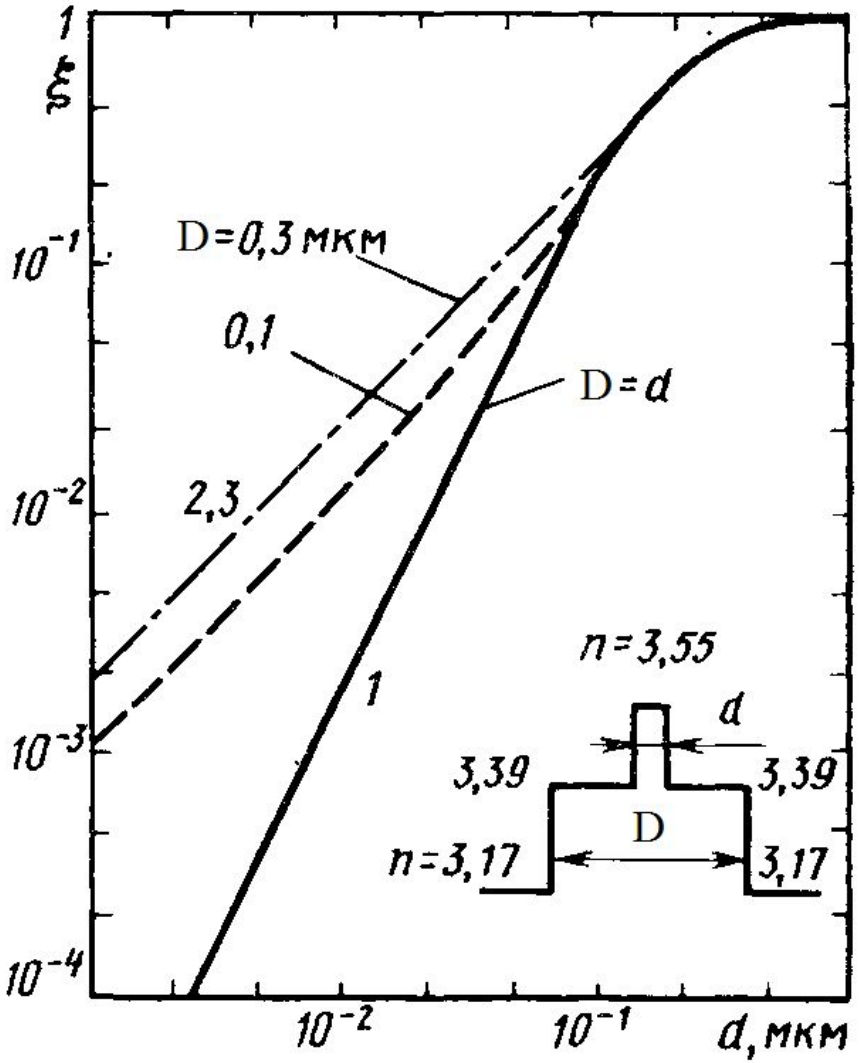
$$J_{пор} = \frac{eB_{эфф}}{A_0^2}\frac{d}{\xi^2}[\alpha_n\xi + \alpha + (1/l)\ln\frac{1}{\sqrt{R_1R_2}}]^2$$

$D \approx \lambda/n$

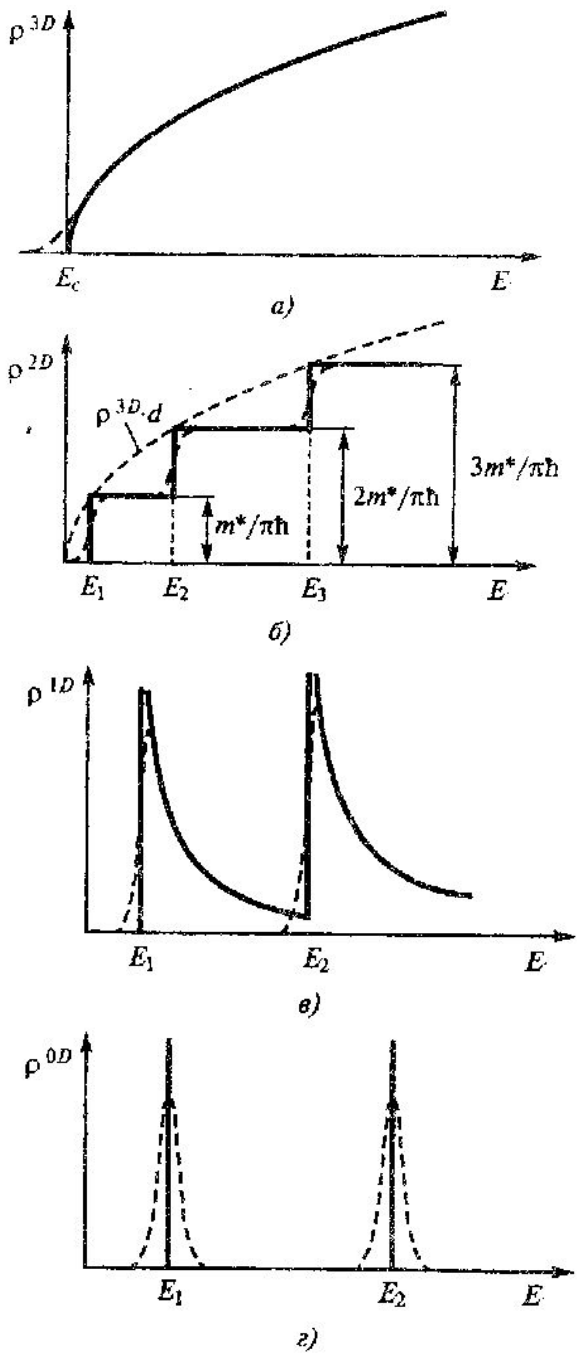
$d << \lambda/n$




**Гетеролазер с раздельным электронным и оптическим ограничением (РО ДГС-лазер):**
*а* — энергетическая диаграмма;
*б* — распределение показателя преломления *n* и поле излучения $\Phi_\omega$

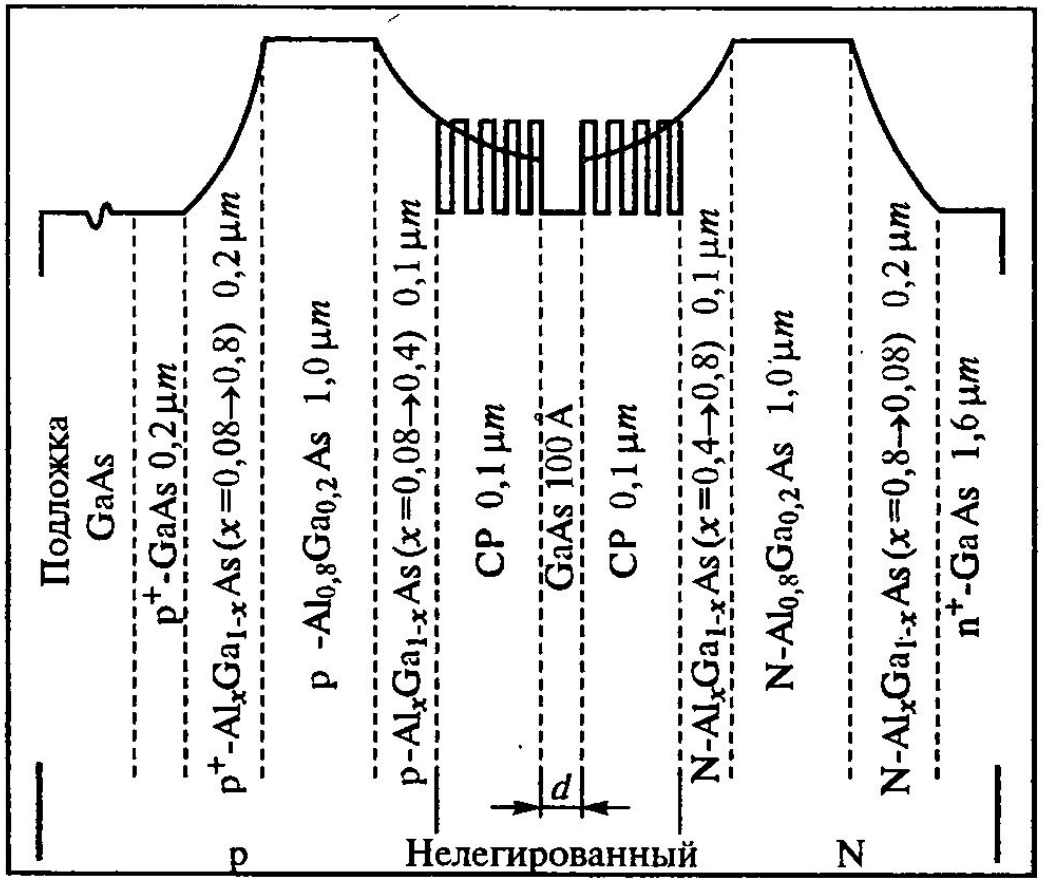



**Зависимость параметра оптического ограничения от толщины активного слоя *d* для ДГС-лазера (*1*) и РО ДГС-лазеров с различной шириной области оптического ограничения D (*2*, *3*)**

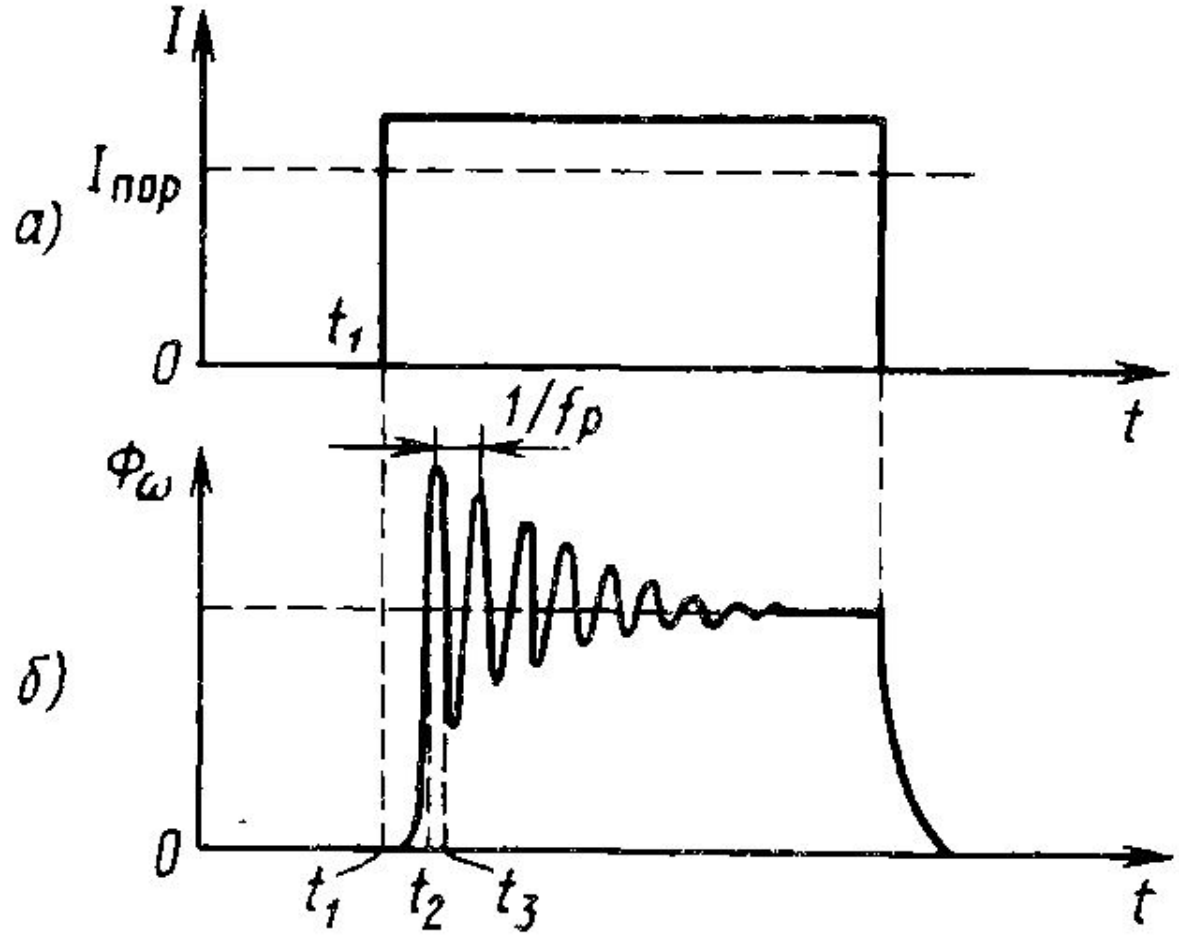



Плотность состояний в объемном 3D-кристалле (*а*), двумерном 2D (*б*), одномерном 1D (*в*) и нульмерном 0D (*г*) электронном газе. Пунктиром показано влияние эффектов уширения на функции плотности состояний

Лазерная РО ДГС-структура с GaAs-квантовой ямой и параболическим профилем волновода, сформированным короткопериодной сверхрешеткой и твердым раствором $Al_xGa_{1-x}As$ переменного состава



# Модуляционная характеристика



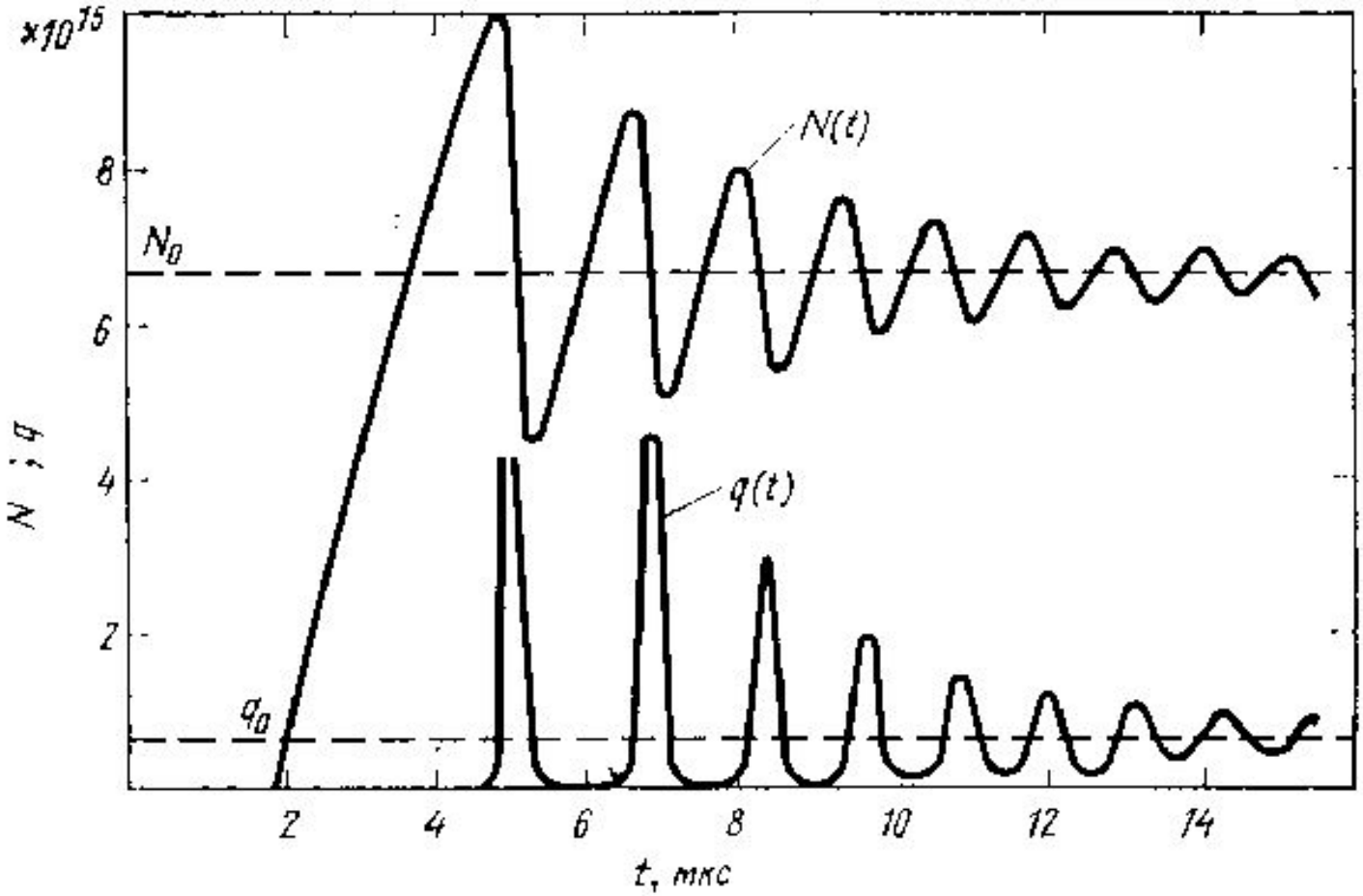

Импульсная модуляция излучения инжекционного лазера:
а) токовый импульс; б) оптический отклик (лазерное излучение)

$$t_{зад} = t_2 - t_1 = \tau_n \ln\left(\frac{I}{I - I_{пор}}\right)$$

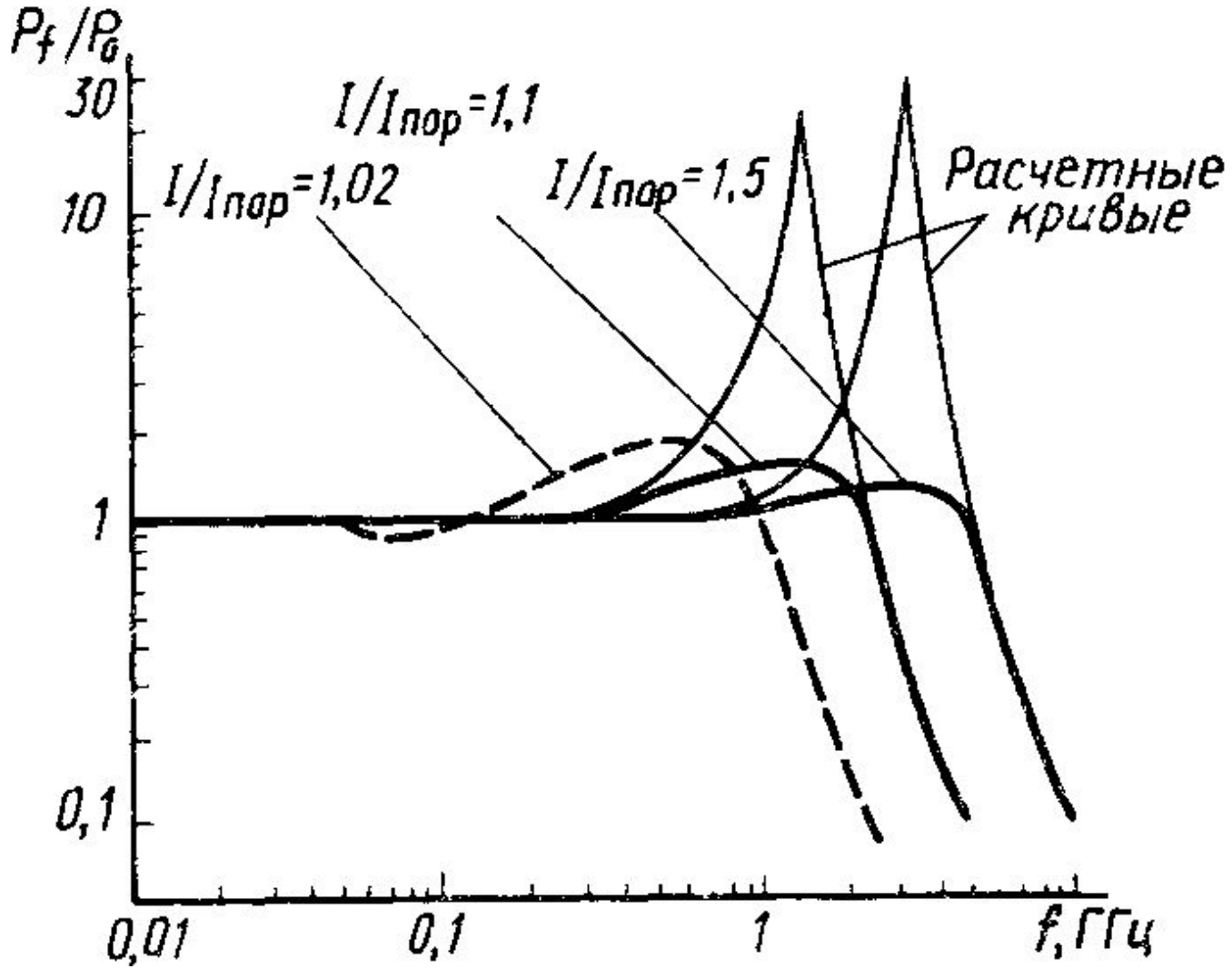
$$f_p \approx \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{\tau_ф \tau_n}\left(\frac{I}{I_{пор}} - 1\right)\right]^{1/2}$$

$\tau_n$ время жизни неравновесных носителей

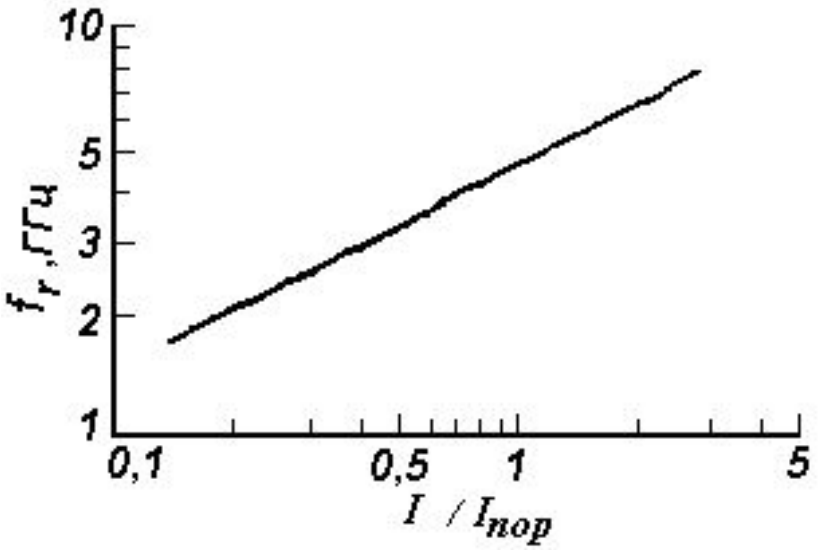
$\tau_ф$ время жизни фотона в резонаторе



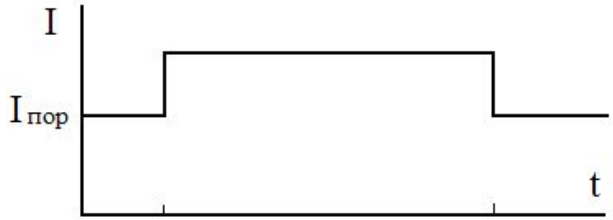

Временны́е зависимости полной инверсии $N(t)$ и числа фотонов $q(t)$ в трехуровневом лазере.

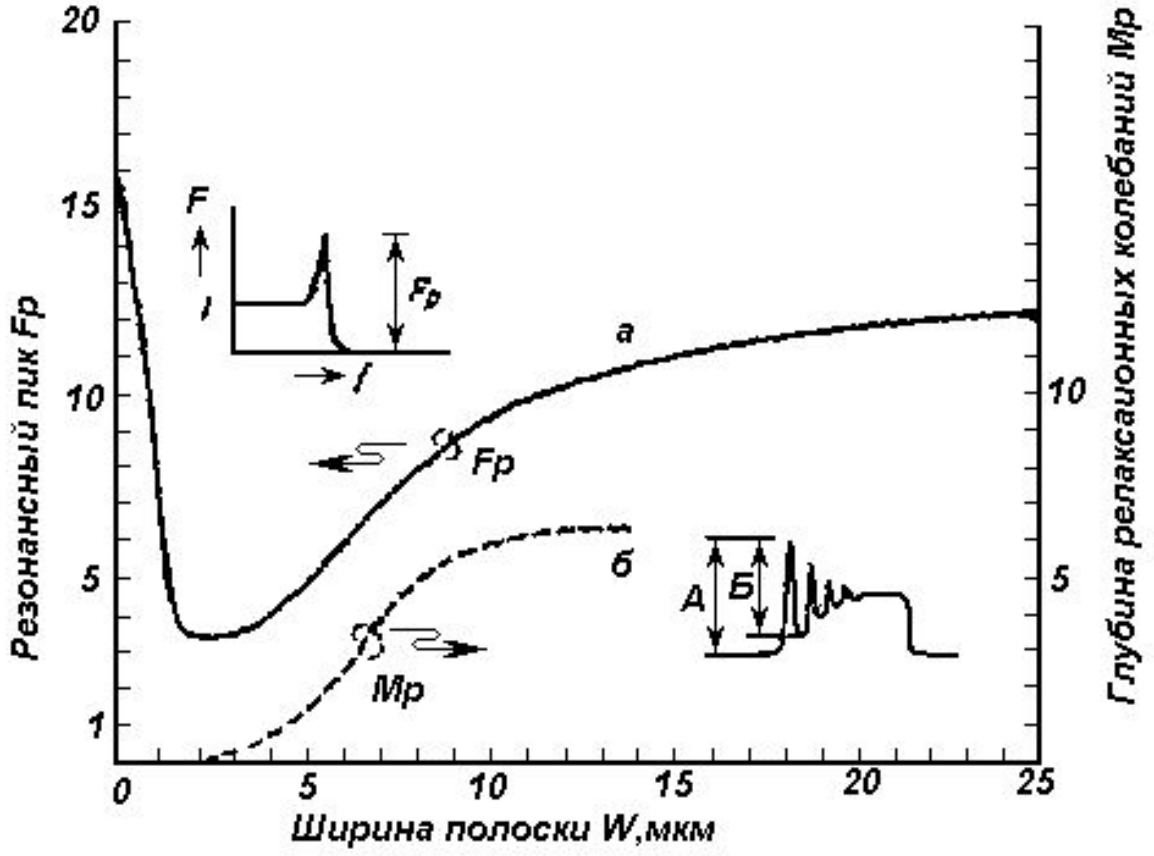



Типичные зависимости нормированной мощности излучения от частоты модуляции ДГС-лазера для различных уровней возбуждения



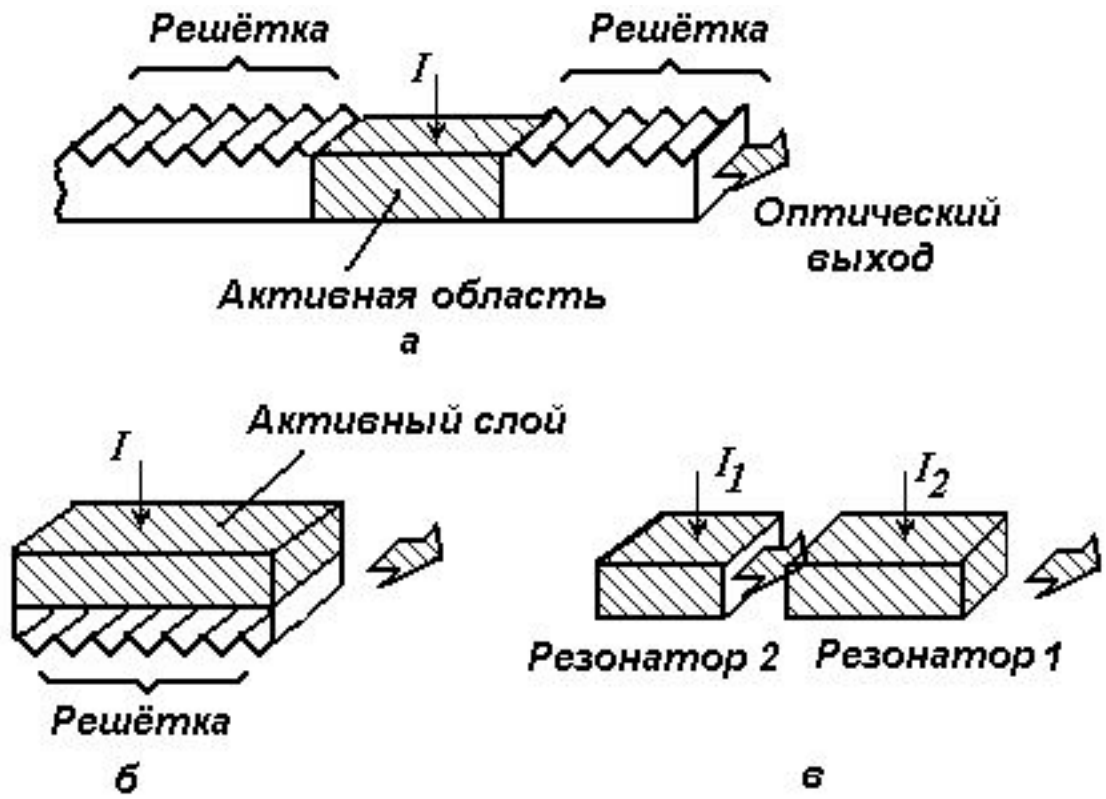

Релаксационные колебания и время задержки можно уменьшить:
- осуществляя подпитку лазера постоянным током, равным пороговому току;
- применяя полосковые лазеры с узкой полоской.



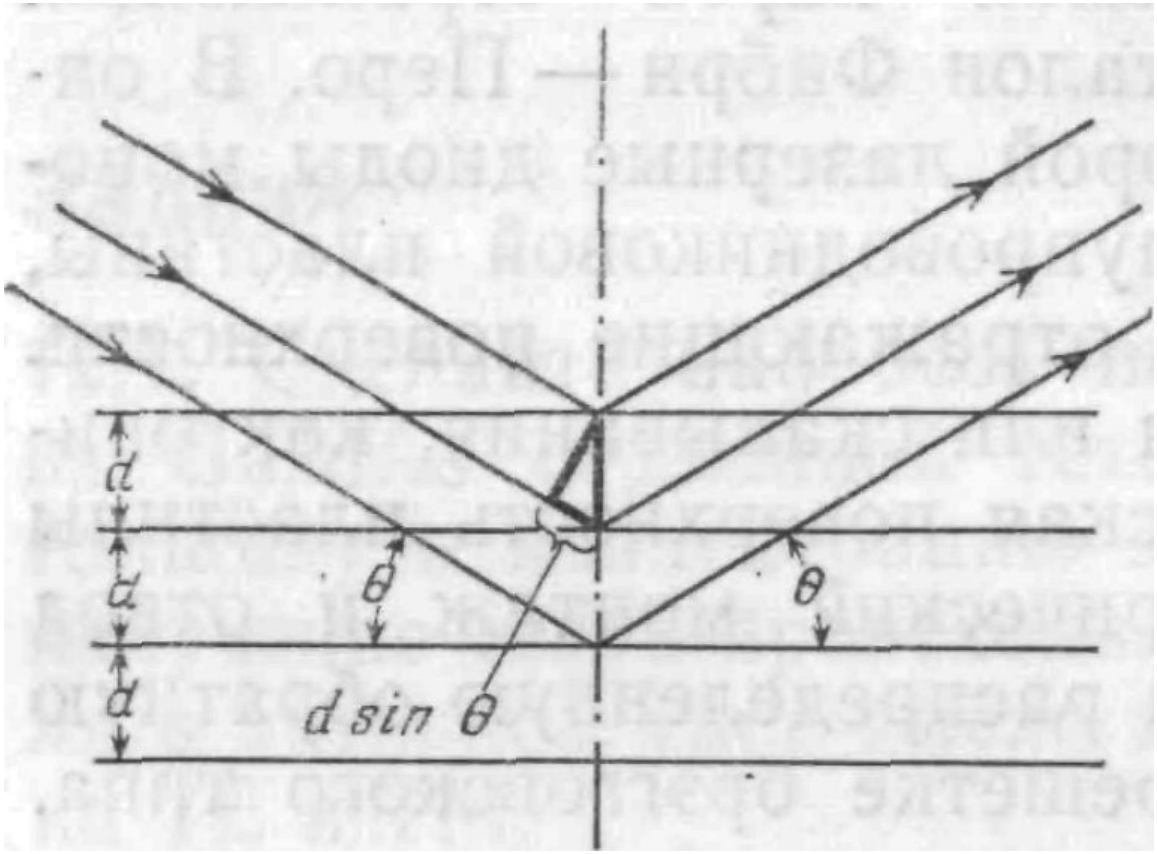



Подавление релаксационных колебаний за счет диффузии носителей в поперечном направлении. Сплошная линия соответствует расчетным значениям $F_p$ ($I/I_{пор}$=2; $\tau_n / \tau_\phi$ =$10^3$; $L_d$=2 мкм), пунктирная – экспериментальным значениям $M_p$=Вт/А

# Динамические одномодовые лазеры

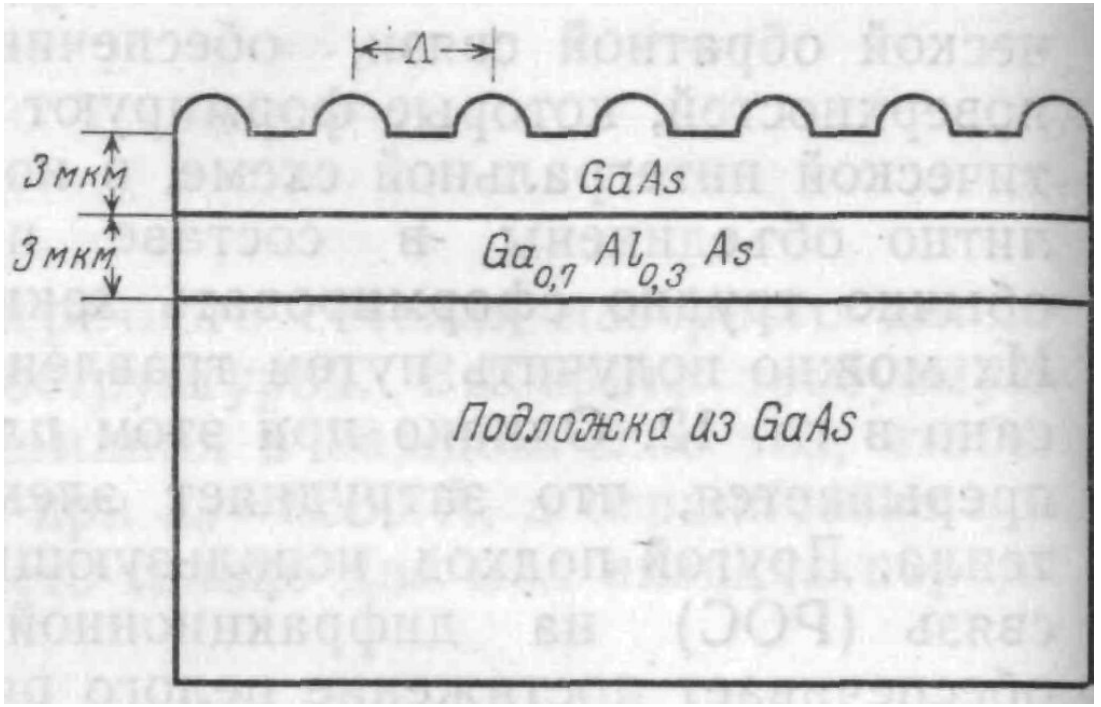



Виды динамических одномодовых лазеров:
*а* – *DBR*-лазер с распределенным отражением;
*б* – *DBF*-лазер с распределенной обратной связью;
*в* – двухрезонаторный лазер.




Брэгговское отражение от периодической структуры

$$2d\sin\theta_l = l\,\lambda, \quad l=1,2,3,\ldots,$$




Поперечное сечение РОС-лазера

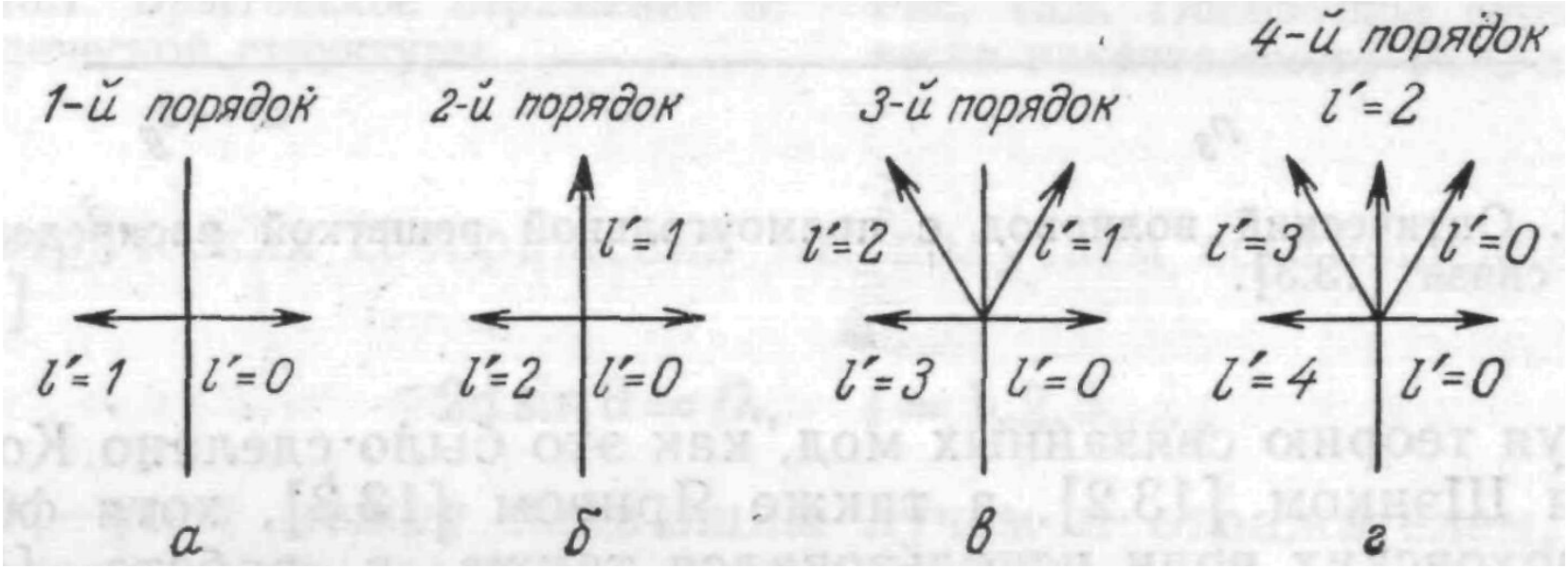
- Чтобы применить предыдущее соотношение к случаю отражения на 180 град., необходимо $d = \Lambda$ $\lambda = \lambda_0 / n_g$, $\theta = 90°$

$n_g$ — эффективный показатель преломления волновода

$$2\Lambda = l\,(\lambda_0 / n_g), \quad l = 1,2,3,\ldots$$

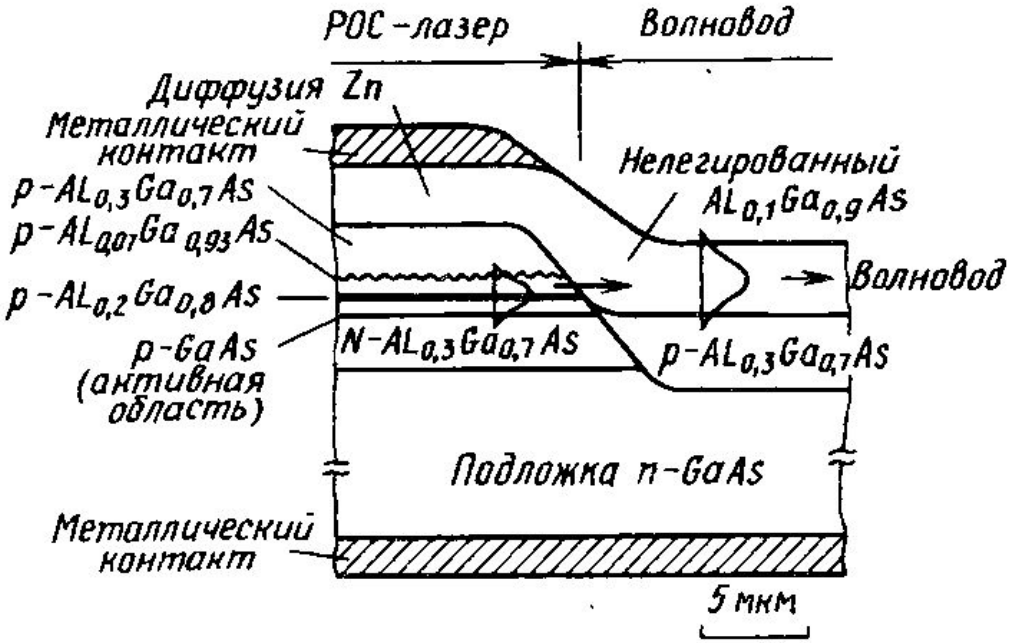
$$\lambda_0 = 2\Lambda n_g / l, \quad l = 1,2,3,\ldots$$

- Доля оптической мощности, отраженной решеткой зависит от:
- - толщины волноводного слоя, расстояния до решетки;
- - глубины штриха, его формы;
- - длины решеточной области.

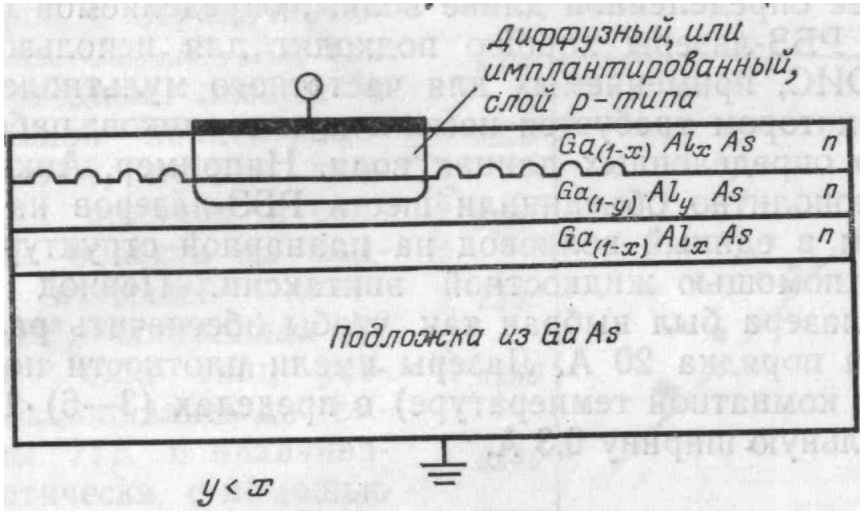



Направления рассеянных волн для брэгговских решеток высокого порядка.

$$E_{g\ волновода} > E_{g\ излучателя} > E_{g\ детектора}$$



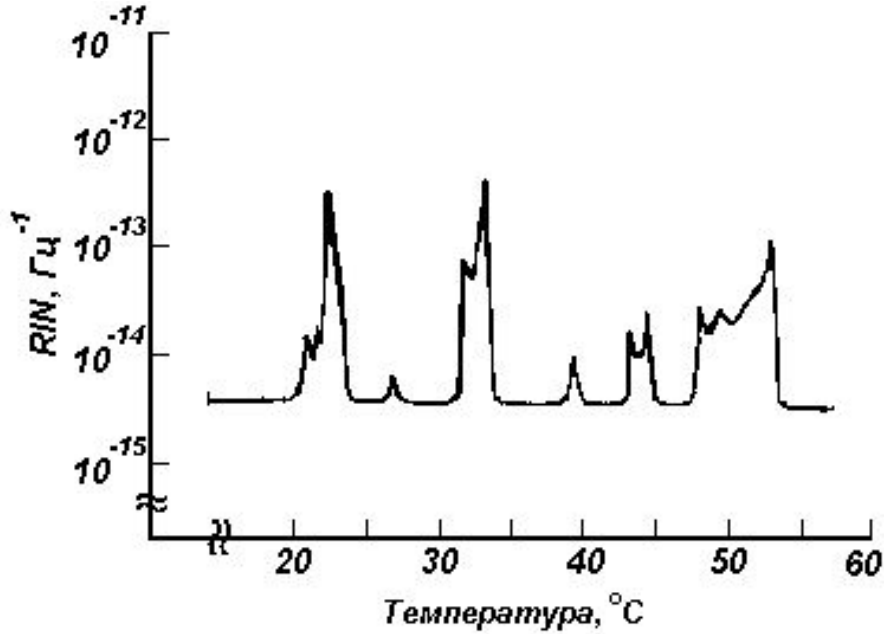

**Ввод излучения в оптический волновод в лазере с распределенной обратной связью**




Интегрально-оптический РБО-лазер

# Шумы в п/п инжекционных лазерах

- Квантовый шум
- Шум токораспределения
- Шум, обусловленный перескоком моды
- Шум, обусловленный отраженным светом




$$RIN = \frac{(\Delta P)^2}{P^2}\frac{1}{B}$$

# Мощные п/п инжекционные лазеры

- Излучение отдельных лазеров вводится в волоконный световод
- Лазерные линейки, лазерные решетки
- Излучение отдельных лазеров (на одном кристалле) вводится в плоский волновод

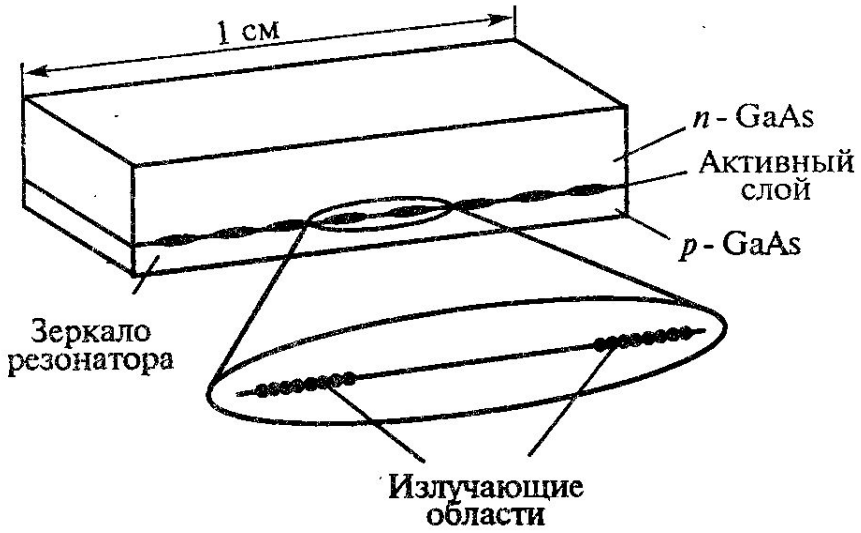



Схема типовой лазерной линейки