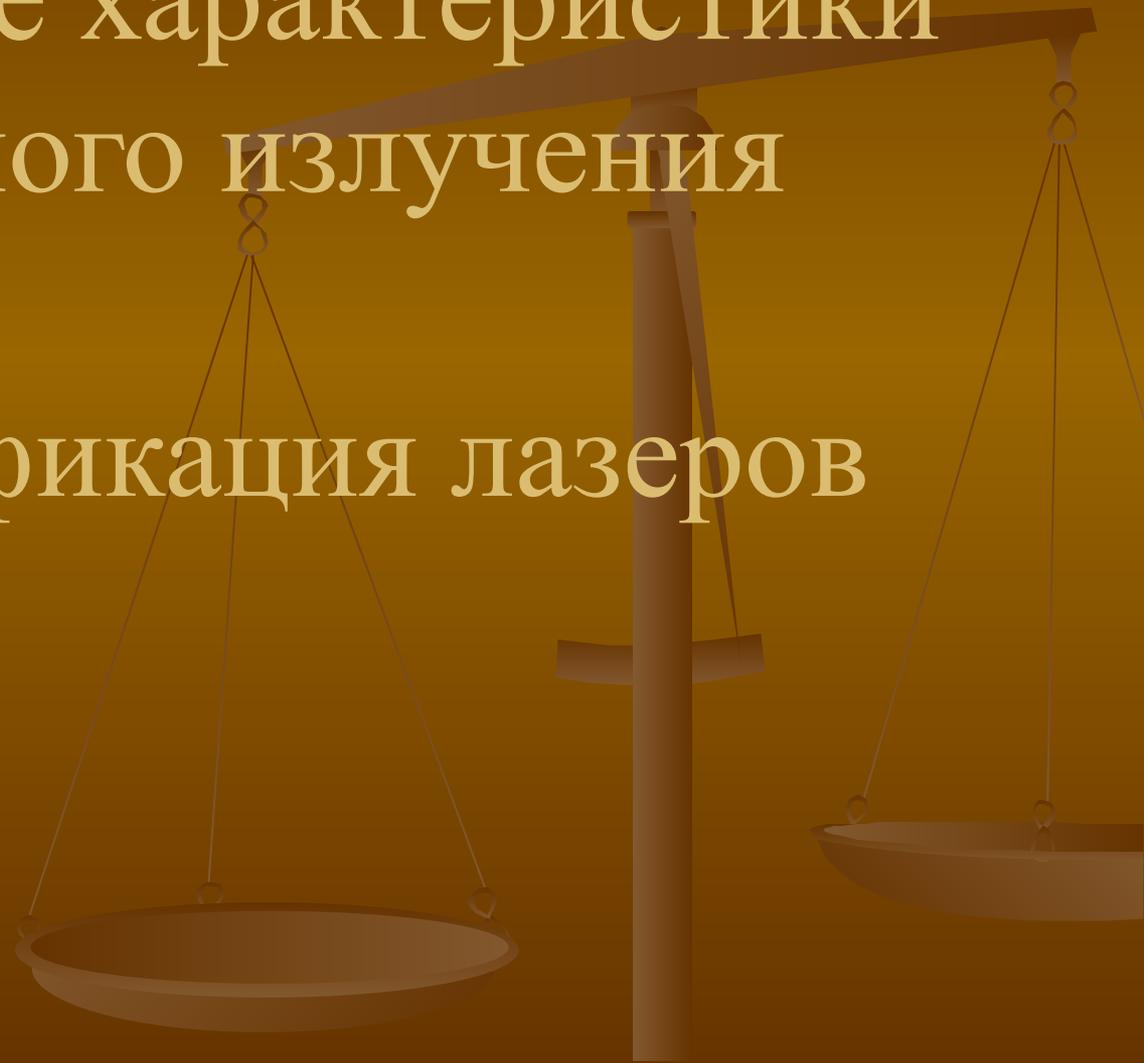


Основные характеристики лазерного излучения

Классификация лазеров

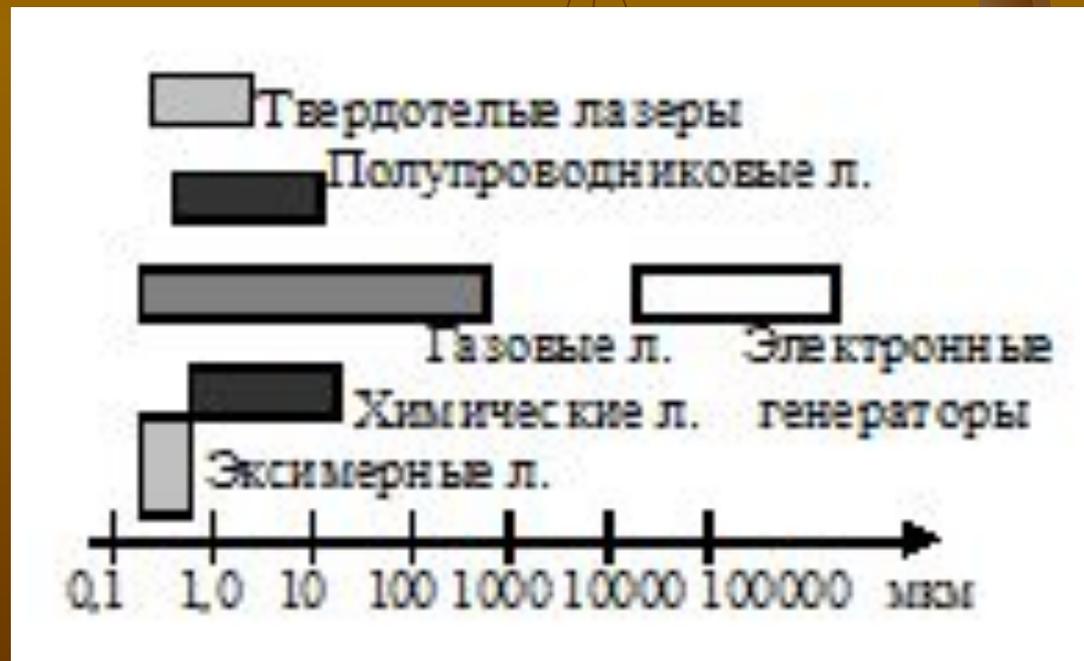


Длина волны

Одной из характеристик лазеров является **длина волны** излучения.

Диапазон длин волн простирается от рентгеновского до дальнего инфракрасного.

Наиболее широкий диапазон у газовых лазеров.



Энергия и мощность

Лазеры, которые излучают непрерывно, имеют мощность излучения от 1 мВт до 100 Вт. Например, гелий-неоновые лазеры имеют милливаттную мощность, а CO_2 лазеры имеют мощность порядка 100 Вт.

Для импульсных лазеров важной характеристикой является **энергия в импульсе** и наибольшей величины достигает у твердотельных лазеров – порядка 1000 Дж.

Для импульсных лазеров, когда энергия излучается за короткие времена, пиковая мощность может достигать огромных значений. К примеру, если энергия в импульсе достигает 1000 Дж, а длительность импульса 10^{-9} с, то мощность достигнет 10^{12} Вт.

Еще одной энергетической характеристикой является **плотность мощности (интенсивность)** – энергия, выделяемая в единицу времени на единице поверхности:

$$P = \frac{W}{S \cdot t}$$

На практике можно достичь огромной плотности мощности за счет коротких импульсов и фокусировки.

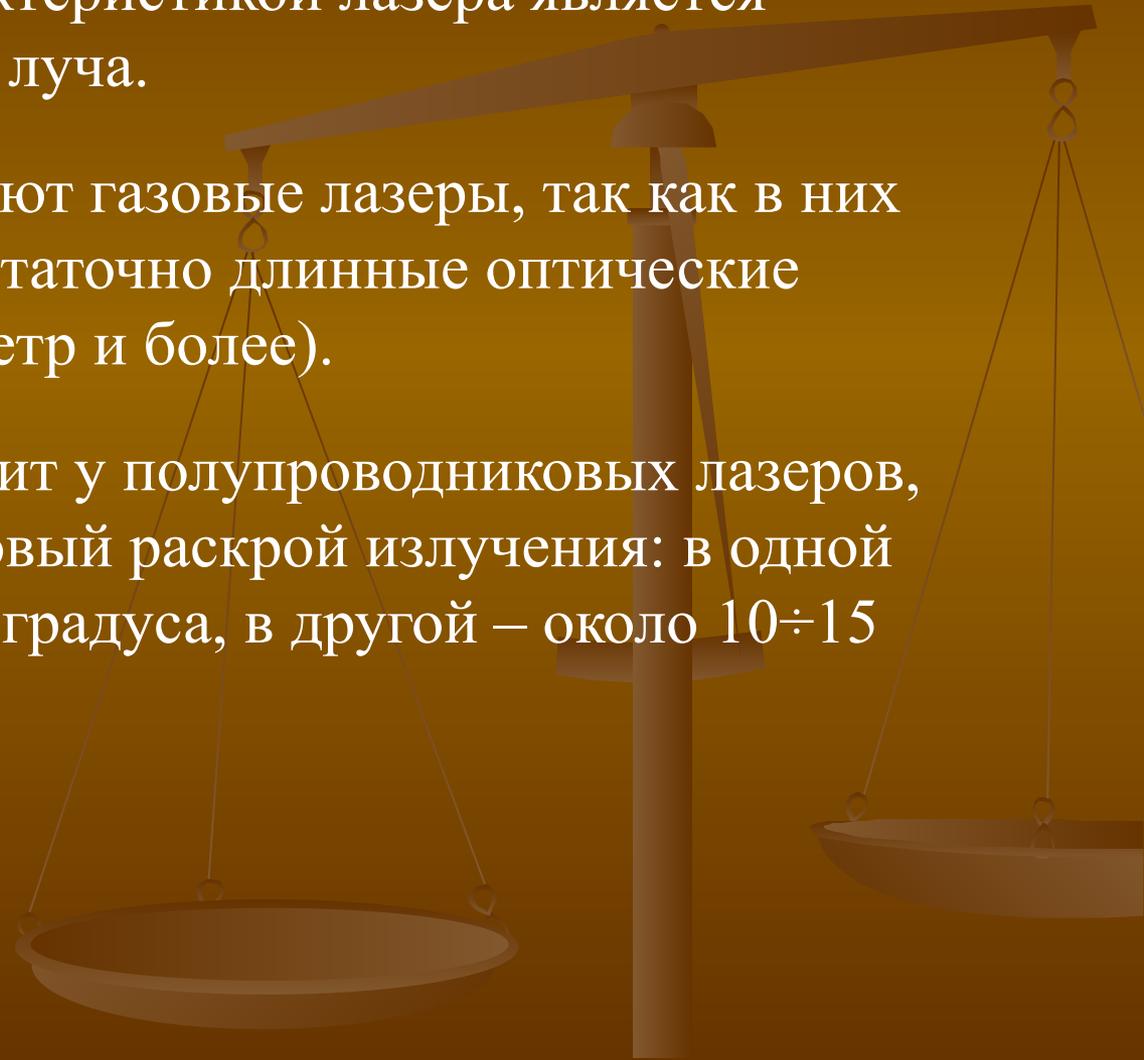
Пример: если на металл приходится интенсивность излучения 10^5 Вт/см², то начинается плавление металла, при интенсивности 10^7 Вт/см² происходит кипение металла, а при 10^9 Вт/см² вещество металла превращается в плазму.

Расходимость

Еще одной важной характеристикой лазера является **расходимость** лазерного луча.

Наиболее узкий луч имеют газовые лазеры, так как в них можно использовать достаточно длинные оптические резонаторы (длиной 1 метр и более).

Хуже всего с этим обстоит у полупроводниковых лазеров, которые имеют лепестковый раскрой излучения: в одной плоскости около одного градуса, в другой – около $10\div 15$ угловых градусов.



Монохроматичность

Следующей важной характеристикой лазера является **монохроматичность**. Она определяется соотношением

$$M_{xp} = \frac{\Delta\nu}{\nu_0}$$

где $\Delta\nu$ — спектральная ширина излучения лазера, ν_0 — центральная частота.

У газовых лазеров монохроматичность достигает 10^{-10} .

Твердотельные и особенно полупроводниковые лазеры имеют в своем излучении значительный диапазон частот, то есть не отличаются высокой монохроматичностью.

Монохроматичность особенно важна для лазерных измерений, связи, навигации, лазерной химии, медицины и т.д.

В отдельных лабораториях достигнуты значения монохроматичности $\sim 10^{-14}$.

Когерентность

Когерентность лазерного излучения означает, что колебания электромагнитного поля имеют постоянный во времени сдвиг фазы для двух произвольных точек пучка. Кроме того, это означает также неизменность формы волнового фронта.

Выделяют временную и пространственную когерентность. Временная когерентность определяет монохроматичность излучения, пространственная когерентность определяет направленность излучения.

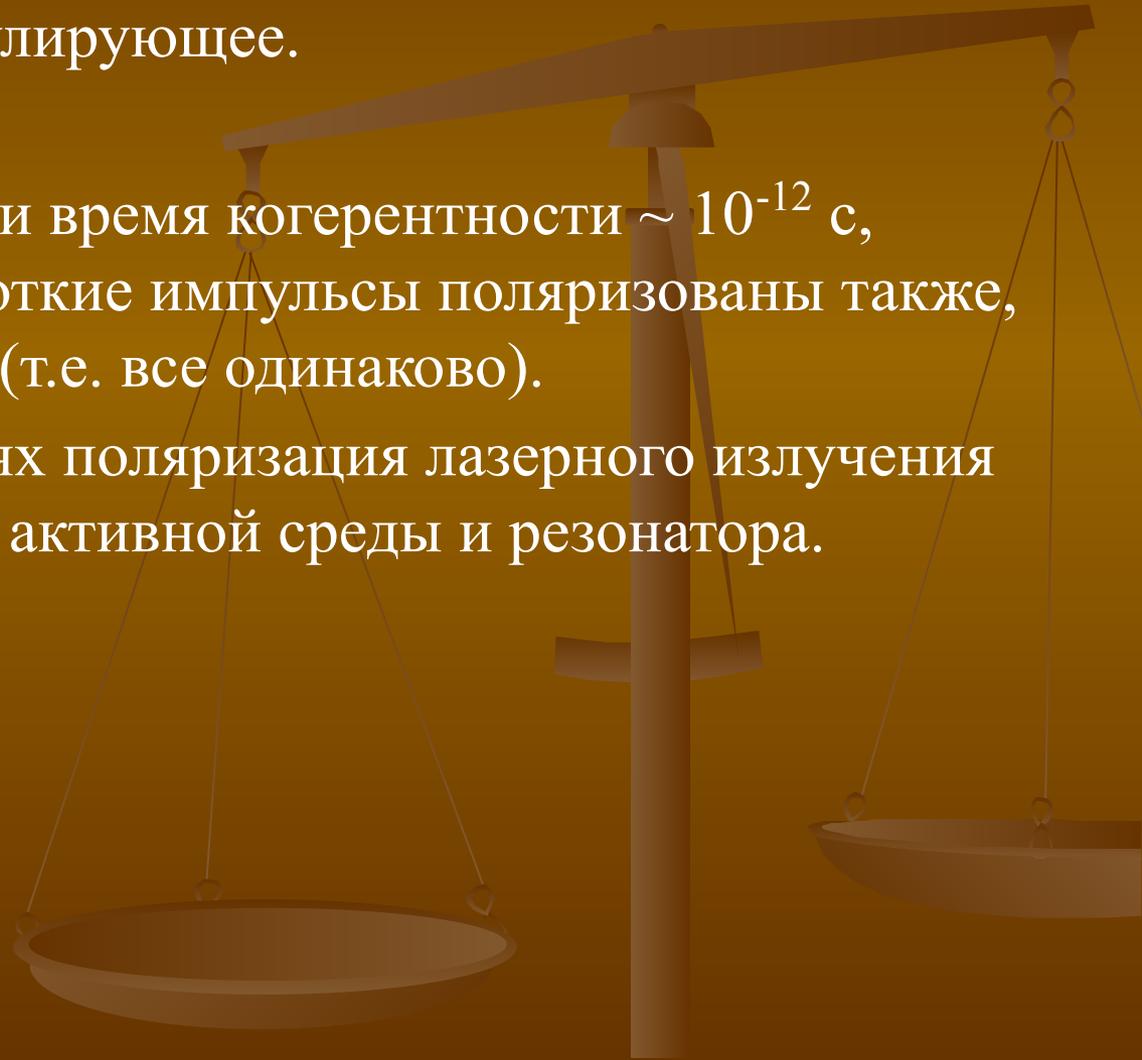
Однако в реальных условиях фаза и частота колебаний не остаются строго постоянными, т.е. степень когерентности $k \neq 1$.

Поляризация излучения

Вынужденное излучение всегда имеет то же состояние поляризации, что и стимулирующее.

Однако даже теоретически время когерентности $\sim 10^{-12}$ с, поэтому только сверхкороткие импульсы поляризованы также, как вынуждающий квант (т.е. все одинаково).

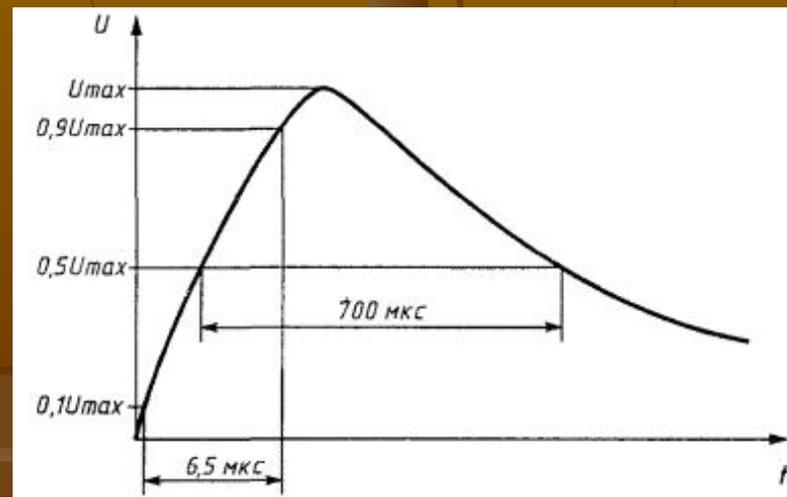
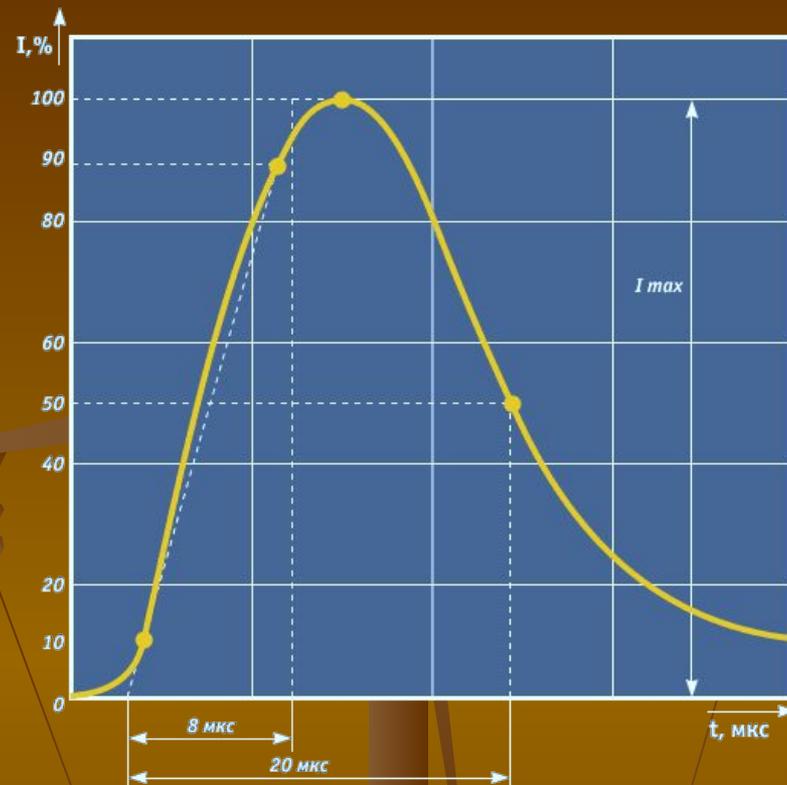
Во всех остальных случаях поляризация лазерного излучения определяется свойствами активной среды и резонатора.



Длительность импульса

Для импульсных лазеров важнейшей характеристикой является длительность импульса.

На рисунках представлены различные формы импульсов и методы определения длительности.



Различные длительности импульса лазеров и варианты их реализации

Таблица 4

Длительность воздействия, с	Варианты реализации (тип лазера, режим модуляции)
Миллисекунды, 10^{-3}	Nd-YAG-лазер — режим свободной генерации, импульсный CO ₂ -лазер, сканирующий CO ₂ -лазер, сканирующий Nd-YAG-лазер, сканирующий Ar-ion-лазер
Микросекунды, 10^{-6}	Nd-YAG-лазер: акусто-оптическая модуляция, электрооптическая модуляция, диодная накачка. Импульсный CO ₂ -лазер
Наносекунды, 10^{-9}	Азотный лазер, лазер на парах меди, эксимерные лазеры
Пикосекунды, 10^{-12}	Nd-YAG-лазер: режим самосинхронизации импульсов, эксимерные лазеры
Фемтосекунды, 10^{-15}	Ti-сапфир-лазер: режим самосинхронизации импульсов, эксимерные лазеры
Аттосекунды, 10^{-18}	Ti-сапфир-лазер

КПД лазера

Очень важной характеристикой лазеров является **коэффициент полезного действия** – отношение полезной энергии лазерного излучения к затраченной энергии источника питания.

У твердотельных лазеров КПД достигает от 1 до 3,5%.

У газовых лазеров – от 1 до 15%.

У полупроводниковых лазеров – до 60%.



Классификация лазеров



В современной литературе нет однозначных и четких критериев по классификации лазеров.

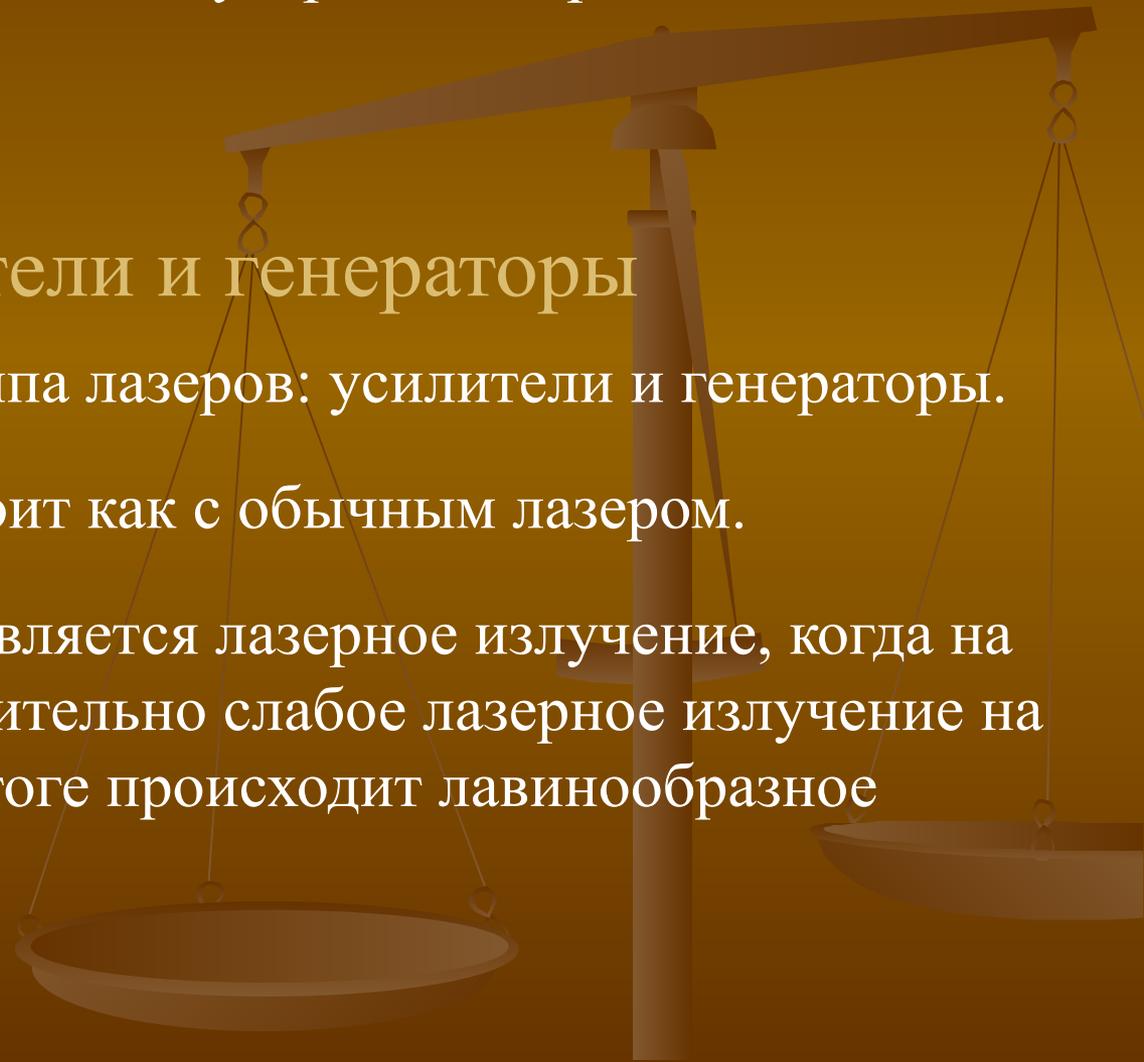
Ниже мы рассмотрим самые популярные в народе классификации.

Усилители и генераторы

Принято различать два типа лазеров: усилители и генераторы.

С **генератором** дело обстоит как с обычным лазером.

На выходе **усилителя** появляется лазерное излучение, когда на его вход поступает относительно слабое лазерное излучение на нужной нам частоте. В итоге происходит лавинообразное усиление.



Классификация по активному элементу

Второй подход к классификации лазеров связан с активным веществом.

С этой точки зрения лазеры бывают:

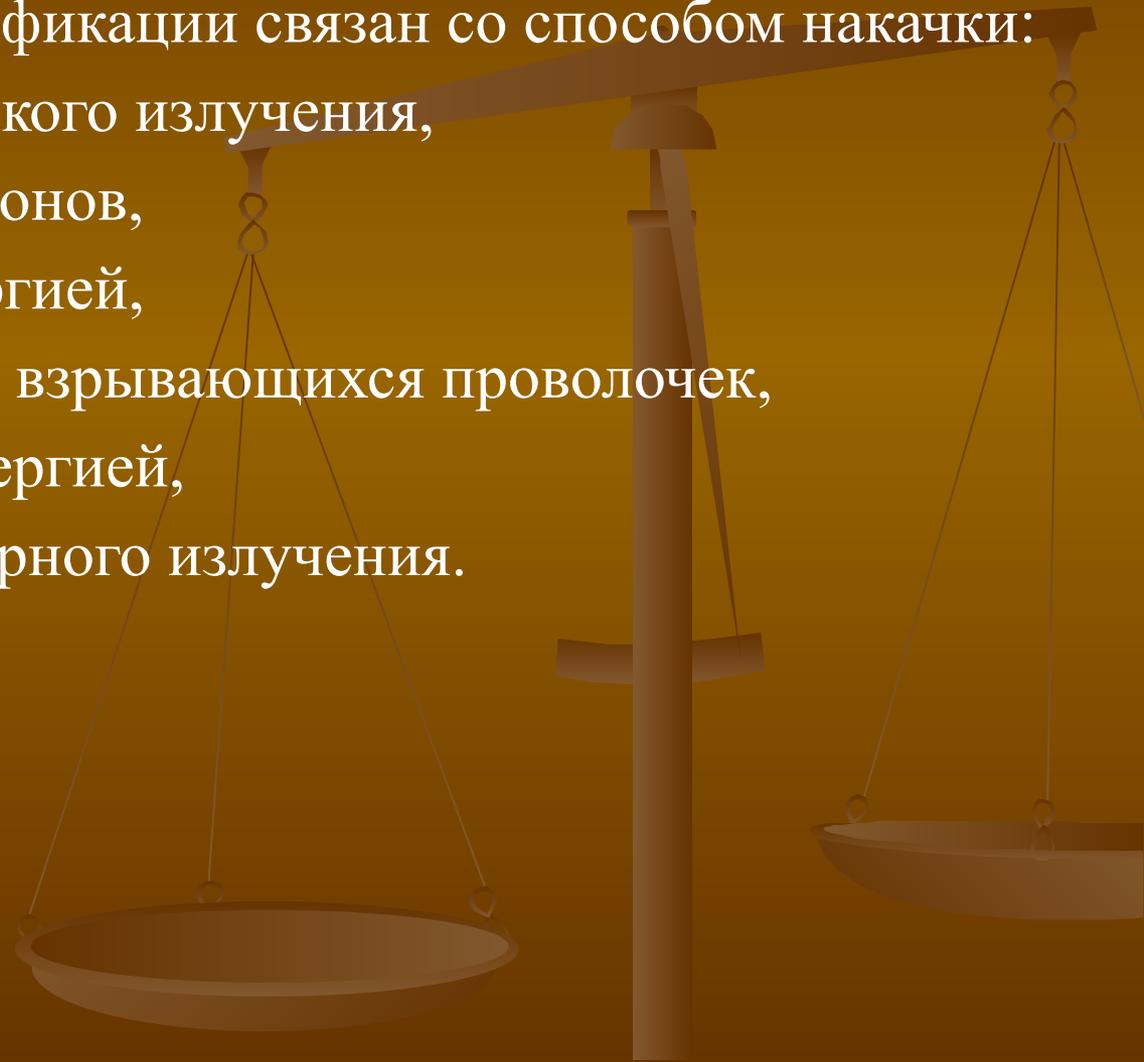
- газовыми,
- твердотельными,
- жидкостными,
- лазеры на свободных электронах.



Классификация по способу накачки

Третий подход к классификации связан со способом накачки:

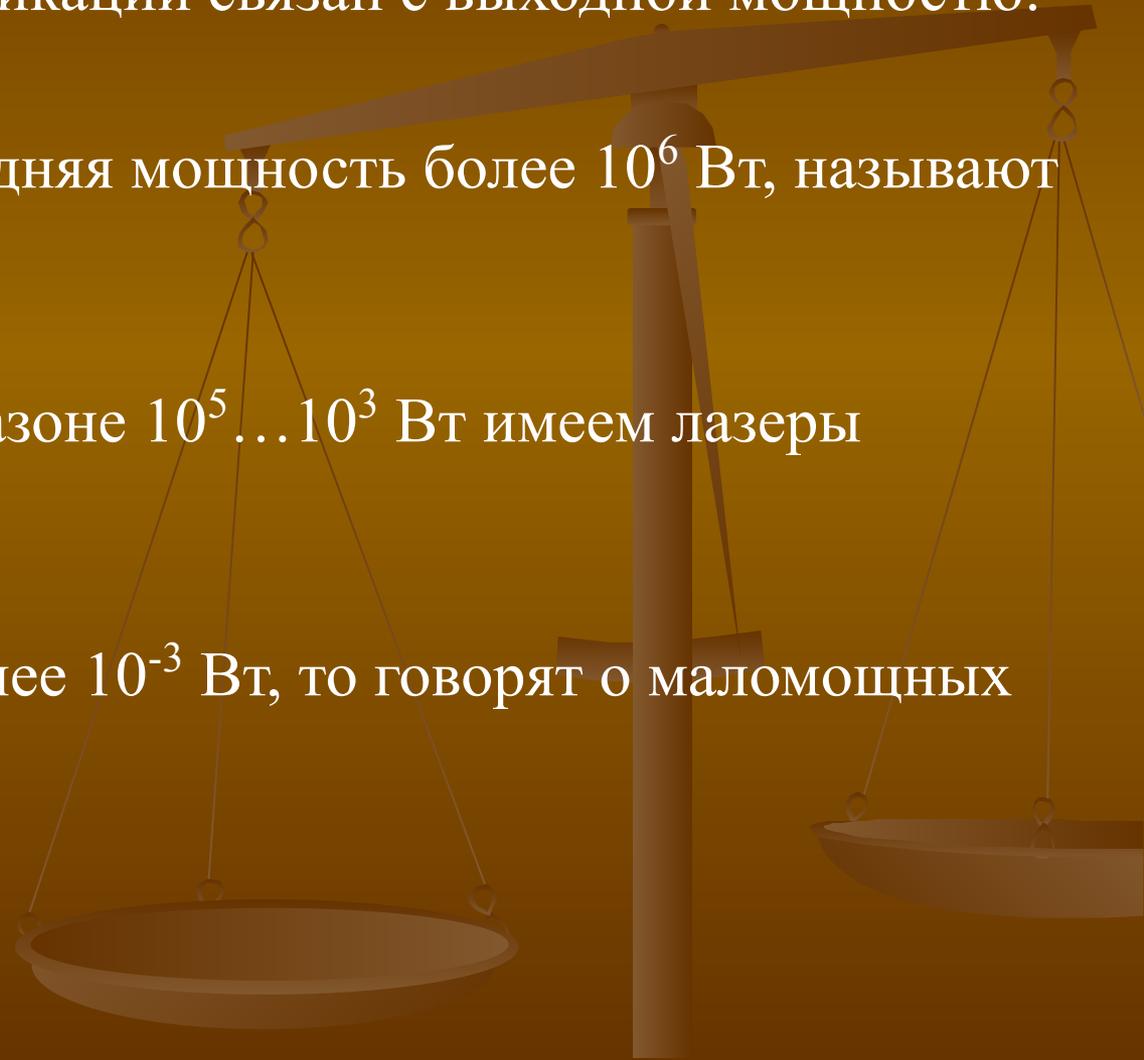
- накачка за счет оптического излучения,
- накачка потоком электронов,
- накачка солнечной энергией,
- накачка за счет энергии взрывающихся проволочек,
- накачка химической энергией,
- накачка с помощью ядерного излучения.



Классификация по мощности

Еще один вид классификации связан с выходной мощностью:

- Лазеры, у которых средняя мощность более 10^6 Вт, называют высокомоощными.
- При мощности в диапазоне $10^5 \dots 10^3$ Вт имеем лазеры средней мощности.
- Если же мощность менее 10^{-3} Вт, то говорят о маломощных лазерах.



Газовые лазеры



Лазеры на нейтральных атомах (He-Ne)

0.63 мкм

Ионные лазеры (Ar⁺ ионы нейтральных атомов) 0.49 мкм

Молекулярные лазеры (CO₂, CO, N₂) 0.6, 5.0, 0.34 мкм

Лазеры на парах металлов (Cu, Au, Pb)

**0.51 мкм,
0.62 мкм**

Ионные лазеры ионы металлов (He-Cd)

0.325 мкм

Эксимерные лазеры (ArF, KrF, XeCl) 0.193, 0.248, 0.348 мкм

Основные типы газовых лазеров

В газовых лазерах активным веществом является смесь газов или пары.

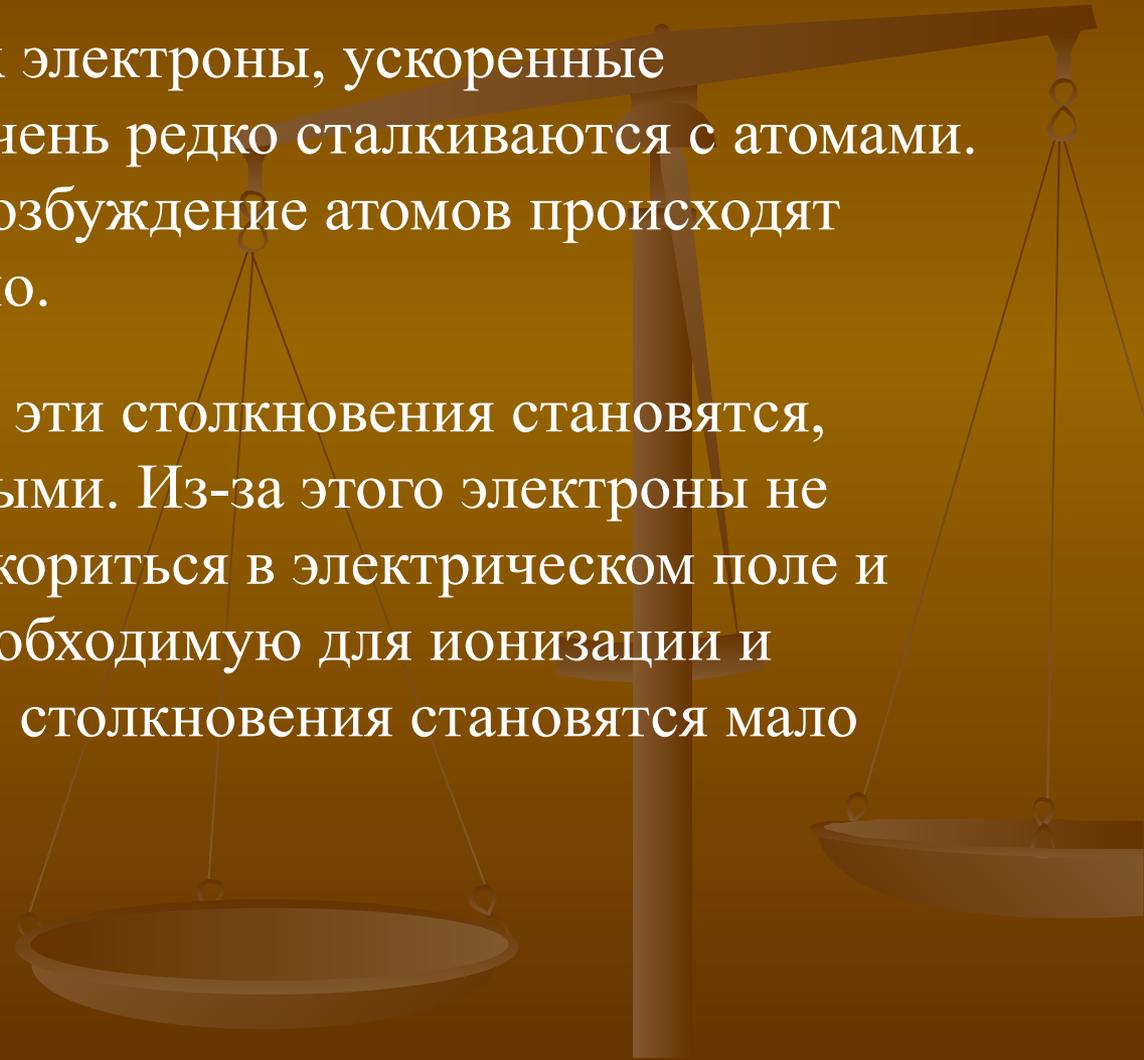
Инверсия населенностей создается за счет возбуждения атомов и молекул при их соударении со свободными быстрыми электронами, образующимися в электрическом разряде.

Газовая среда облегчает получение непрерывного излучения, так как для возбуждения вещества требуется меньше энергии.

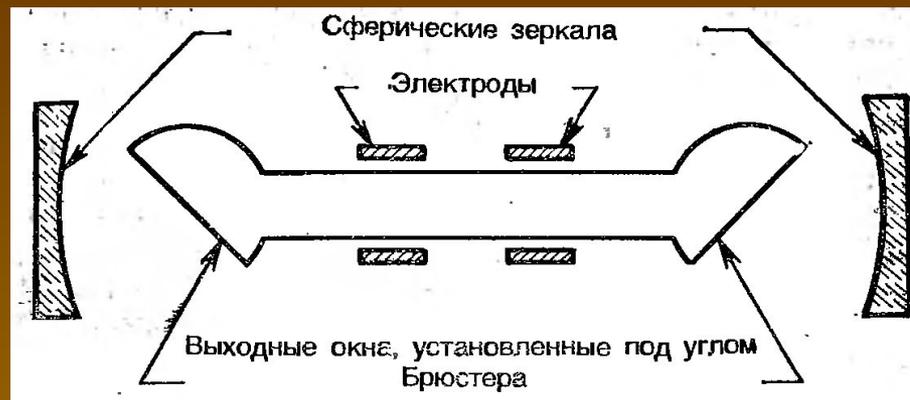
Давление в газоразрядных лазерах выбирается в пределах от сотых долей до нескольких мм рт.ст.

При меньших давлениях электроны, ускоренные электрическим полем, очень редко сталкиваются с атомами. При этом ионизация и возбуждение атомов происходят недостаточно интенсивно.

При больших давлениях эти столкновения становятся, наоборот, слишком частыми. Из-за этого электроны не успевают достаточно ускориться в электрическом поле и приобрести энергию, необходимую для ионизации и возбуждения атомов, т.е. столкновения становятся мало эффективными.

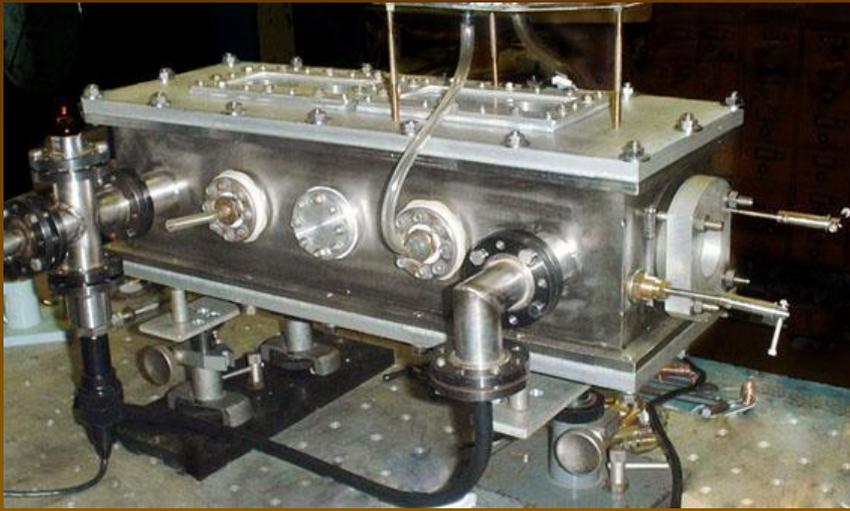


Различные схемы газовых лазеров.



Расположение выходных окон под углом Брюстера позволяет минимизировать потери энергии излучения при многократном прохождении света между зеркалами резонатора.





Чудовищные газовые лазеры в научных лабораториях



Гламурные коммерческие газовые лазеры

Основные достоинства газовых лазеров

- Высокая оптическая однородность газовых сред, что приводит к малой расходимости.
- Малая плотность газовых сред, что приводит к высокой монохроматичности.
- Высокая мощность.
- Непрерывный и импульсный режимы.
- Высокий КПД.
- Высокая интенсивность, что важно в технологиях обработки материалов.

