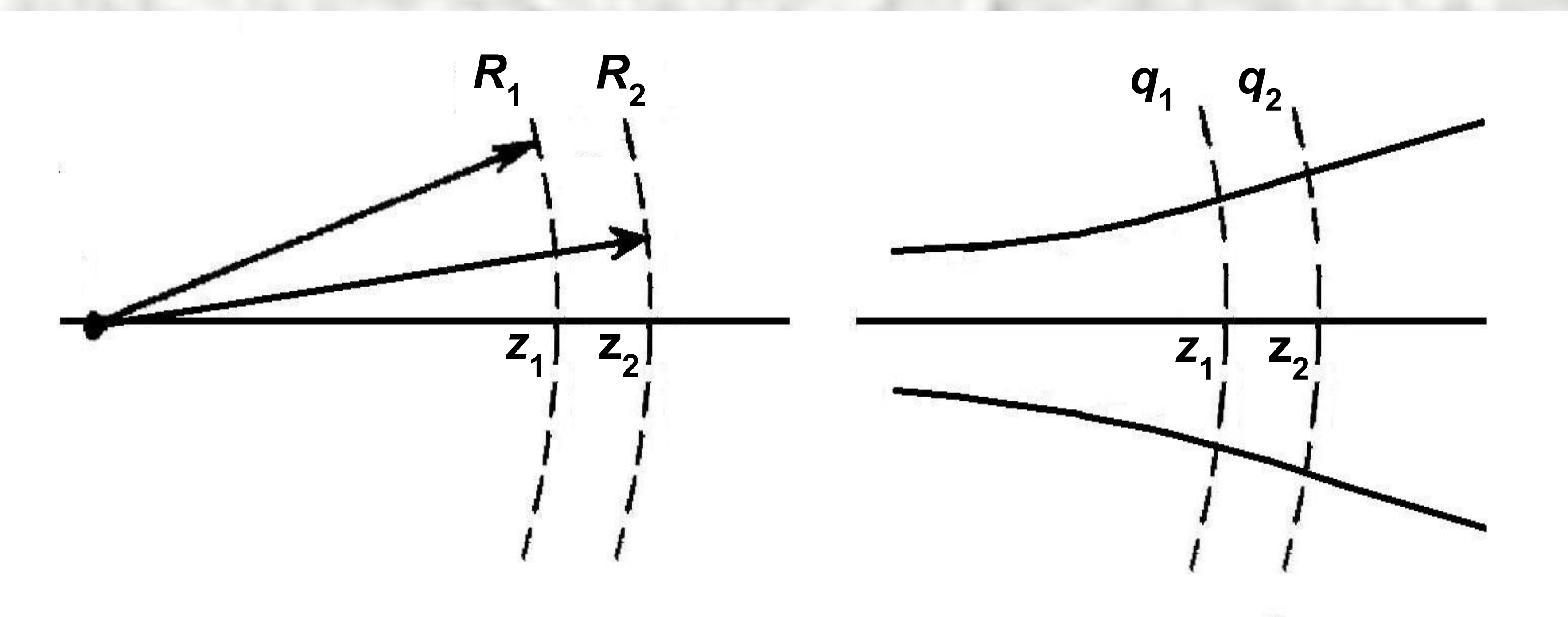
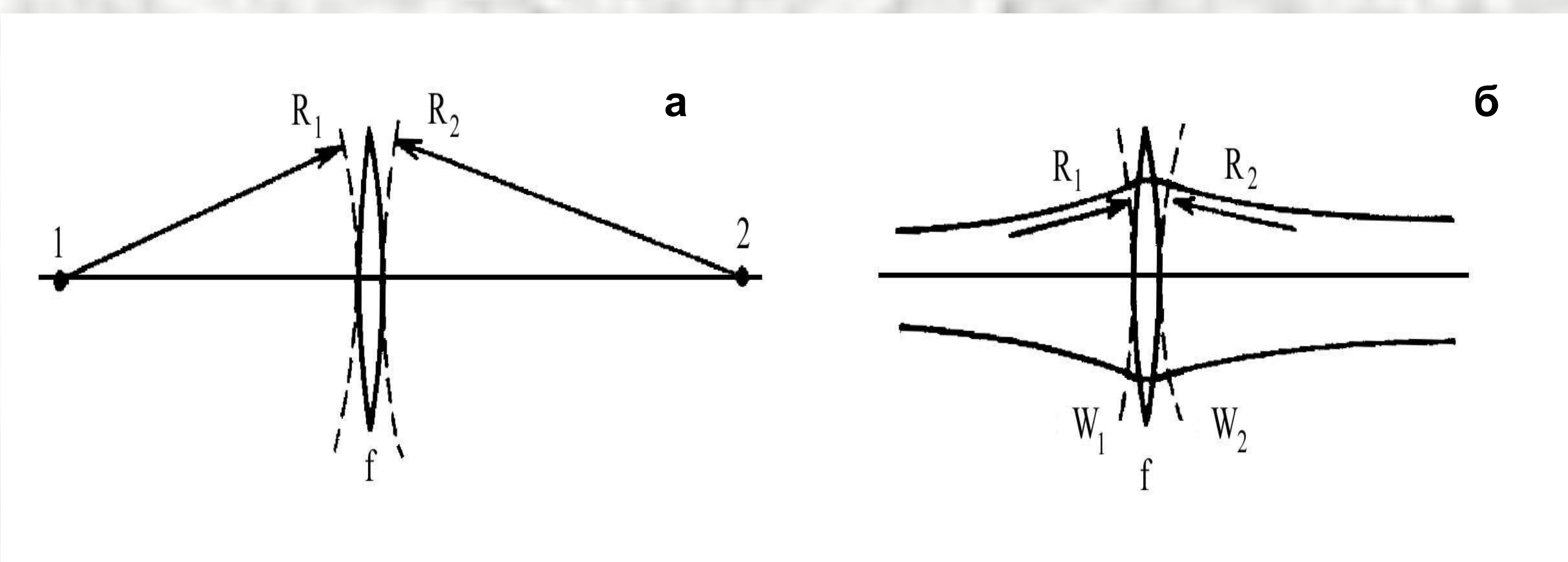
Распространение гауссова пучка в свободном пространстве



$$R(z_2) = R(z_1) + z \qquad q(z_2) = q(z_1) + z$$

При распространении гауссова пучка в пространстве выражение для изменения комплексного параметра аналогично выражению для изменения радиуса кривизны волнового фронта сферической волны

Прохождение гауссова пучка через линзу и отражение от зеркала



$$\frac{1}{R_2}=\frac{1}{R_1}-\frac{1}{f},\ W_1=W_2,\ -\frac{2i}{kW_1^{\ 2}}=\frac{1}{q_1}-\frac{1}{R_1}=-\frac{2i}{kW_2^{\ 2}}=\frac{1}{q_2}-\frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{q_2}=\frac{1}{q_1}-\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2},\ \frac{1}{q_2}=\frac{1}{q_1}-\frac{1}{f}$$

При прохождении гауссова пучка через линзу и при отражении от зеркала выражение для изменения комплексного параметра аналогично выражению для изменения радиуса кривизны волнового фронта сферической волны

Прохождение гауссова пучка через линзу и отражение от зеркала

Для произвольного случая распространения гауссова пучка через некую оптическую систему справедлива ABCD-теорема:

Если гауссов пучок на входе оптической системы характеризуется комплексным параметром q_1, то на выходе из этой системы параметр пучка q_2 запишется в виде:

$$q_2 = \frac{Aq_1 + B}{Cq_1 + D}$$

A,B,C,D **– оптические постоянные данной системы**

Пример: прохождение пучка через тонкую линзу:

Расстояние за линзой

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - z/f & z \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}$$

Фокусное расстояние линзы

Устойчивость резонатора

Возможность или невозможность существования в резонаторе собственных типов колебаний, а также их пространственные и частотные характеристики определяются дифракционными потерями

Резонаторы с малыми дифракционными потерями называют устойчивыми, а с большими – неустойчивыми

В устойчивом резонаторе имеется стационарное распределение поля в пространстве, которое повторяется при многократном проходе излучения между зеркалами резонатора и имеет малые дифракционные потери

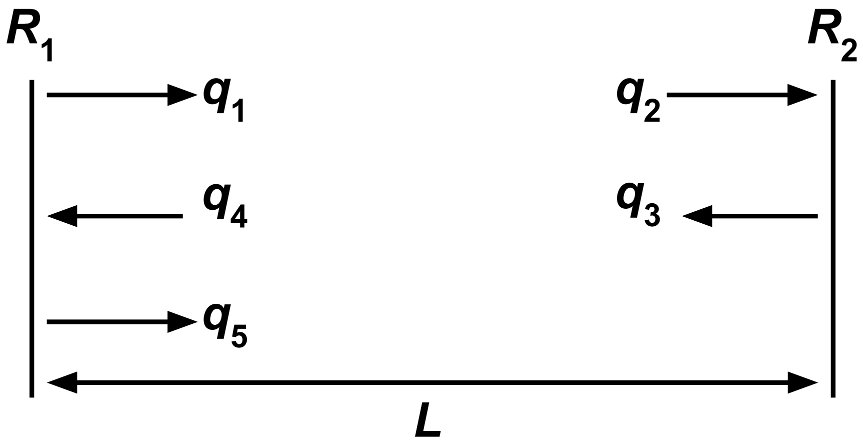
Дифракционные потери зависят от геометрии резонатора – формы, размеров и радиусов кривизны зеркал, расстояния между зеркалами

$\Downarrow$

Аналитическое выражение для критерия устойчивости резонатора должно отражать влияние геометрических параметров резонатора на уровень дифракционных потерь

Устойчивость резонатора

В устойчивом резонаторе при попеременном отражении от зеркал происходит такая фокусировка распространяющегося в нем излучения, что энергия излучения не выходит из резонатора. В неустойчивом резонаторе гауссов пучок не фокусируется, и при каждом проходе существенная доля энергии излучения выходит из резонатора.



$R_{1(2)}$ - коэффициенты отражения зеркал

Условие устойчивости резонатора: распределение поля в устойчивом резонаторе должно сохраняться, то есть величина q должна оставаться Неизменной после двойного прохода (q_1=q_5)

Устойчивость резонатора

На поверхности зеркала 1:

$$\boxed{q = q_1}$$

После прохода через резонатор на поверхности зеркала 2 :

$$\boxed{q_2 = q_1 + L}$$

После отражения от зеркала 2:

$$\boxed{\frac{1}{q_3} = \frac{1}{q_2} - \frac{1}{f} = \frac{1}{(q_1 + L)} - \frac{2}{R_2}, \quad f = \frac{R_2}{2}}$$

После прохода в обратном направлении на поверхности зеркала 1 :

$$\boxed{q_4 = q_3 + L}$$

После отражения от зеркала 1 (после двойного прохода через резонатор):

$$\boxed{\frac{1}{q_5} = \frac{1}{q_4} - \frac{1}{f} = \frac{1}{q_4} - \frac{2}{R_1}}$$

Устойчивость резонатора

Окончательное выражение для связи комплексных параметров:

$$q_5 = \frac{R_2 R_1 (2L + q_1) - 2R_1 L (L + q_1)}{R_2 (R_1 - 2L) - 2(R_1 + R_2)(q_1 + L) + 4L(q_1 + L)} = q_1$$

Решение относительно q_1 имеет вид:

$$\frac{1}{q_1} = -\frac{1}{R_1} \pm \frac{i}{R_1}\left(\frac{(R_1 + R_2 - 2L)R_1}{(R_2 - L)L} - 1\right)^{1/2}$$

Комплексная часть решения должна быть положительной, что приводит к системе уравнений:

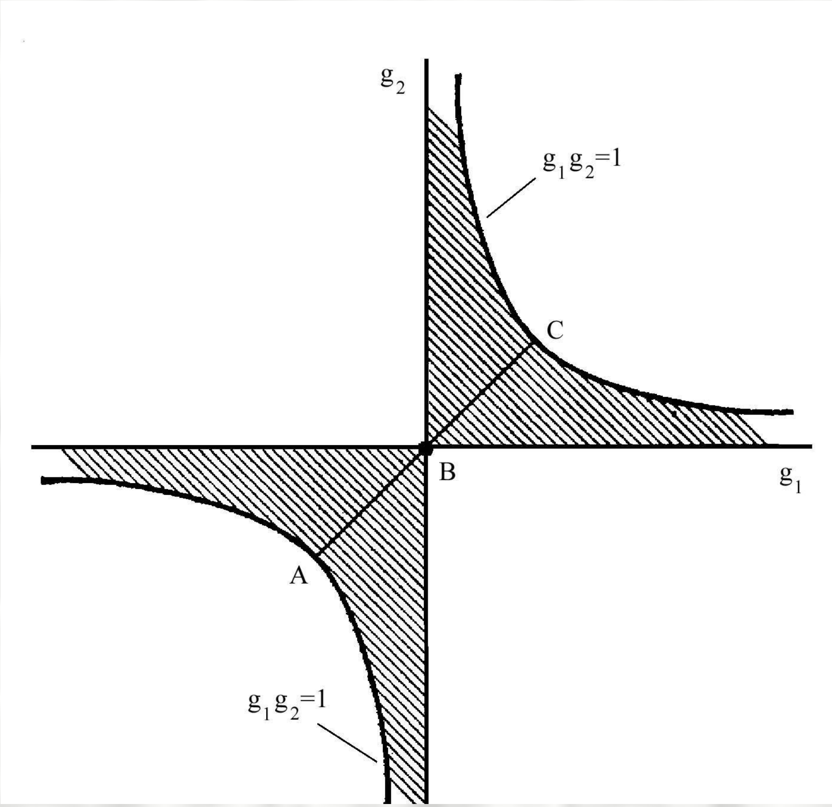
$$\begin{cases} \dfrac{(R_1 + R_2 - 2L)R_1}{(R_2 - L)L} > 1 \\[2ex] \dfrac{(R_1 + R_2 - 2L)R_2}{(R_1 - L)L} > 1 \end{cases}$$

Устойчивость резонатора

Условие устойчивости резонатора:

$$0 < (1 - \frac{L}{R_1})(1 - \frac{L}{R_2}) < 1, \quad g_i = 1 - \frac{L}{R_i}, \quad 0 < g_1 g_2 < 1$$

Диаграмма устойчивости:



Область устойчивых резонаторов заштрихована. Границы заштрихованной области соответствуют неустойчивым резонаторам.
Точка А – концентрический резонатор
Точка В – конфокальный резонатор
Точка С – плоскопараллельный резонатор

Устойчивость резонатора

Границы областей устойчивости, включая координатные оси, соответствуют неустойчивым резонаторам

Не только устойчивые резонаторы могут использоваться в лазерах

Неустойчивые резонаторы представляют большой интерес для лазерной техники

⇓

Это связано с возможностью получать в неустойчивых резонаторах больших величин сечений гауссовых пучков, что позволяет более эффективно использовать объем активной среды

В неустойчивых резонаторах достаточно просто обеспечивается селекция поперечных мод, а также создаются условия для дифракционного вывода излучения из резонатора

Особенно заметно прогресс в этой области начал ощущаться после создания мощных лазеров, в которых удается достигать больших величин коэффициентов усиления активной среды

Устойчивость резонатора
Некоторые неустойчивые резонаторы

Точка диаграммы	Тип резонатора	Радиус зеркал	Длина резонатора	Характеристики
A	Концентрический	$R_1=R_2=R$	L=2R	Небольшой размер пятна в центре резонатора. Большая чувствительность к несоосности зеркал
B	Конфокальный	$R1=R_2=R$	L=R	Небольшой размер пятна в центре резонатора. Простой спектр частот мод
C	Плоскопараллельный	$R_1=R_2=\infty$	Любая	Большой попереч-ный размер пучка. Большая чувствительность к несоосности зеркал