

КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Рекомендуемая литература

- **Основная:**

- 1) **Квантовая и оптическая электроника:** учебное пособие / [Г. Л. Киселев](#) . – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2017. – 316 с.
- 2) **Лазеры: устройство и действие:** учебное пособие для вузов по направлениям "Лазерная техника и лазерные технологии", "Фотоника и оптоинформатика" / [А. С. Борейшо](#): учебное пособие для вузов по направлениям "Лазерная техника и лазерные технологии", "Фотоника и оптоинформатика" / А. С. Борейшо, [С. В. Ивакин](#). – СПб.: Лань, 2016. – 304 с.

- **Дополнительная:**

- 1) **Квантовая и оптическая электроника:** Учебное пособие по курсу "Квантовая и оптическая электроника" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / [Е. Ф. Ищенко](#), – М.: Изд-во МЭИ, 2004 . – 76 с.
- 2) **Квантовые источники излучения** / [В. В. Близнюк](#) / В. В. Близнюк, [С. М. Гвоздев](#) . – М. : ВИГМА, 2006. – 400 с.
- 3) **Открытые оптические резонаторы: Некоторые вопросы теории и расчёта.** / [Ищенко Е.Ф.](#) – М.: Сов. радио, 1980 – 208 с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОПТИКИ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Система уравнений Максвелла $\Rightarrow$ волновое уравнение. В изотропной среде:

$$\nabla^2 \vec{E}(\mathbf{r}, t) + k^2 \vec{E}(\mathbf{r}, t) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \nabla^2 \vec{H}(\mathbf{r}, t) + k^2 \vec{H}(\mathbf{r}, t) = 0 \quad (1)$$

Основной тезис физической оптики:

Решение волновых уравнений $\Leftrightarrow$ пространственно-временному распределению амплитуды и фазы ЭМ поля.

Примеры: *плоская волна, сферическая волна, цилиндрическая волна* и т.д.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭМ ИЗЛУЧЕНИЯ

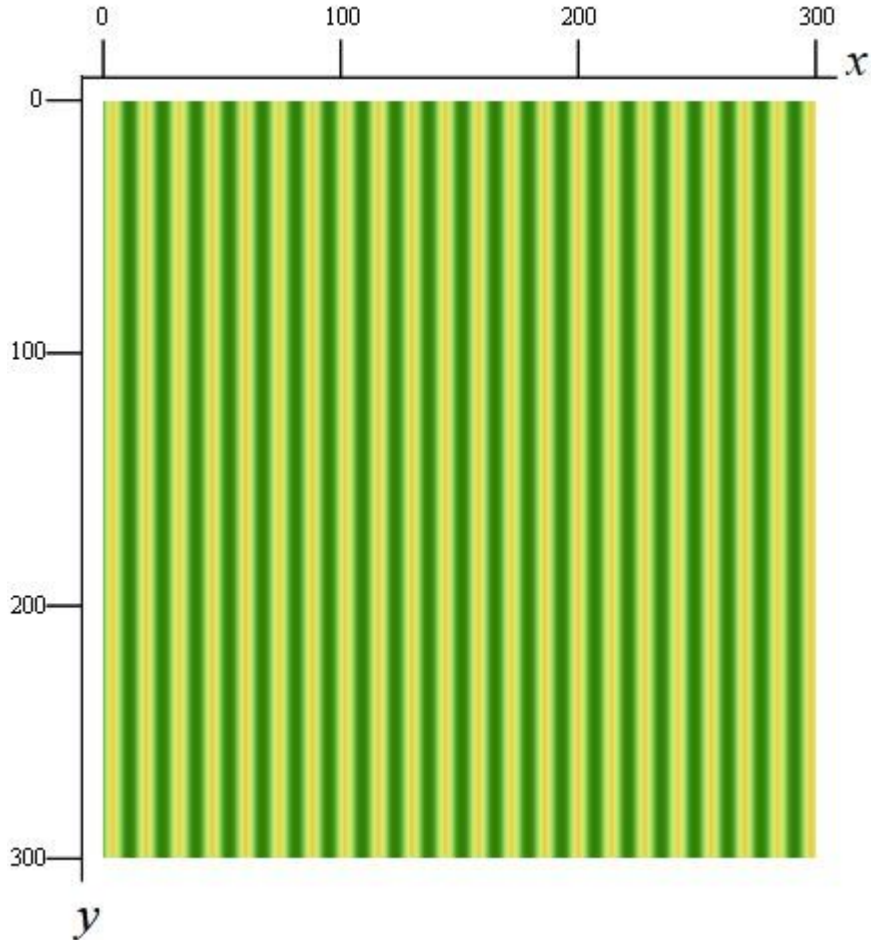
- Энергетические:
 - Амплитуда
 - Мощность
 - Объёмная плотность энергии
 - Спектральная плотность мощности
 - Интегральная плотность мощности (интенсивность)
- Пространственно-временные:
 - Длина волны
 - Период колебаний
 - Частота колебаний
 - Фаза
 - Волновой фронт
 - Фазовая скорость

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЭМ ИЗЛУЧЕНИЯ

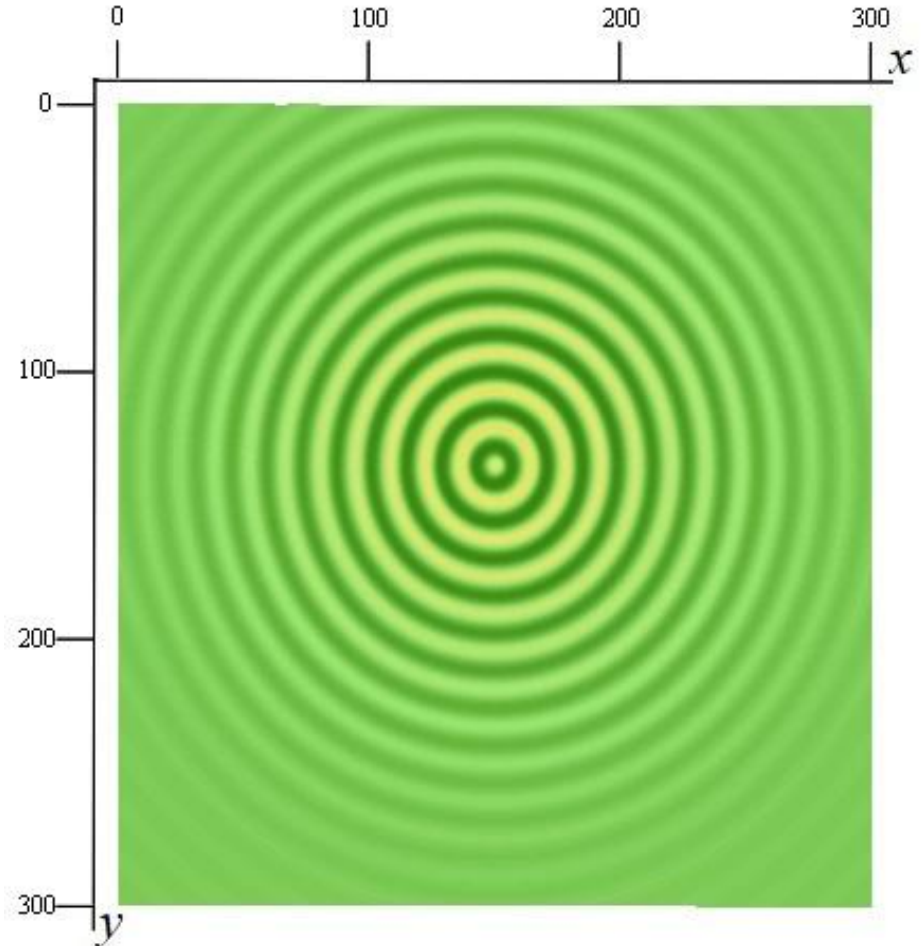
- **Когерентность** — согласованное протекание в пространстве (пространственная когерентность) и во времени (временная когерентность) двух или нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их наложении.
- **Монохроматичность** — свойство излучения, определяющее ширину его спектральной линии. Чем более она узкая, тем более излучение монохроматично. В идеализированном случае спектр излучения бесконечно тонкий и характеризуется единственной длиной волны (частотой).
- **Поляризованность** — общее свойство электромагнитных волн, связанное детерминированным, закономерным пространственно-временным поведением векторных характеристик волны — **Е** и **Н**.
- **Направленность** — локализация излучения вблизи одного направления, которое является осью распространения излучения.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ В ВАКУУМЕ

Плоская волна:

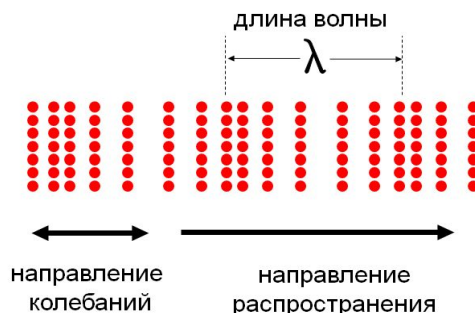


Сферическая (либо цилиндрическая) волна

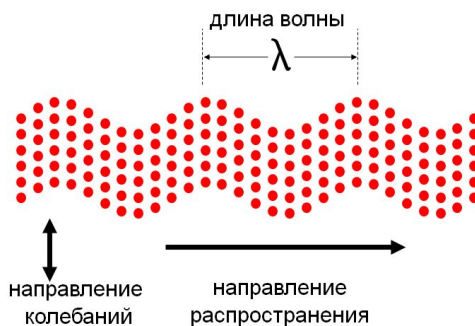
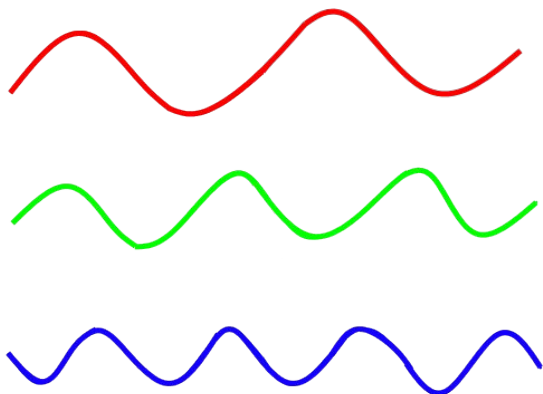


ПРОДОЛЬНЫЕ И ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ

- **Продольные волны** – направление колебаний амплитуды волны *совпадает* с направлением распространения. (механические колебания, акустические волны)



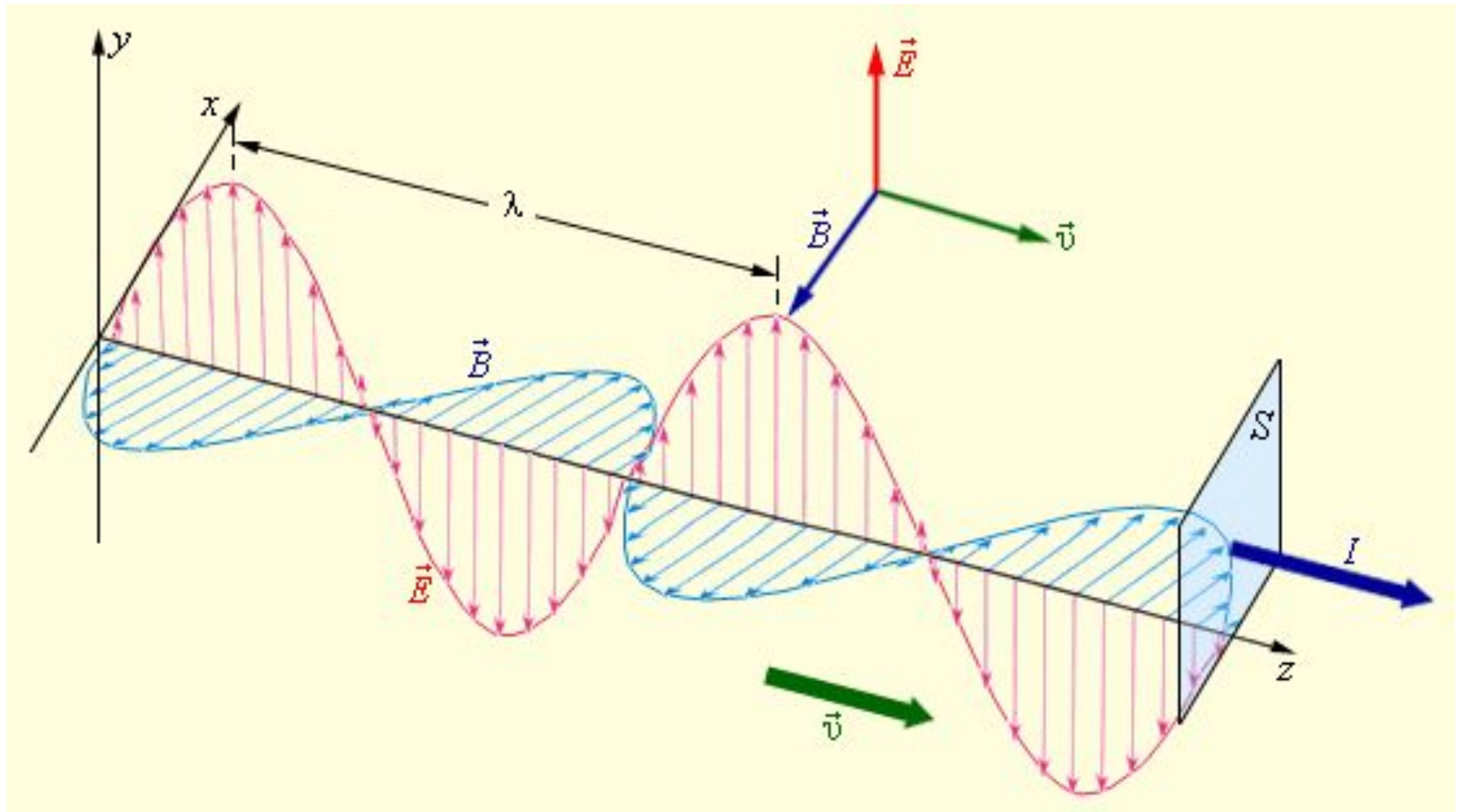
- **Поперечные волны** – направление колебаний амплитуды волны *перпендикулярно* направлению распространения. (кольца на воде, колебание струны или верёвки и т. д.)



Принципиальное отличие продольных волн от поперечных заключается в том, что для последних характерна **поляризация**.

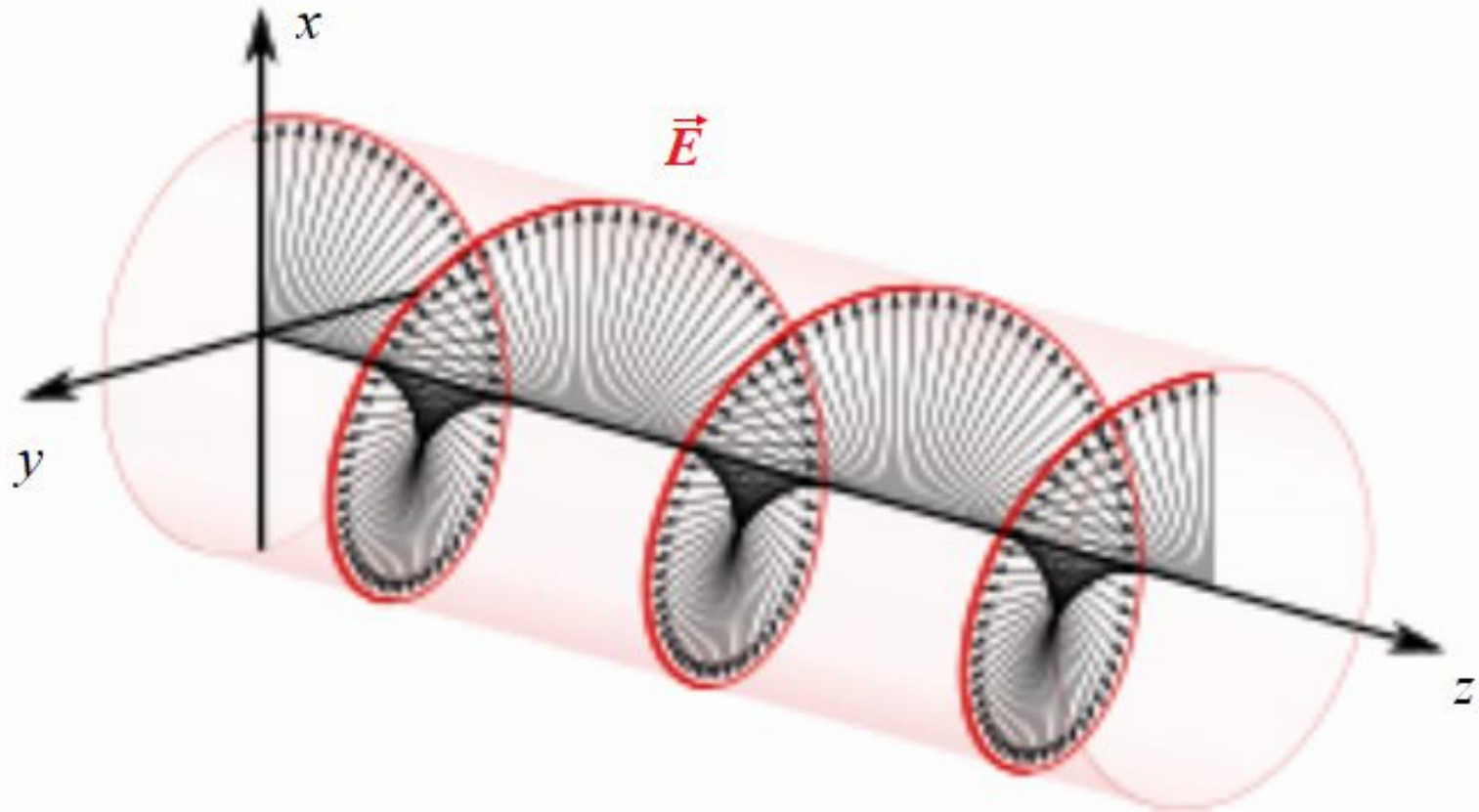
ПРИРОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Линейно поляризованная волна:



ПРИРОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Циркулярно поляризованная волна:

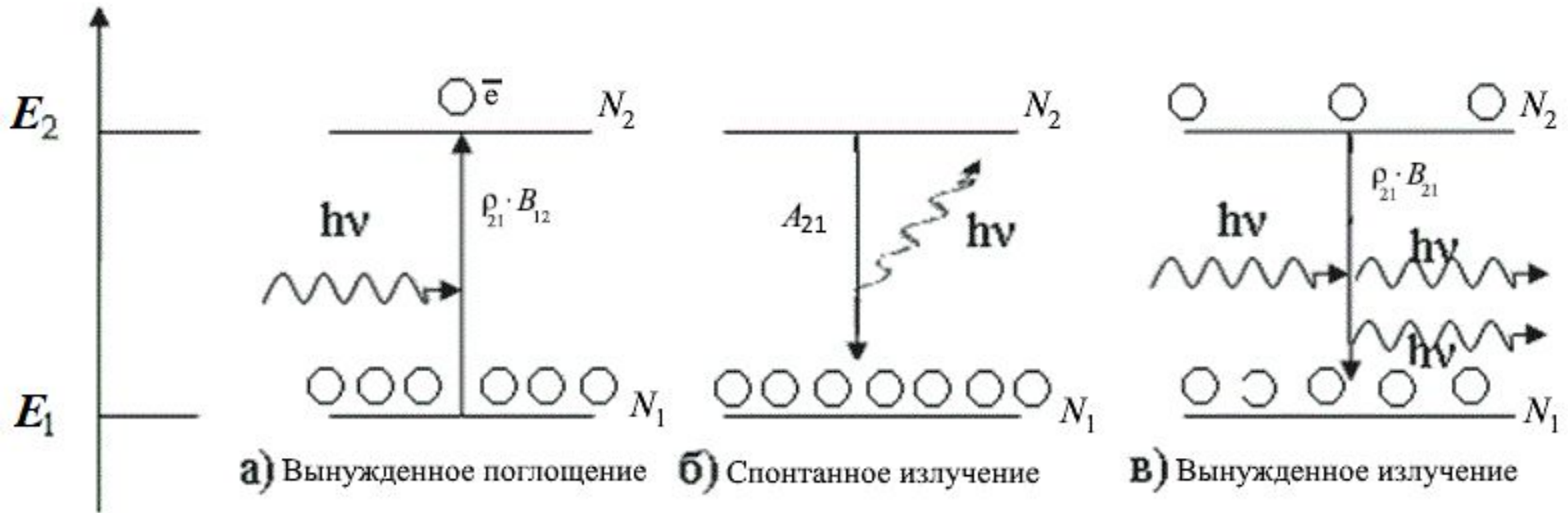


ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

КВАНТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ МЕЖДУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УРОВНЯМИ

- Излучательные переходы:
 1. Вынужденное поглощение;
 2. Спонтанное излучение;
 3. Вынужденное излучение.
- Безызлучательные переходы (релаксация):
 1. За счёт неупругого соударения атомов и молекул между собой или с электронами;
 2. За счёт химической реакции;
 3. За счёт сильных постоянных электрических полей.

ОПТИЧЕСКИЕ (ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ) ПЕРЕХОДЫ



Рассмотрим уровни 1 и 2:

- A_{21} – вероятность спонтанного перехода между уровнями 1 и 2 в единицу времени (или коэффициент Эйнштейна для спонтанного перехода) [с^{-1}];
- $\tau_2^{\text{сп}}$ – время жизни электрона на уровне 2:

$$\tau_2^{\text{сп}} \approx 1/A_{21} \quad (2)$$

- Скорость спонтанного перехода электрона с уровня 2 на уровень 1 определяется следующим соотношением:

$$\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{\text{СПОНТ}} = -A_{21}N_2 = -\left. \frac{dN_1}{dt} \right|_{\text{СПОНТ}} \quad (3)$$

- $\rho_v(\nu)$ — объёмная спектральная плотность энергии [Дж/(м³·Гц)];
- B_{12} — коэффициент Эйнштейна для вынужденного поглощения [м³/(Дж·с²)];
- Вероятность перехода в единицу времени при вынужденном поглощении с уровня 1 на уровень 2 равна $\rho_v(\nu_{21}) \cdot B_{12}$
- Скорость перехода при вынужденном поглощении с уровня 1 на уровень 2 определяется следующим соотношением:

$$\left. \frac{dN_1}{dt} \right|_{\text{вын. погл.}} = -\rho_v(\nu_{21}) \cdot B_{12} \cdot N_1 \quad (4)$$

- B_{21} — коэффициент Эйнштейна для вынужденного излучения [$\text{м}^3/(\text{Дж} \cdot \text{с}^2)$];
- Вероятность перехода в единицу времени при вынужденном излучении при переходе с уровня 2 на уровень 1 равна $\rho_v(\nu_{21}) \cdot B_{21}$
- Скорость перехода при вынужденном излучении при переходе с уровня 2 на уровень 1 определяется следующим соотношением:

$$\left. \frac{dN_1}{dt} \right|_{\text{вын. изл.}} = \rho_v(\nu_{21}) \cdot B_{21} \cdot N_2 \quad (5)$$

Если имеет место лишь спонтанное излучение, то, решая дифференциальное уравнение, получаем:

$$\frac{dN_2}{N_2} = -A_{21}dt;$$

$$\ln(N_2(t)) = -A_{21}t + \textit{const};$$

$$N_2(t) = \textit{const}_0 \exp(-A_{21}t) = N_2(t_0) \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_2}\right). \quad (6)$$

$\textit{const}$ – константа интегрирования, $\textit{const}_0 = \exp(\textit{const}) = N_2(t_0)$ – заселённость уровня 2 в начальный момент времени t_0 , τ_2 – **время жизни** уровня 2.

В термодинамически равновесной замкнутой системе объёмная спектральная плотность энергии описывается **формулой Планка**:

$$\rho_\nu(\nu_{21}) = \frac{8\pi\nu_{21}^2}{c^3} \frac{h\nu_{21}}{\exp\left(\frac{h\nu_{21}}{kT}\right) - 1} \quad (7)$$

Для двухуровневой системы:

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu_{21}^3}{c^3} \quad (8)$$

ЗАКОН БУГЕРА-ЛАМБЕРТА-БЕРА

При прохождении излучения через однородную изотропную среду его интенсивность меняется согласно закону **Бугера-Ламберта-Бера**:

$$I(z) = I(z_0) \cdot \exp[-\alpha \cdot (z - z_0)] \quad (9)$$

Для среды с фиксированной длиной L выходная интенсивность излучения $I_{\text{ВЫХ}}$:

$$I_{\text{ВЫХ}} = I(L) = I_{\text{ВХ}} \cdot \exp(-\alpha \cdot L) \quad (10)$$

Если $\alpha < 0$, то удобно использовать **показатель усиления** среды α_g :

$$\alpha_g = -\alpha \quad (11)$$

В таком случае закон Бугера переписывается в следующем виде:

$$I(z) = I(z_0) \cdot \exp[\alpha_g \cdot (z - z_0)] \quad (12)$$

МЕХАНИЗМЫ СОЗДАНИЯ ИНВЕРСИИ НАСЕЛЁННОСТИ

СТАБИЛЬНОСТЬ УРОВНЕЙ

Энергетические уровни атомов в веществе обладают разными временами жизни. Уровни делятся на:

- **Стабильные** – уровни, стабильность которых сохраняется при больших амплитудах внешних возмущений
- **Нестабильные** – уровни, стабильность которых нарушается при сколь угодно малых амплитудах внешних возмущений
($\tau \sim 10^{-8}$ с)
- **Метастабильные** – уровни, стабильность которых сохраняется при малых амплитудах внешних возмущений
($\tau \sim 10^{-3}$ с)

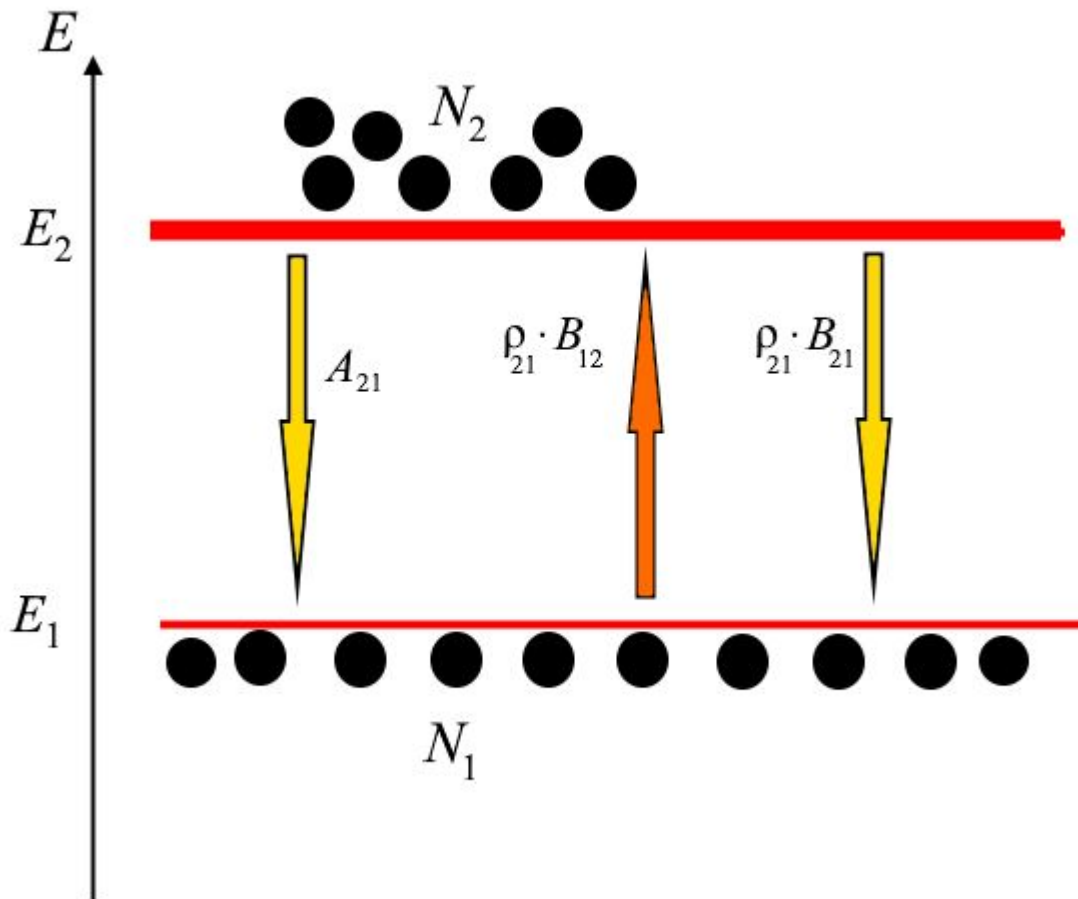
НАКАЧКА СРЕДЫ

Для создания инверсии населённости в среде необходимо произвести возбуждение молекул или атомов в зависимости от типа активной среды.

Активная среда – среда, где создана инверсия населённости.

Вводя в систему спектральную объёмную плотность энергии возбуждения (накачки) ρ_{ik} можно менять населённость энергетических уровней.

ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА



$$\rho_{\nu}(\nu_{21}) = \rho_{21}$$

$$N = N_1 + N_2$$

$$B_{12} = B_{21}$$

В стационарном случае:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\frac{dN_2}{dt} = 0$$

Уравнение связи при $A_{21} \gg A_{12}$:

$$N_1 \cdot \rho_{21} B_{12} = N_2 \cdot (\rho_{21} B_{21} + A_{21}) \quad (13)$$

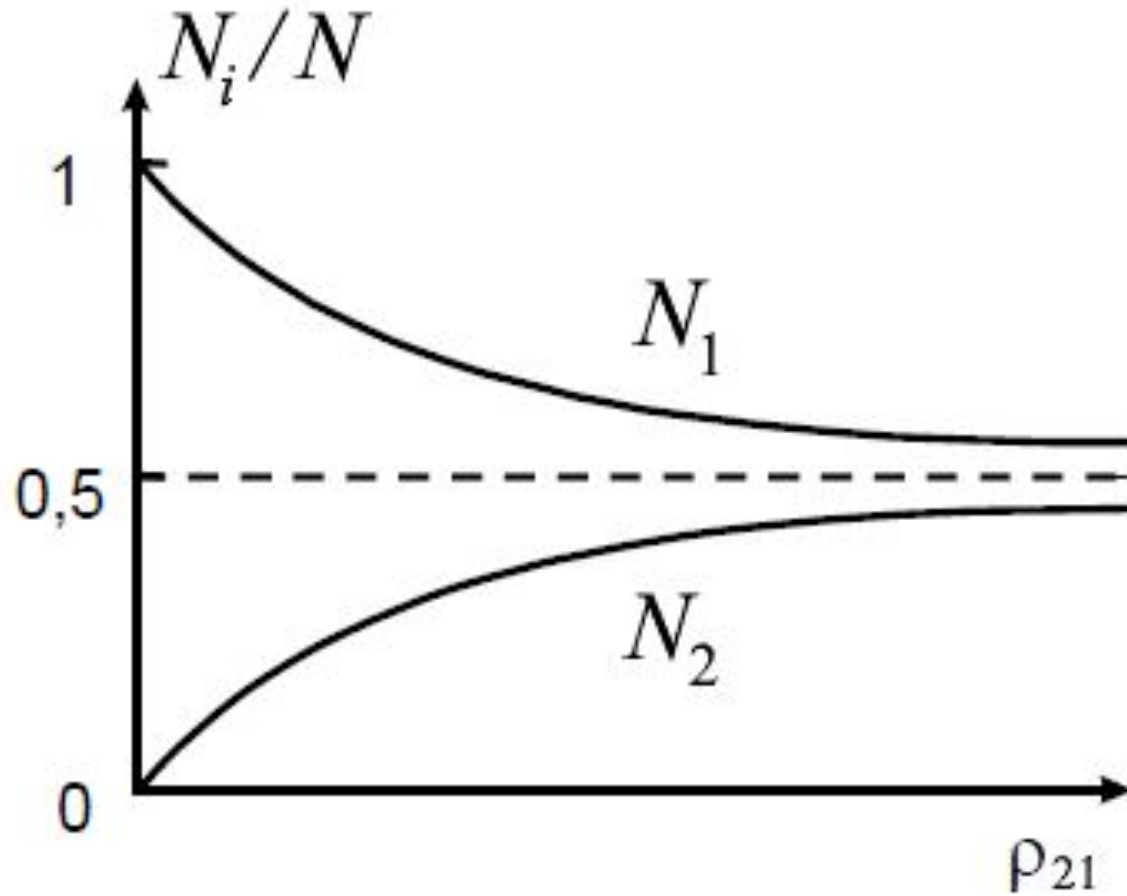
Из (13) $\Rightarrow$

$$\begin{cases} N_1(\rho_{21}) = \frac{\rho_{21}B_{12} + A_{21}}{2\rho_{21}B_{21} + A_{21}} N; \\ N_2(\rho_{21}) = \frac{\rho_{21}B_{12}}{2\rho_{21}B_{21} + A_{21}} N. \end{cases} \quad (14)$$

В пределе:

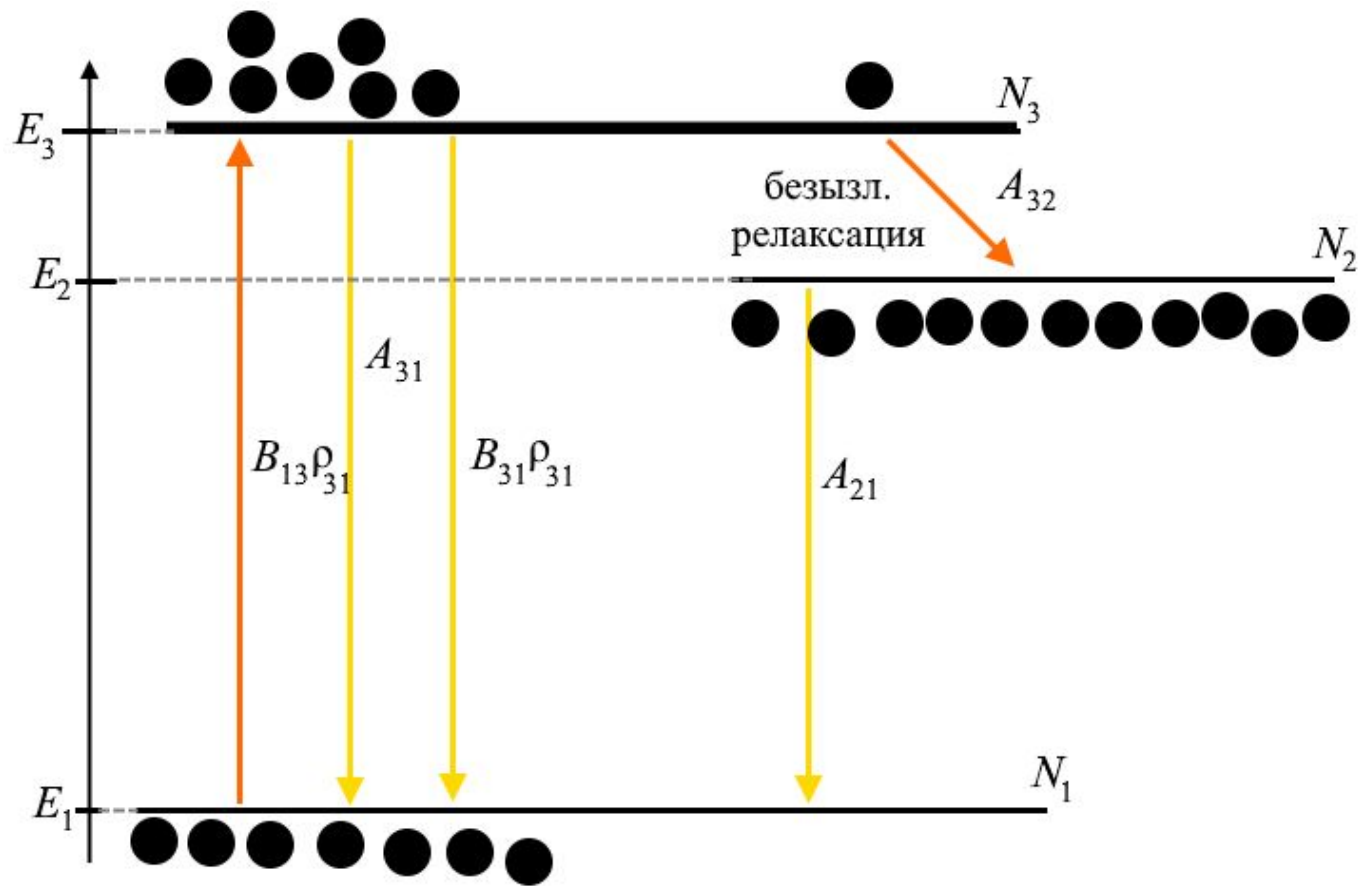
$$\begin{cases} \lim N_1(\rho_{21} \rightarrow \infty) = 0,5N; \\ \lim N_2(\rho_{21} \rightarrow \infty) = 0,5N. \end{cases} \quad (15)$$

Получается, что при сколь угодно увеличении ρ_{21} в двухуровневой системе никогда не будет выполняться условие $N_2 > N_1$.



Таким образом, в двухуровневой системе **невозможно** создание постоянной инверсии населённости.

ТРЕХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА



$$\begin{cases} \frac{dN_3}{dt} = B_{13} \cdot \rho_{31} N_1 - (A_{31} + B_{31} \cdot \rho_{31} + A_{32}) N_3; \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} \frac{dN_2}{dt} = A_{32} \cdot N_3 - A_{21} \cdot N_2; \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = (B_{31} \cdot \rho_{31} + A_{31}) N_3 - B_{13} \cdot \rho_{31} N_1 + A_{21} N_2. \end{cases} \quad (18)$$

В стационарном случае:

$$\begin{cases} N = N_1 + N_2 + N_3; & (19) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt}, \frac{dN_2}{dt}, \frac{dN_3}{dt} = 0. & (20) \end{cases}$$

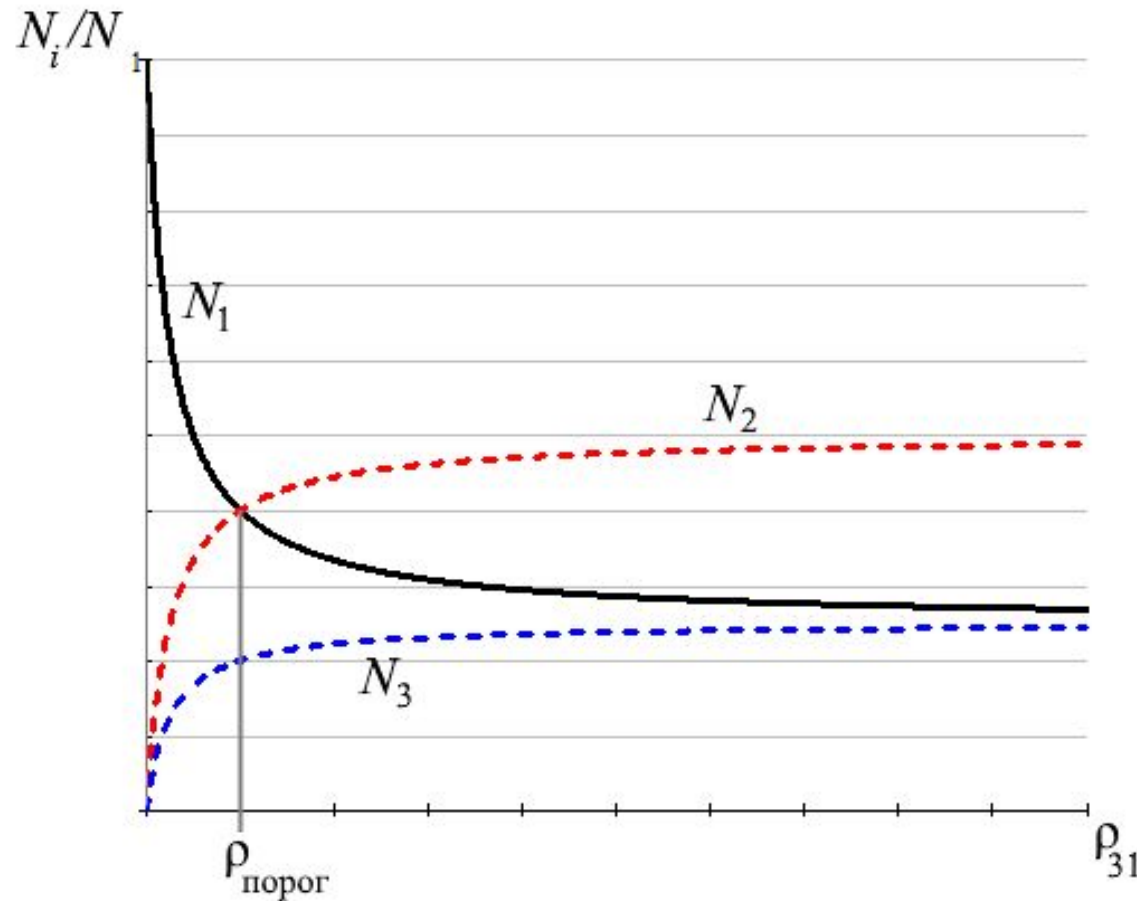
Из (16)-(20) следует:

$$\begin{cases} N_3 = \frac{B_{13} \cdot \rho_{31}}{A_{31} + B_{31} \cdot \rho_{31} + A_{32}} \cdot N_1; & (21) \end{cases}$$

$$\begin{cases} N_3 = \frac{A_{21}}{A_{32}} \cdot N_2; & (22) \end{cases}$$

$$\begin{cases} N_2 = \frac{B_{13} \cdot \rho_{31}}{A_{31} + B_{31} \cdot \rho_{31} + A_{32}} \cdot \frac{A_{32}}{A_{21}} N_1. & (23) \end{cases}$$

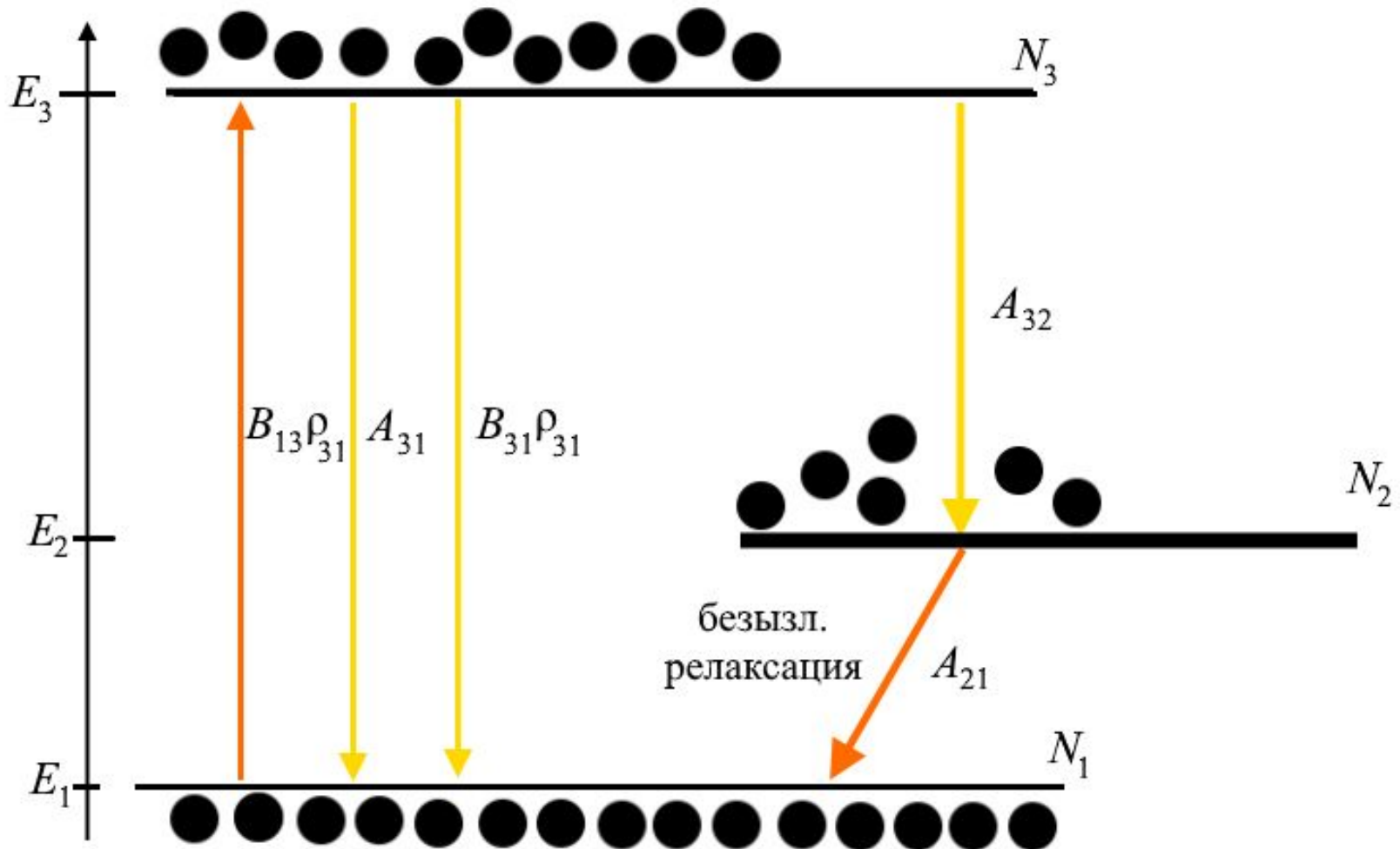
Если $A_{32} > A_{21}$, то уровень два является метастабильным, и зависимость населённости от накачки будет следующая:



Считая $B_{13} = B_{31}$, получаем условие порога инверсии между уровнями 2 и 1 путём приравнивания N_1 и N_2 в уравнении (23):

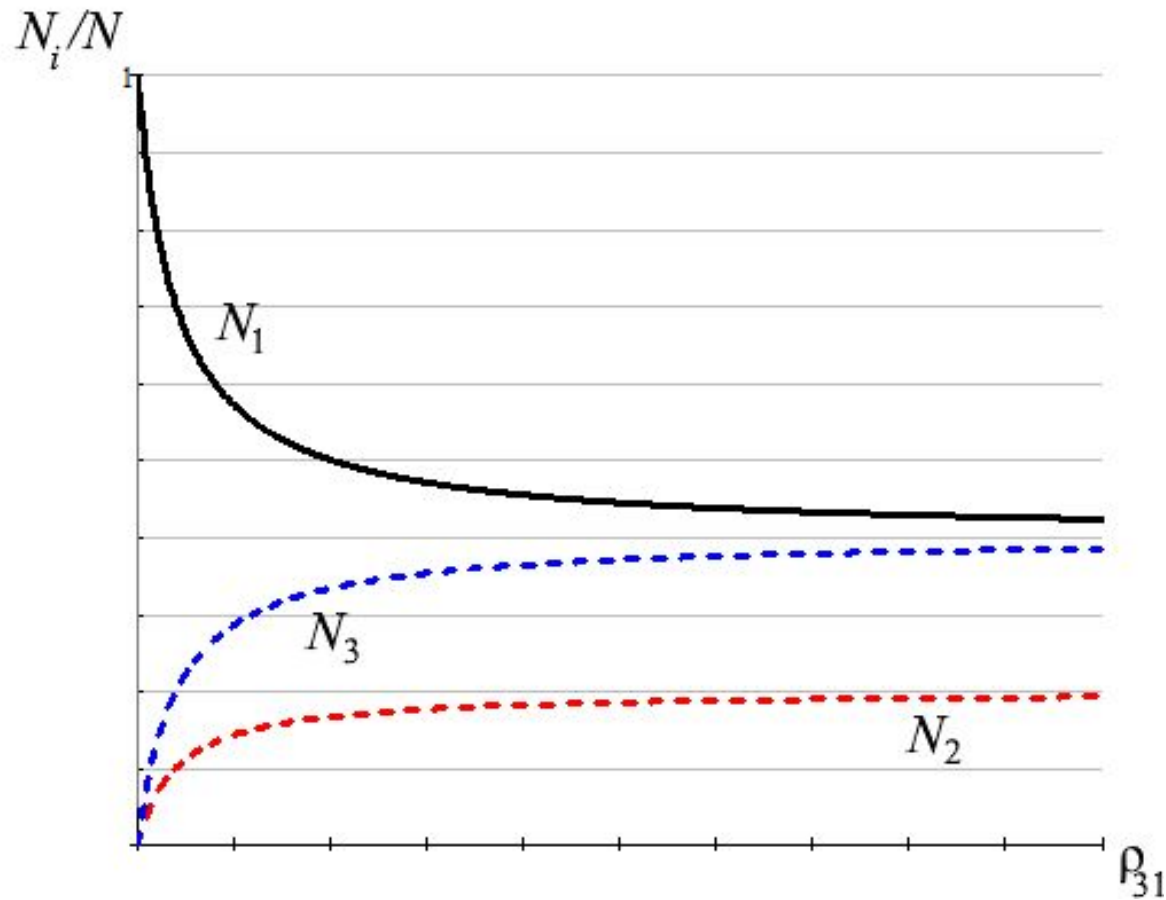
$$\rho_{\text{порог}} = \frac{A_{31} + A_{32}}{A_{32} - A_{21}} \cdot \frac{A_{21}}{B_{31}} \quad (24)$$

Также возможен и другой вариант:



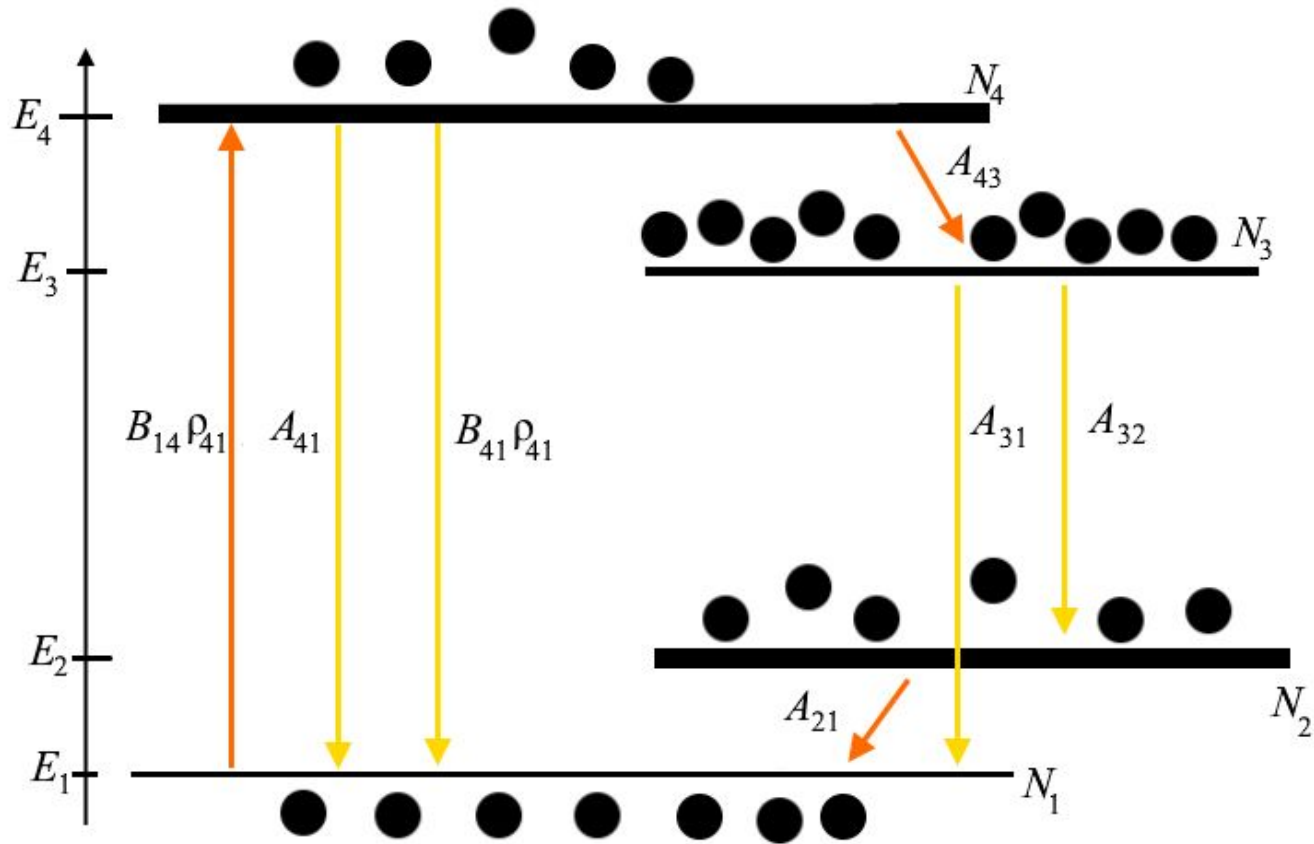
Если $A_{21} > A_{32}$, то из уравнения (19) следует, что всегда $N_3 > N_2$

Зависимость населённости от накачки в таком случае будет следующая:

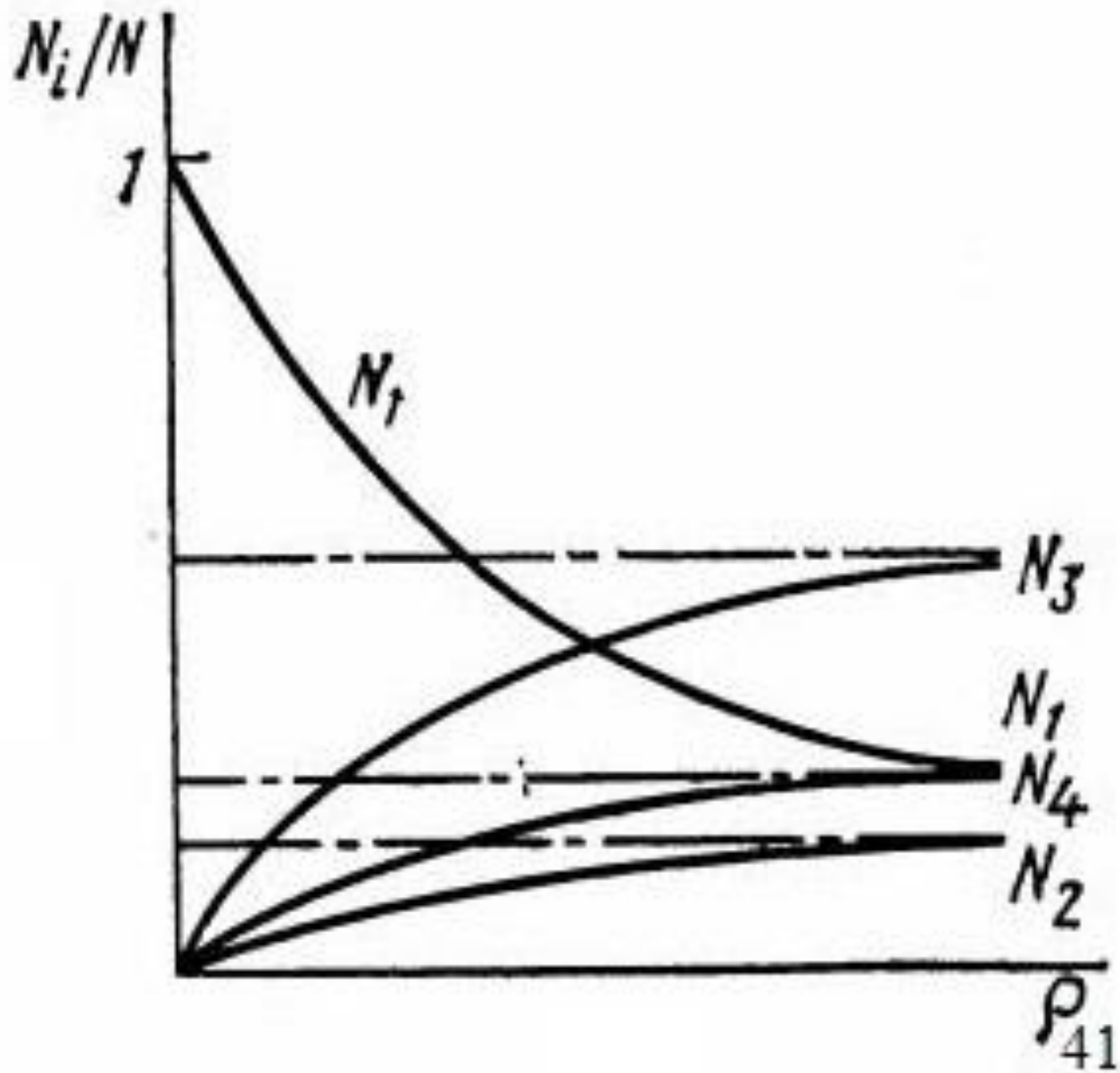


Поддерживаться инверсия населённостей уровней 2 и 3.

ЧЕТЫРЁХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА



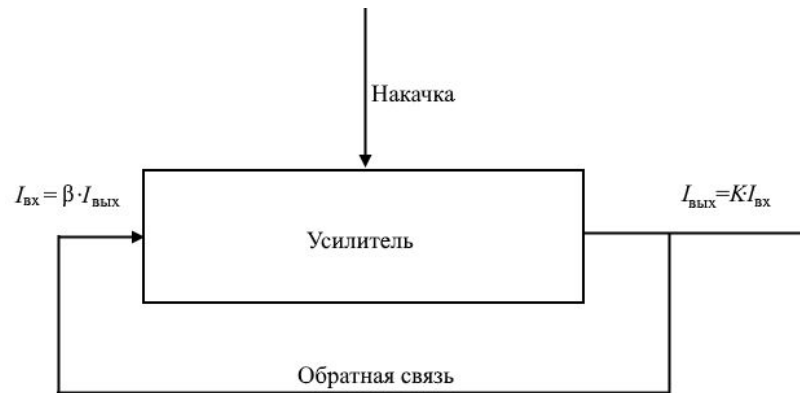
Четырёхуровневая система обычно считается самой оптимальной. В ней часто добиваются инверсии населённостей между уровнями 2 и 3. Тогда: $A_{43} > (A_{31} + A_{32})$ и $A_{21} > A_{32}$.



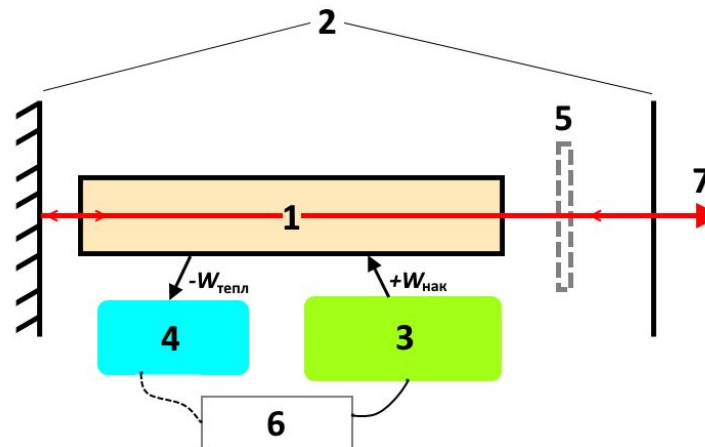
ЛАЗЕРЫ. ОБЩИЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ

LASER – Light amplification by stimulated emission of radiation – усиление света с помощью индуцированного (вынужденного) излучения.

Обобщённая схема генератора:



Принципиальная схема лазера:



Назначение главных элементов лазера

- **Активная среда** генерирует и усиливает излучение лазера;
- **Резонатор** организует положительную обратную связь и формирует пространственные, частотные и поляризационные характеристики излучения;
- **Система накачки** обеспечивает формирование и поддержку инверсии населённости в активной среде.

Классификация лазеров:

- По типу активной среды:

1. Газовые,
2. Жидкостные,
3. Твердотельные,
4. Полупроводниковые,
5. Волоконные;

- По модовому составу:

1. Одномодовые,
2. Многомодовые;

- По режиму генерации:

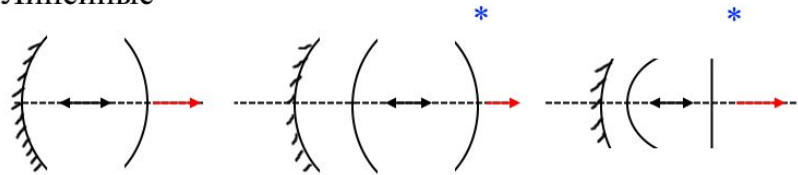
1. Непрерывные,
2. Импульсные.

ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ

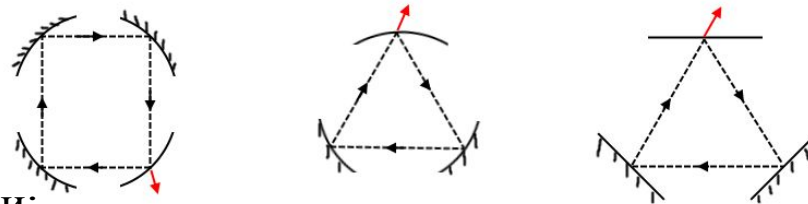
КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЗОНАТОРОВ

- По типу отражательных элементов (зеркальные, призмённые);
- По количеству зеркал (двухзеркальные, трёхзеркальные и т. д.);
- По взаимному расположению зеркал:

Линейные

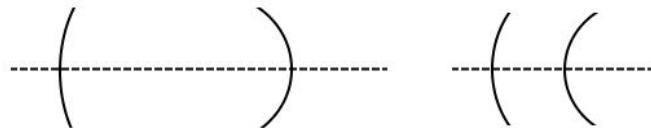


Кольцевые

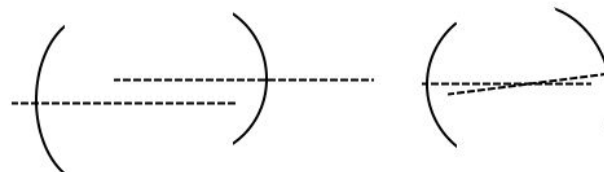


- По степени юстировки:

Съюстированные

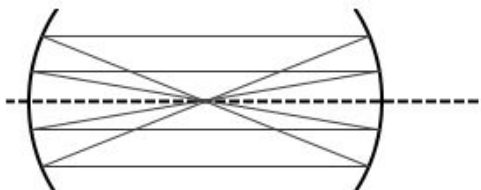


Разъюстированные:

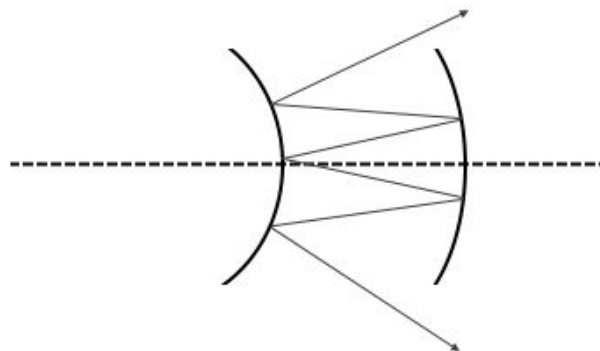


- По устойчивости:

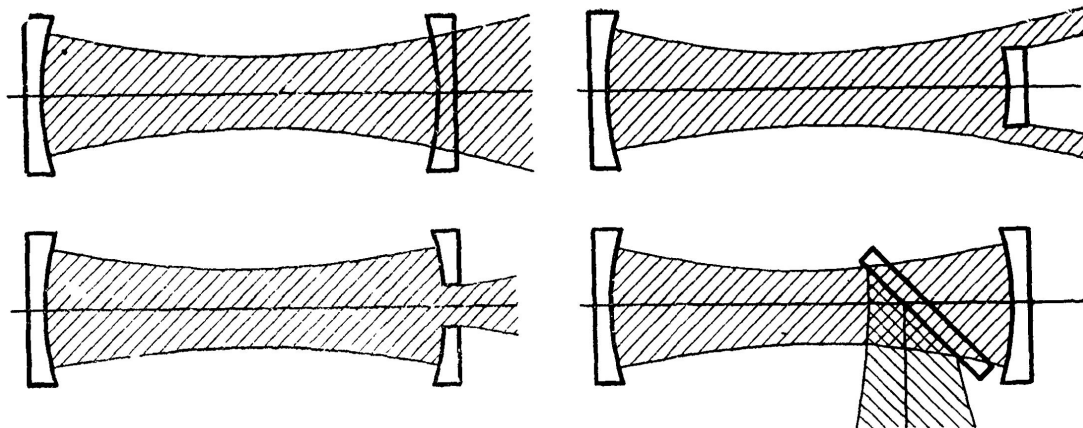
Устойчивые:



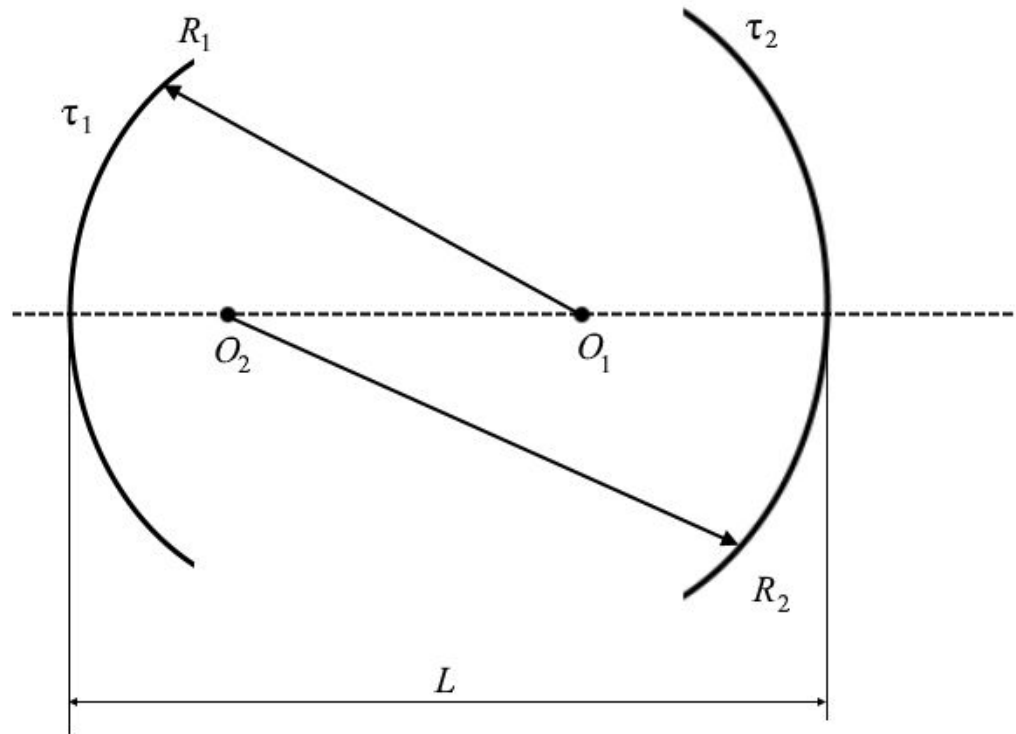
Неустойчивые:



Способы вывода излучения из резонатора:



ПАРАМЕТРЫ ДВУХЗЕРКАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

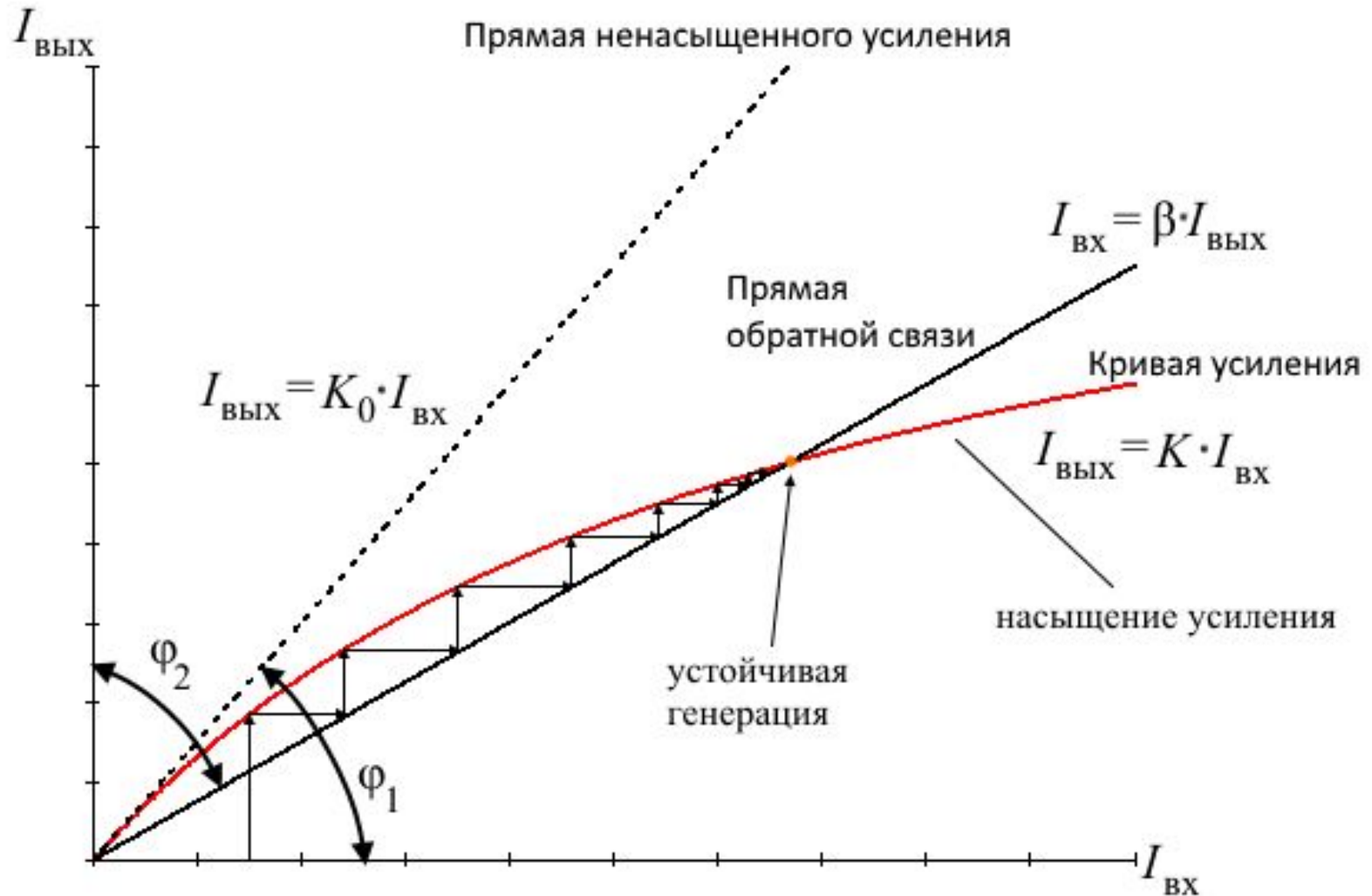


$$\alpha = 1 - \prod_k (1 - \alpha_k) \quad (25)$$

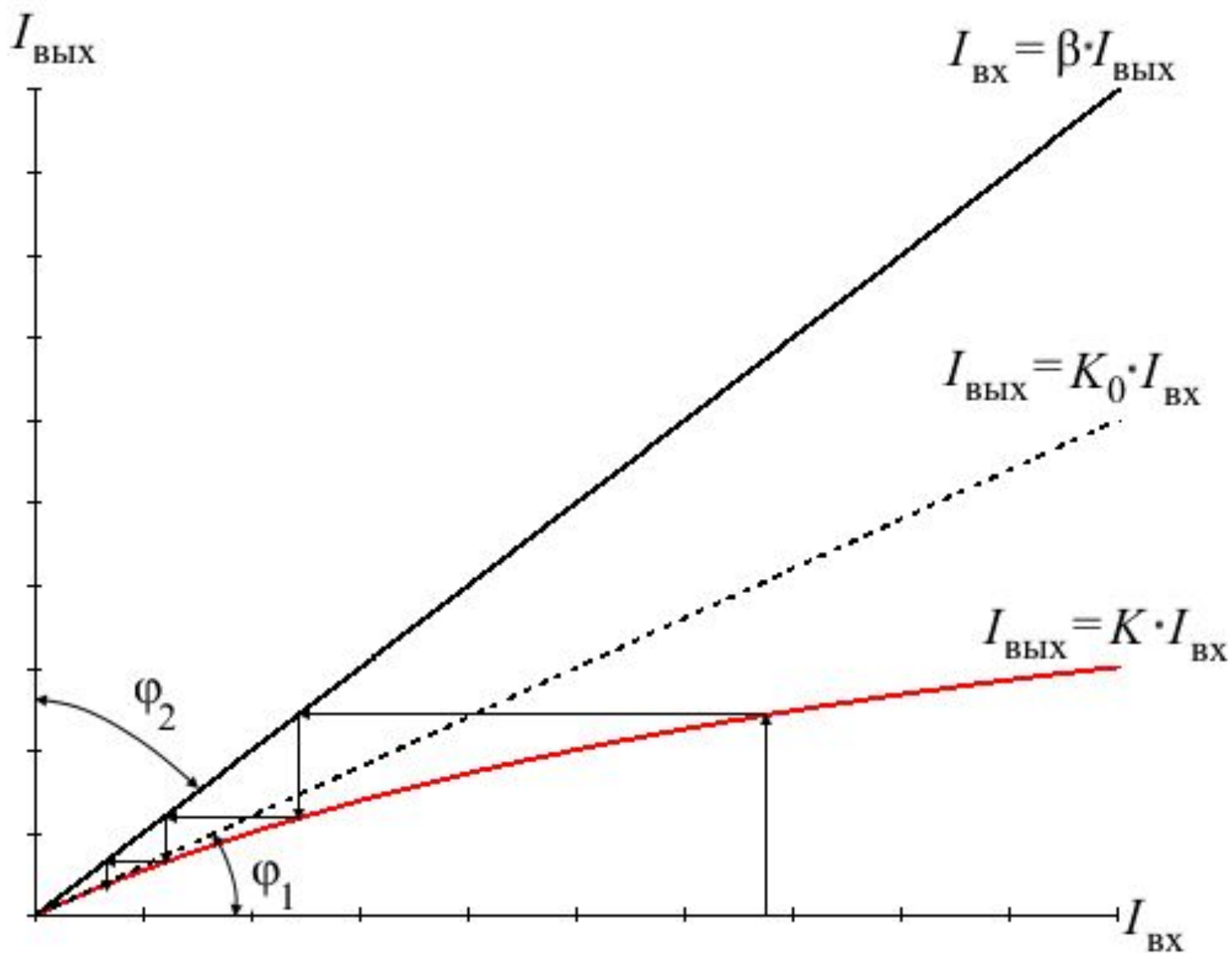
$$\beta = \alpha \cdot \prod_i (1 - \tau_i) = \prod_k (1 - \alpha_k) \cdot \prod_i (1 - \tau_i) \quad (26)$$

УСЛОВИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ

Увеличение и установление сигнала генератора:



Затухание сигнала генератора:



Необходимое условие начала генерации:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 + \varphi_2 \geq \pi / 2, \\ \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2) \leq 0, \\ \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1) + \operatorname{tg}(\varphi_2)}{1 - \operatorname{tg}(\varphi_1) \operatorname{tg}(\varphi_2)} \leq 0, \\ K_0 \cdot \beta \geq 1; \end{array} \right. \quad (27)$$

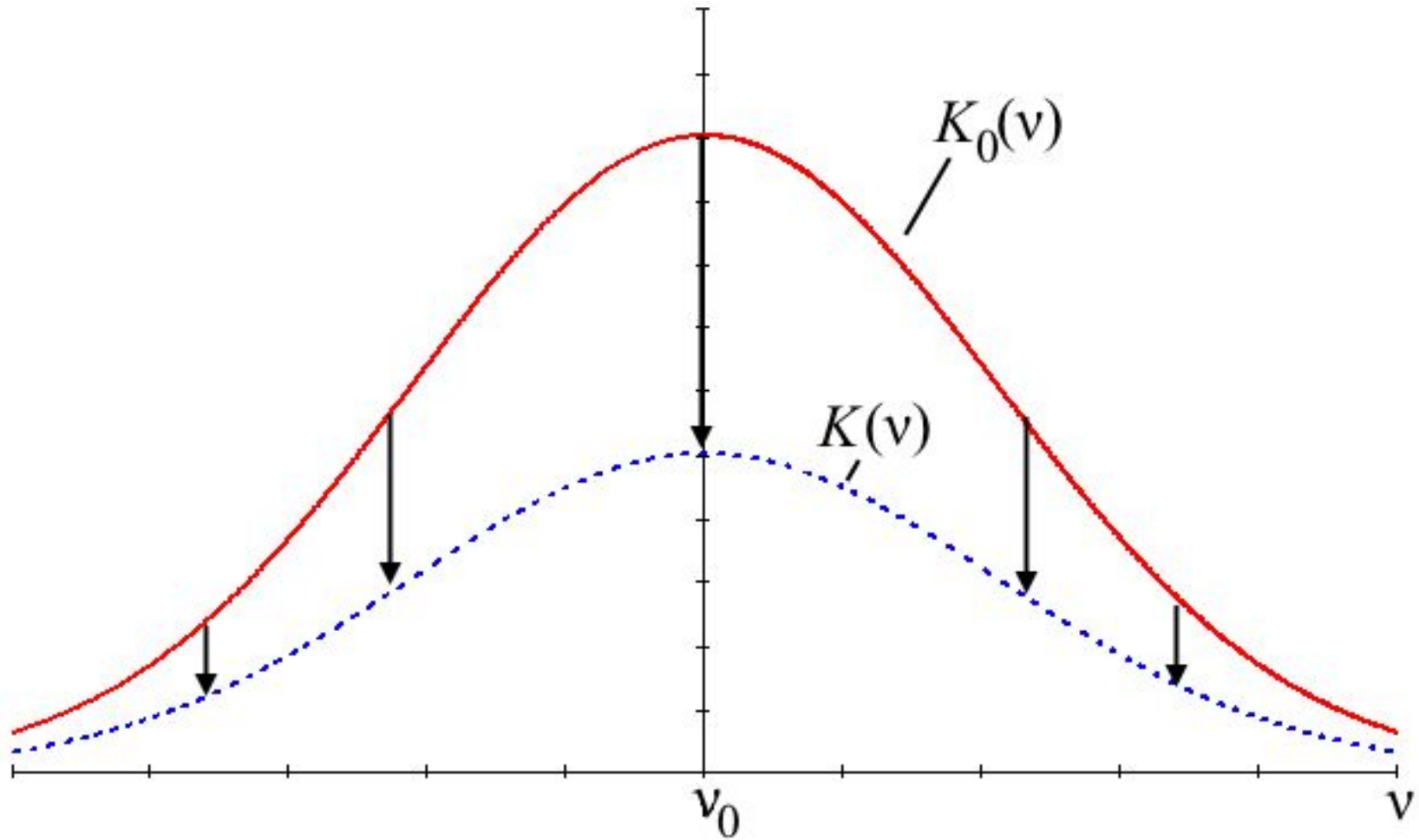
Пороговое условие генерации:

$$K_0 \cdot \beta = 1 \quad (28)$$

Стационарный режим генерации:

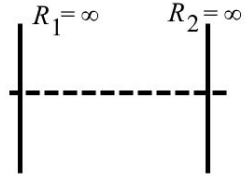
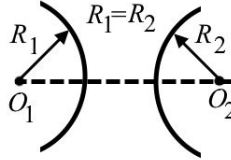
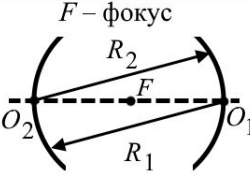
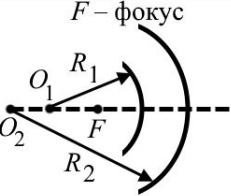
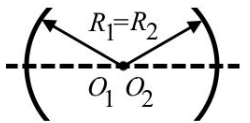
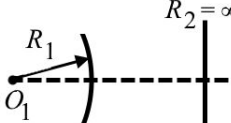
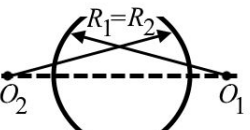
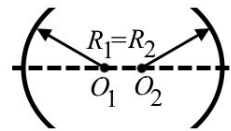
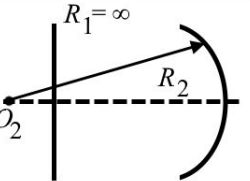
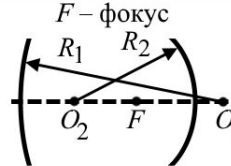
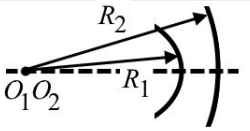
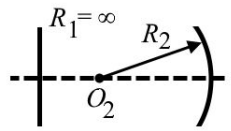
$$K \cdot \beta = 1 \quad (29)$$

ОДНОРОДНОЕ НАСЫЩЕНИЕ УСИЛЕНИЯ



$$K(I) = \frac{K_0}{1 + \frac{I}{I_s}} \quad (30)$$

ВИДЫ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Наименование	Схема	Наименование	Схема
Плоский		Симметричный неустойчивый (выпуклое зеркало)	
Симметричный конфокальный		Телескопический (положительная ветвь)	
Симметричный концентрический		Неустойчивый (положительная ветвь)	
Симметричный устойчивый		Симметричный неустойчивый (вогнутое зеркало)	
Устойчивый полусферический		Телескопический (отрицательная ветвь)	
Граничный		Неустойчивый (отрицательная ветвь)	

Условие конфокальности:

$$R_1 + R_2 = 2L \quad (31)$$

Условие концентричности:

$$R_1 + R_2 = L \quad (32)$$

МОДЫ

Мода — амплитудно-фазовое распределение электромагнитного поля, которое описывается функцией, удовлетворяющей решению однородного уравнения Гельмгольца и граничным условиям резонатора.

Продольными модами называется спектр собственных частот резонатора.

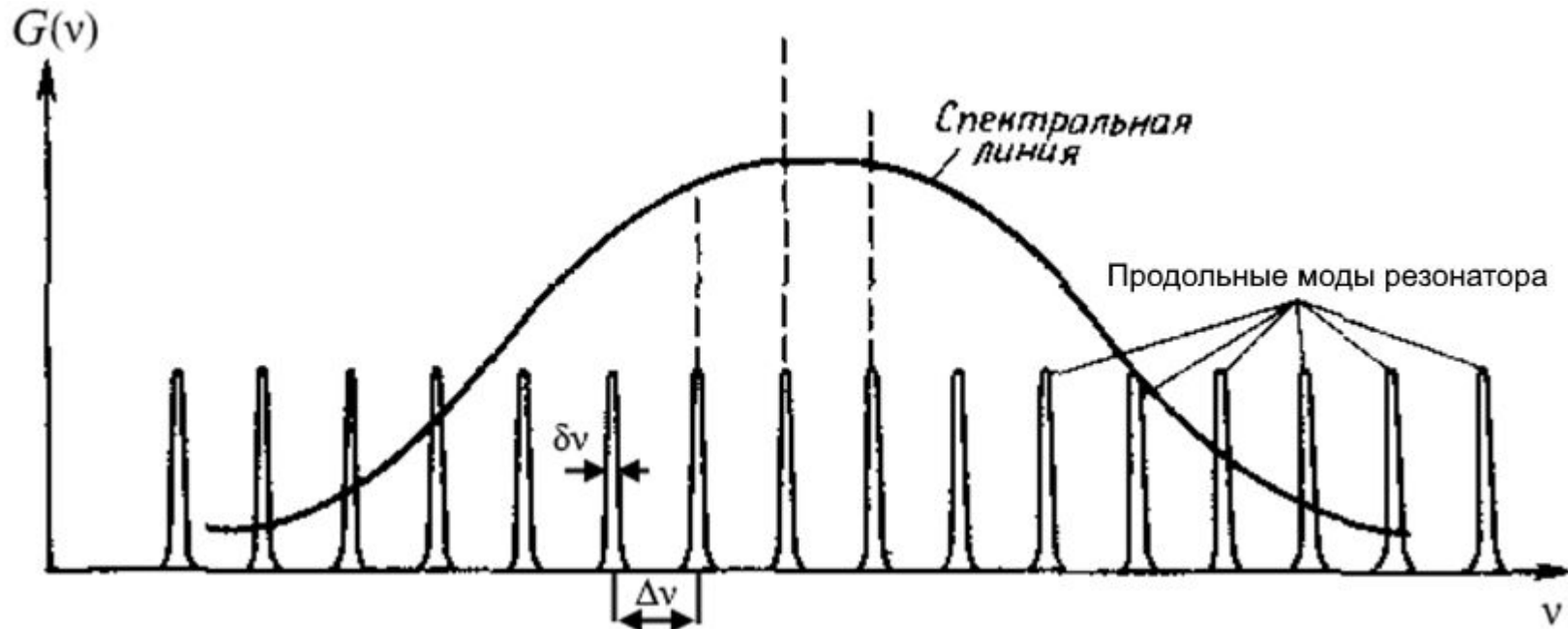
Поперечные моды обозначаются TEM_{mn} — Transverse ElectroMagnetic. Они отличаются между собой как амплитудно-фазовым распределением поля, так и частотой. Эти моды определяются условиями резонанса внутри резонатора и представляют собой определённые конфигурации ЭМ поля, задаваемые граничными условиями в резонаторе.

Продольные моды:

$$\begin{cases} \nu_q = \frac{c}{2n_{\text{ср}}L} q, & (33) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta\nu = \nu_{q+1} - \nu_q = \frac{c}{2n_{\text{ср}}L}. & (34) \end{cases}$$

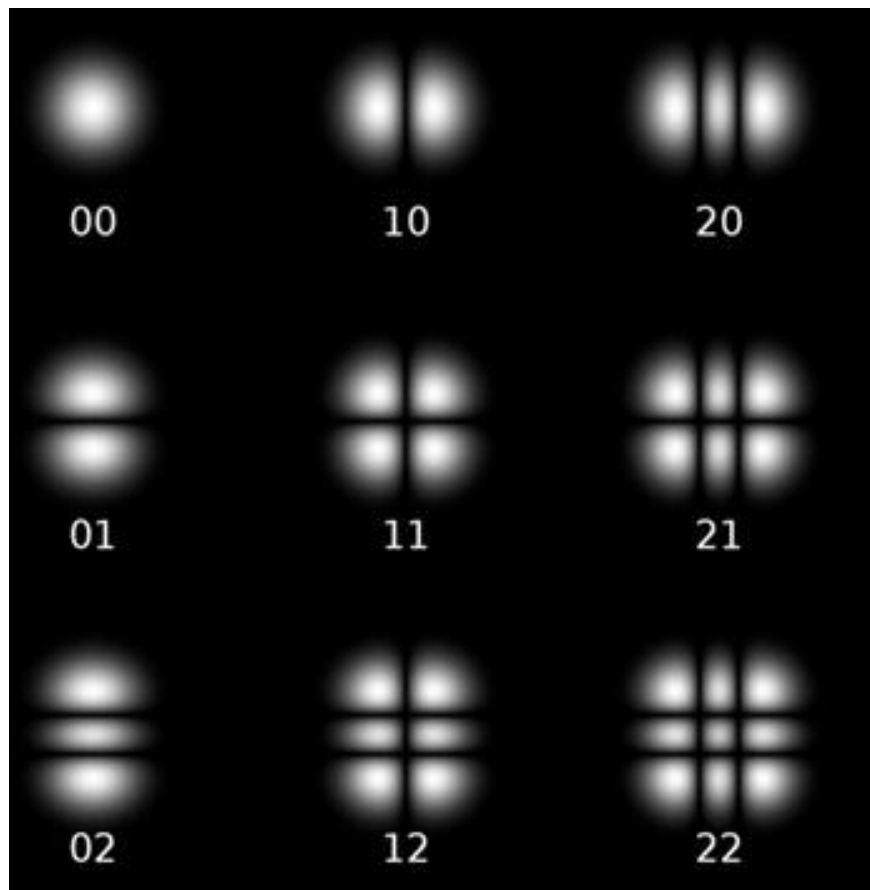
Для реальных зеркал:



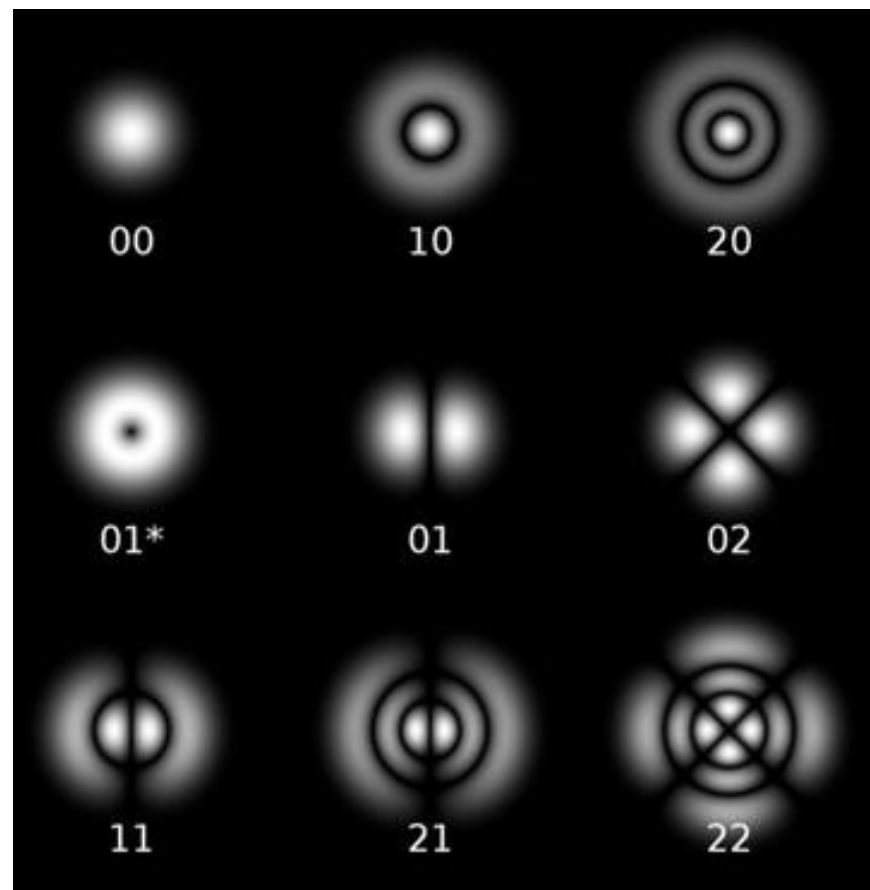
Поперечные моды:

TEM_{mn} – Transverse ElectroMagnetic

Плоские зеркала с квадратной апертурой:



Зеркала с круговой апертурой:



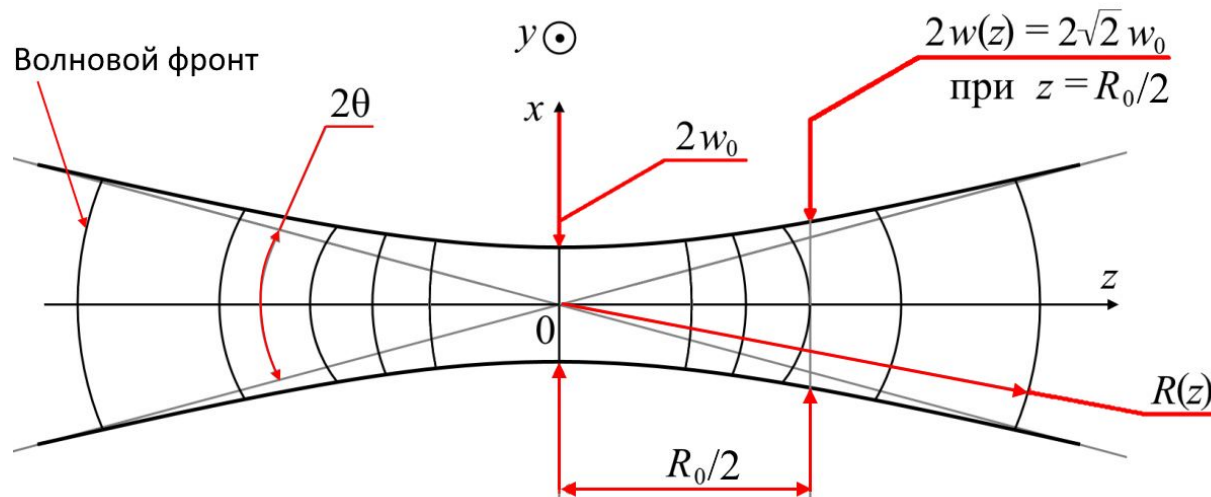
Гауссов пучок — основная мода полинома Эрмита-Гаусса. В каждом поперечном сечении амплитуда и интенсивность ГП представляют собой функцию Гаусса. В общем случае ГП — это математическая модель, хорошо описывающая параметры одномодового лазерного излучения.

ГАУССОВ ПУЧОК

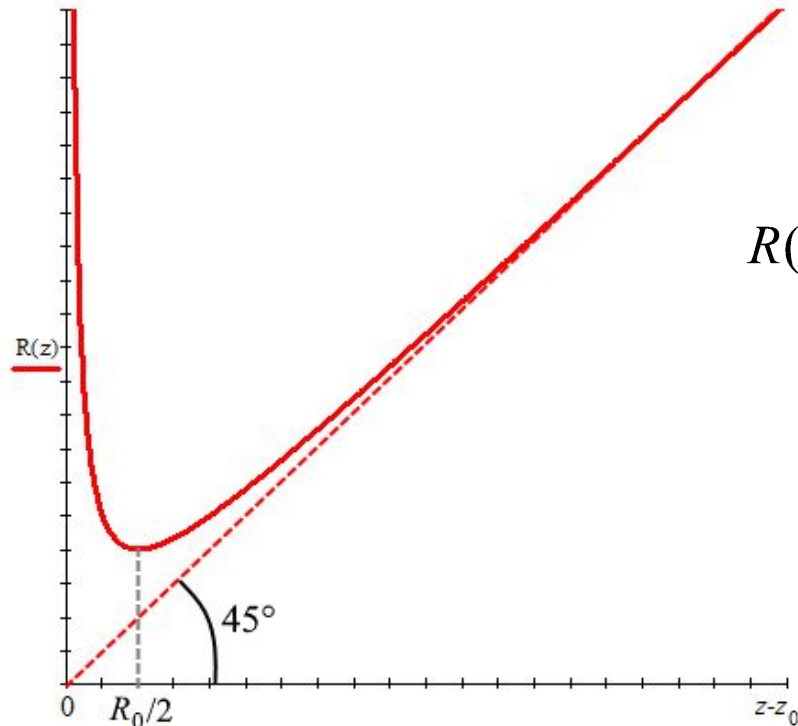
$$E_{\Gamma\P}(x, y, z, t) = E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)}\right) \exp\left(-j\left[k(z - z_0) - \arctg\left[\frac{z - z_0}{R_0}\right] + k\frac{x^2 + y^2}{2R(z)}\right]\right) \exp(j\omega t) \quad (35)$$

$$I_{\Gamma\P}(x, y, z) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \langle E_{\Gamma\P}(x, y, z, t) \cdot E_{\Gamma\P}^*(x, y, z, t) \rangle = I_0 \left(\frac{w_0}{w(z)}\right)^2 \exp\left(-2\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)}\right) \quad (36)$$

Продольная структура ГП:

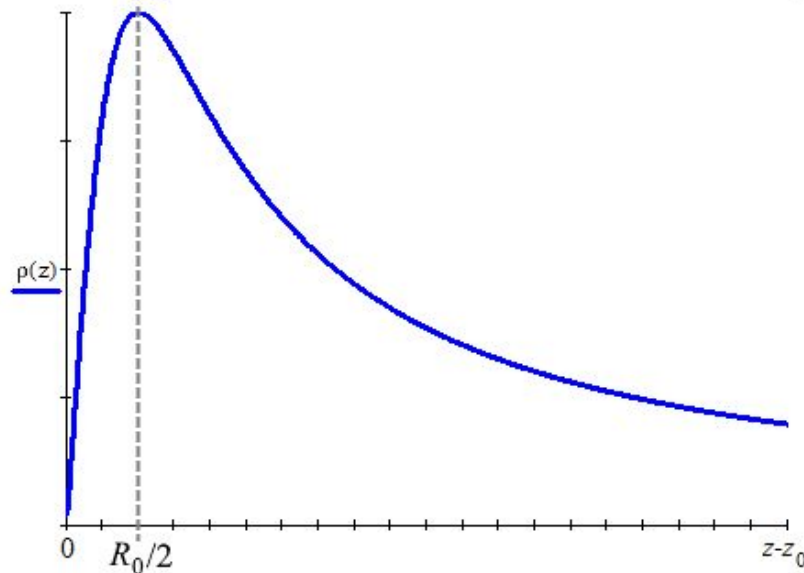


Радиус кривизны и кривизна волнового фронта:



$$R(z) = \frac{1}{\rho(z)} = (z - z_0) \cdot \left(1 + \left[\frac{R_0}{2(z - z_0)} \right]^2 \right) \quad (37)$$

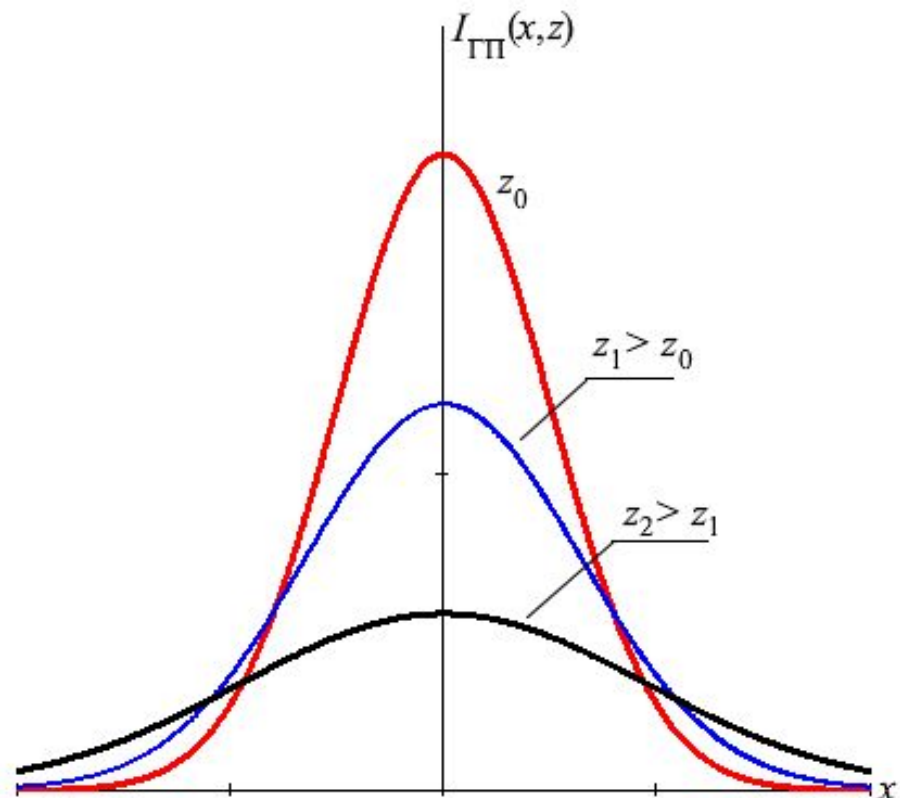
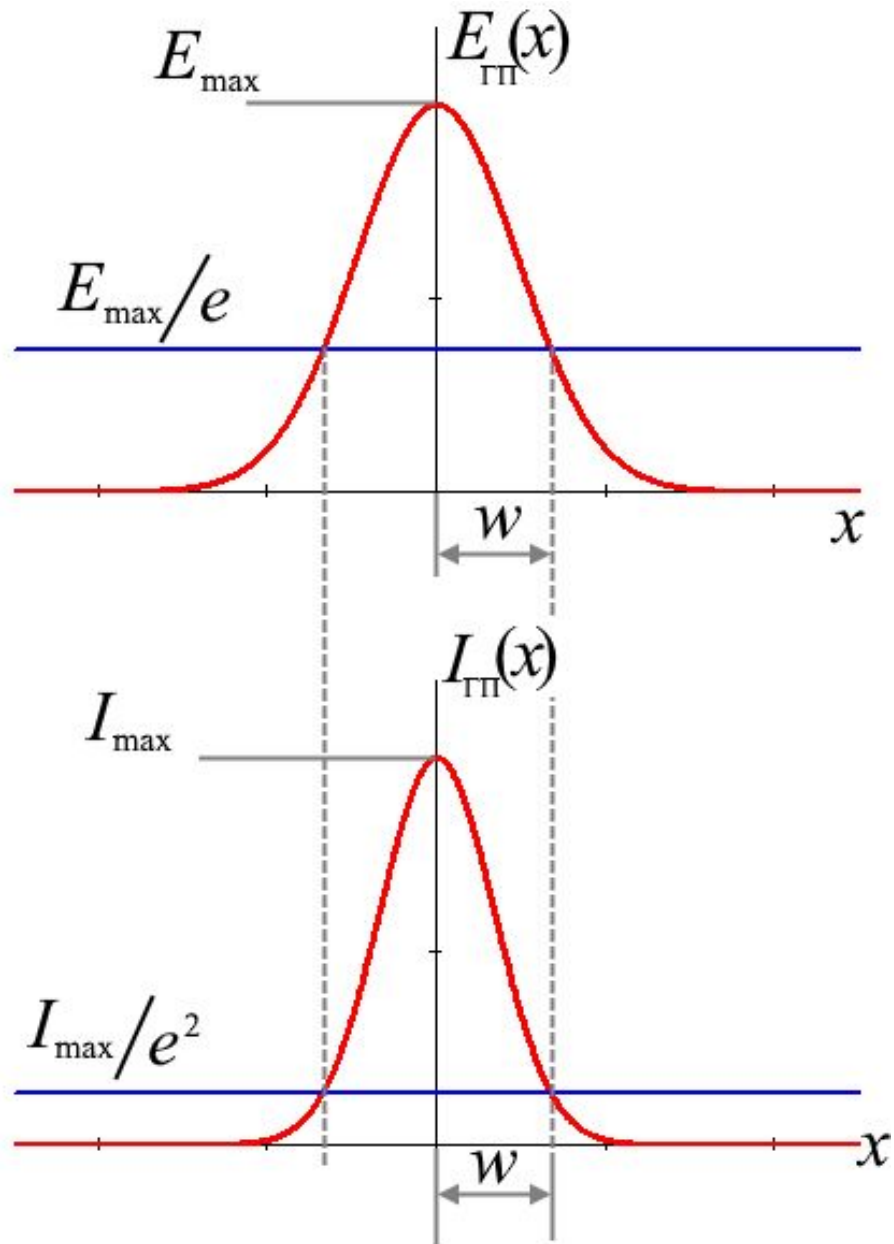
Кривизна волнового фронта максимальна на рэлеевской длине.



Угол расходимости в дальней зоне

$$\theta = \arctg \left(\lim_{z \rightarrow \infty} \frac{w(z)}{z - z_0} \right) = \frac{2}{k w_0} \quad (38)$$

Поперечная структура ГП:

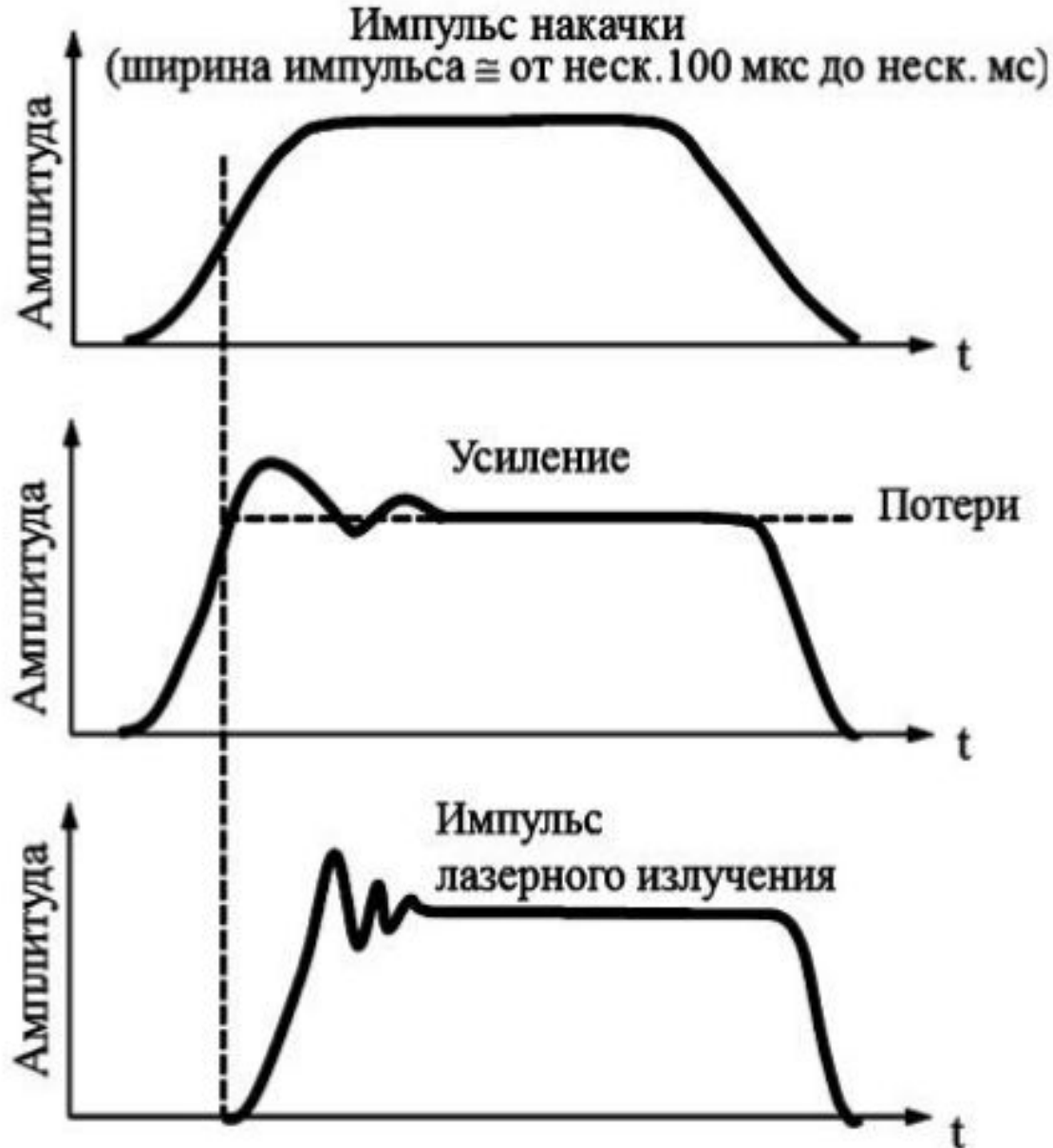


**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА
ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРОВ**

РЕЖИМЫ ГЕНЕРАЦИИ

- Непрерывная генерация;
- Свободная генерация;
- Модуляция добротности:
активная и пассивная;

РЕЖИМ СВОБОДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ



В режиме свободной генерации система накачки передаёт энергию активной среде импульсами. Таким образом формируется временная инверсия населённости, в результате которой активная среда способна генерировать и усиливать излучение на короткий промежуток времени. Когда накачка превышает порог, где усиление активной среды равно потерям в резонаторе, возникает импульс генерации лазерного излучения. Время импульса накачки в режиме свободной генерации примерно равно времени жизни верхнего лазерного уровня.

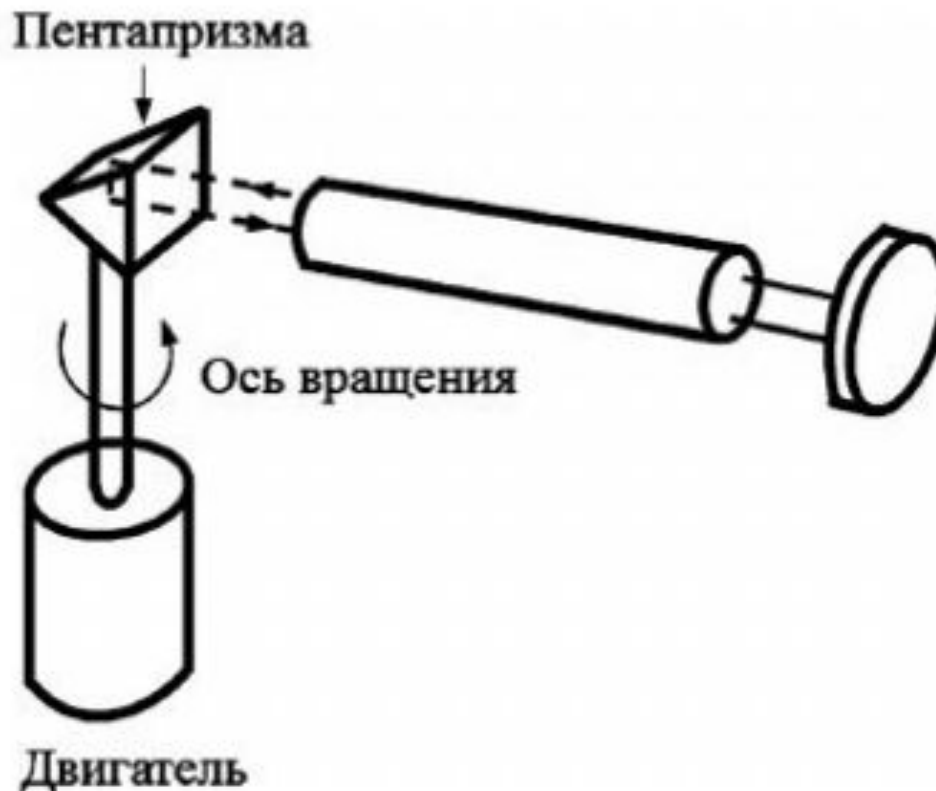
Активная модуляция добротности:

.Механическая модуляция

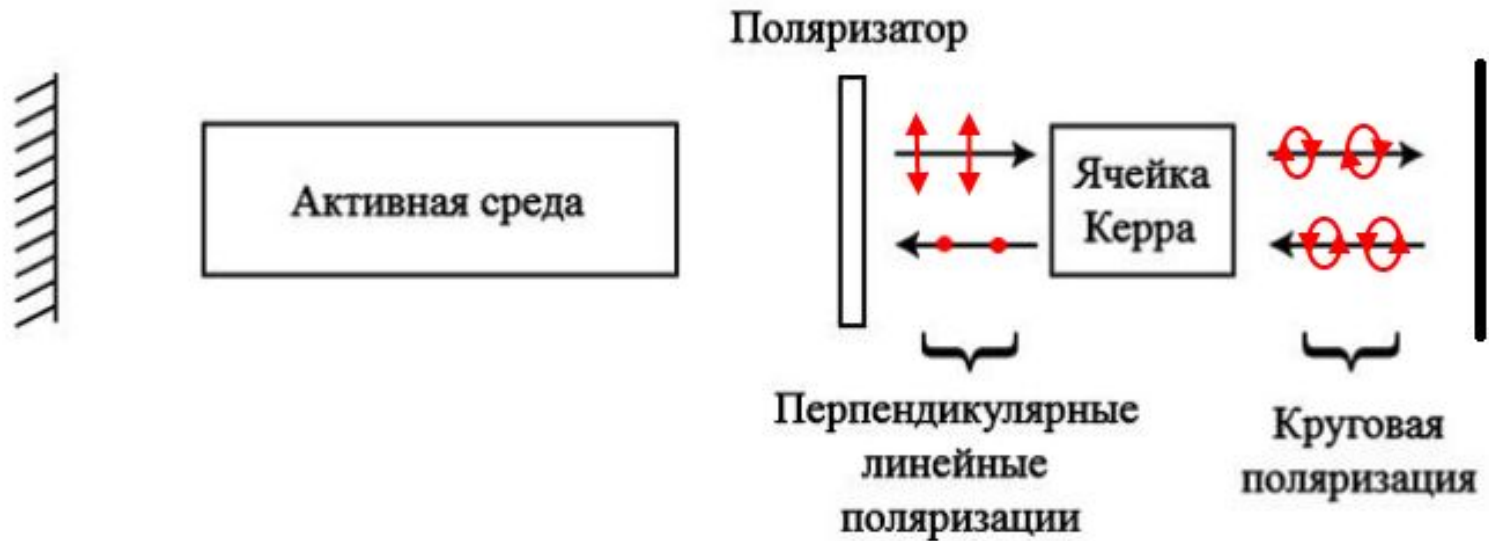
.Электрооптический затвор

.Акустооптическая модуляция

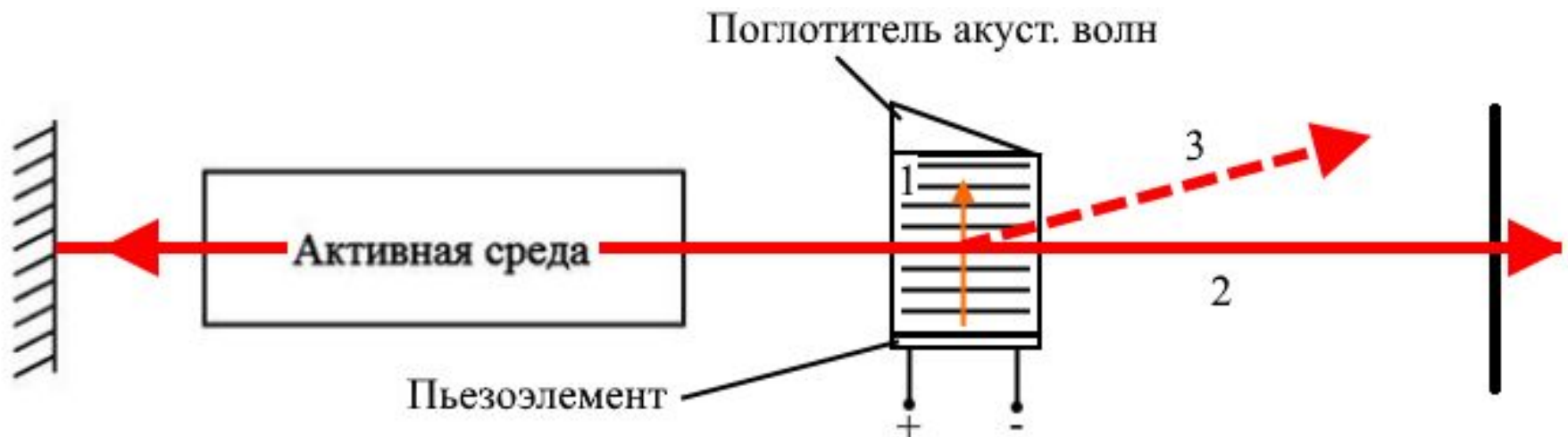
Пример механической модуляции:



Пример модуляции с электрооптическим затвором:



Пример модуляции с акустооптическим затвором:



В режиме модуляции добротности обеспечивается управление бесполезными (диссипативными) потерями в резонаторе.

Электрооптическая модуляция

При возникновении внешнего постоянного электрического поля в ячейке Керра наводится искусственная анизотропия (эффект Керра). Различные показатели преломления для двух проекций вектора $\mathbf{E}$ линейно-поляризованного излучения формируют на выходе из ячейки излучение с круговой поляризацией. При обратном прохождении через ячейку поляризованного по кругу излучения формируется снова линейная поляризация, плоскость которой ортогональна плоскости пропускания поляризатора. Добротность резонатора при этом **минимальна**, а диссипативные потери **максимальны** – генерация срывается.

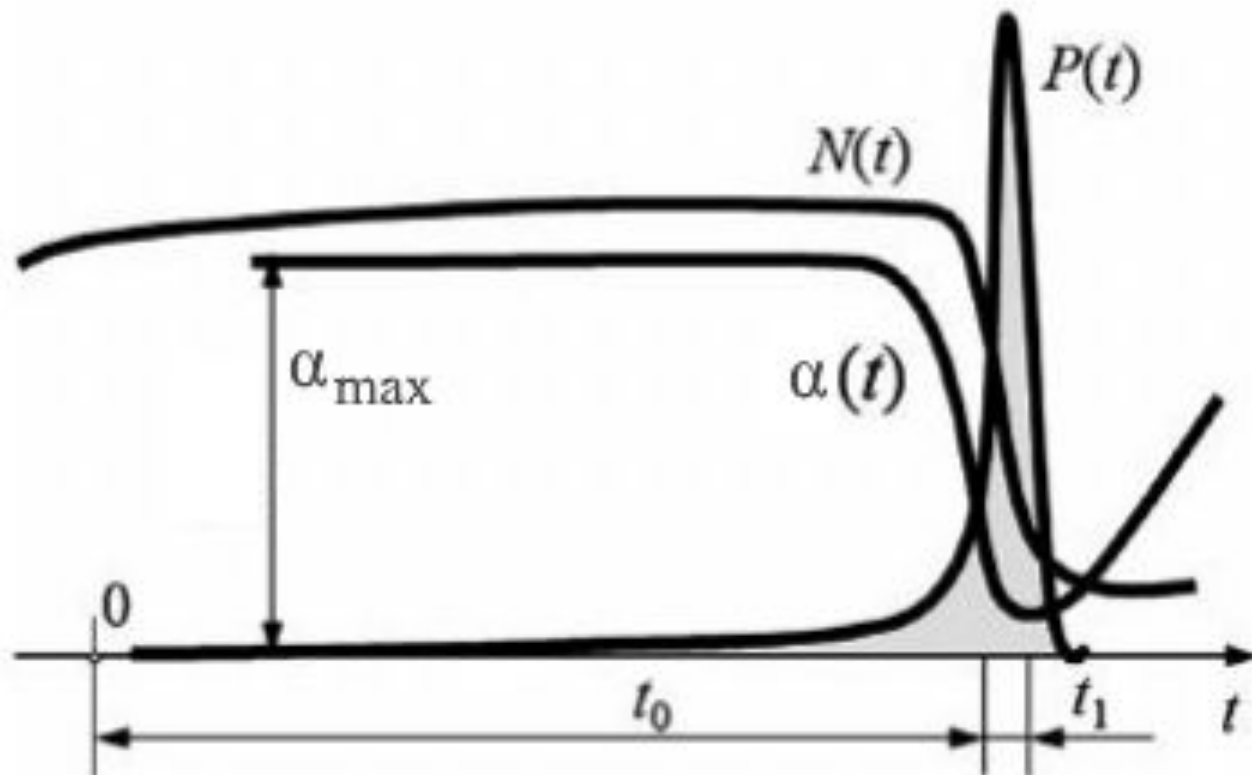
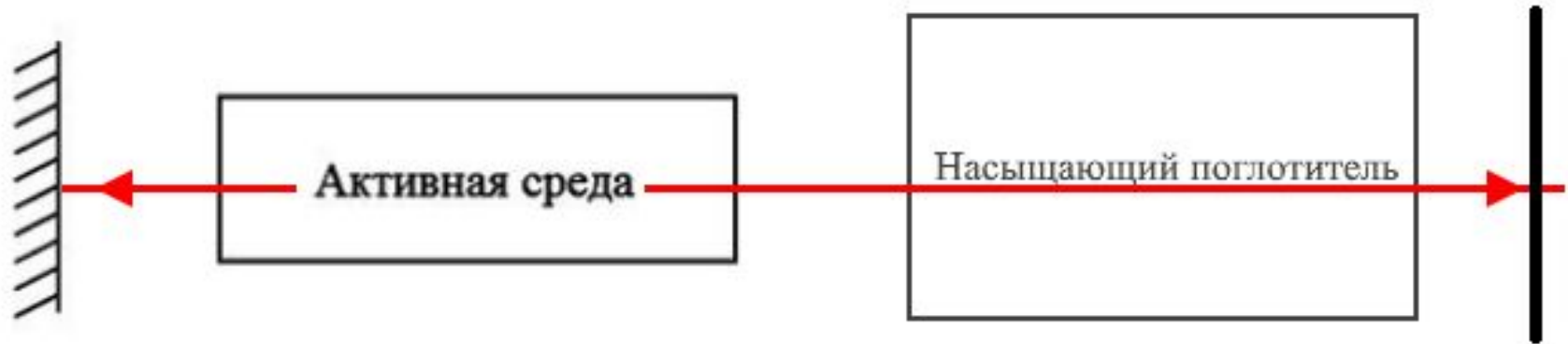
При *выключении* ячейки Керра не происходит поворота плоскости поляризации, поляризатор не поглощает встречное излучение, и добротность резонатора **максимальна**, а диссипативные потери **минимальны** – развивается и устанавливается генерация.

Таким образом, включая и выключая ячейку Керра модулируется излучение генерации.

Акустооптическая модуляция

Акустооптический модулятор 1 при включении формирует бегущие акустические волны, колебания которых образуют колебания показателя преломления среды. Таким образом формируется движущаяся дифракционная решётка: 2 – генерация, когда модулятор выключен и добротность максимальная (развитие и установление генерации); 3 – отклонение лазерного луча при дифракции на движущейся решётке, когда модулятор включён и добротность минимальная (срыв генерации).

Пассивная модуляция добротности:



Насыщающий поглотитель поглощает спонтанно излучённые активной средой фотоны до тех пор, пока их поглощённое количество не достигает определённого значения. После этого материал поглотителя становится прозрачным (просветление среды), добротность резко возрастает и происходит импульс генерации лазерного излучения. В результате этого затем происходит резкое падение инверсии населённости и активная среда перестаёт генерировать новые фотоны. Уменьшение их плотности приводит к тому, что поглотитель снова становится непрозрачным, а добротность минимальной. Далее цикл повторяется.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Паршин Василий Алексеевич

ParshinVA@mpei.ru