



ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ

2020

Газовые лазеры

лазеры с активной средой в виде газов (инертные, угарный газ, углекислый газ), паров металлов или их смесей.

Активная среда

способна усиливать излучение на одной или нескольких линиях в оптич. диапазоне спектра

Резонатор

колебательная система, состоящая из зеркал, удерживающих путём многократных отражений слабо затухающие электромагнитные колебания в ограниченном объёме пространства



Газовые лазеры

лазеры с активной средой в виде газов (инертные, угарный газ, углекислый газ), паров металлов или их смесей.

Первым газовым лазером был гелий-неоновый лазер (1960, амер. физики А. Джаван, У. Беннетт, Д. Эрриот).



Don Herriott, Ali Javan and William Bennett (left to right) with the first helium-neon laser at Bell Labs

(Although Bell Labs officially banned alcohol, the beaker in Herriott's hand holds a celebratory liquid supplied by their technician, Ed Ballik.)



Газовые лазеры

Классификация

по типу рабочих переходов

**лазеры на переходах атомов
и ионов**

молекулярные лазеры на электронных, колебательных и вращательных переходах

экимерные лазеры



Газовые лазеры

Классификация

**по характеру
возбуждения
активной
среды**



Газовые лазеры

Классификация

**по характеру
возбуждения
активной
среды**

газоразрядный лазер

для формирования активной среды используются электрические разряды различных типов в газах, парах металлов и их смесях:
тлеющий разряд, разряд в полой катодной трубке, импульсные разряды и др.



Газовые лазеры

Классификация

по характеру
возбуждения
активной
среды

газоразрядный лазер

лазер с оптическим возбуждением

необходимо обеспечить совпадение линии излучения лазера накачки с линией поглощения накачиваемой среды

газовые лазеры дальнего ИК-диапазона

Пример: лазер на парах метилового спирта, CH_3OH ($\lambda = 570,5$ мкм) с накачкой подходящей колебательно-вращательной линией CO_2 лазера ($\lambda = 9,5198$ мкм).

Газовые лазеры

Классификация

**по характеру
возбуждения
активной
среды**

газоразрядный лазер

**лазер с оптическим возбужде
нием**

газодинамический лазер

тепловая энергия газа преобразуется в энергию
оптического излучения



Газовые лазеры

Классификация

по характеру
возбуждения
активной
среды

газоразрядный лазер

лазер с оптическим возбуждением

газодинамический лазер

химический лазер

инверсия населённости образуется в результате химических реакций



Газовые лазеры

Классификация

по характеру
возбуждения
активной
среды

газоразрядный лазер

лазер с оптическим возбуждением

газодинамический лазер

химический лазер



Газоразрядные лазеры

Классификация

Лазеры на атомных переходах

Лазеры на нейтральных атомах
Ионные газоразрядные лазеры

Рекомбинационные лазеры

Молекулярные газоразрядные лазеры

Лазеры на электронных переходах молекул

Эксимерные и эксиплексные лазеры

Лазеры на колебательных переходах молекул

Химические лазеры



Газоразрядные лазеры: выходная мощность

увеличиваем
мощность



Газоразрядные лазеры: выходная мощность

увеличиваем
мощность



увеличиваем
давление



Газоразрядные лазеры: выходная мощность

увеличиваем
мощность



увеличиваем
давление



неустойчивости
разряда



Газоразрядные лазеры: выходная мощность

увеличиваем
мощность



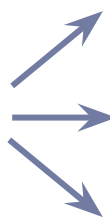
увеличиваем
давление



неустойчивости
разряда



предыонизация разрядного
объёма



пучком заряженных час
тиц
вспомогательным разря
дом
коротковолновым излу
чением



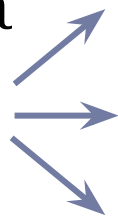
Газоразрядные лазерные кюветы

- Газоразрядные капилляры
- Электроды газоразрядных лазеров
- Оптические элементы газоразрядных кювет



Возбуждение газового разряда

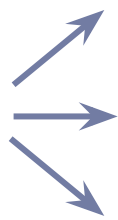
□ ВЧ-накачка



уменьшение собственных шумов
разряда
блоки сложные и
дорогие
эффект жестчения
(заколачивание частиц газа в
стенки
капилляров)



□ Разряд постоянного тока



большие шумы разряда из-за
стратов
необходимо устройство поджига
разряда
сложность катода и
анода

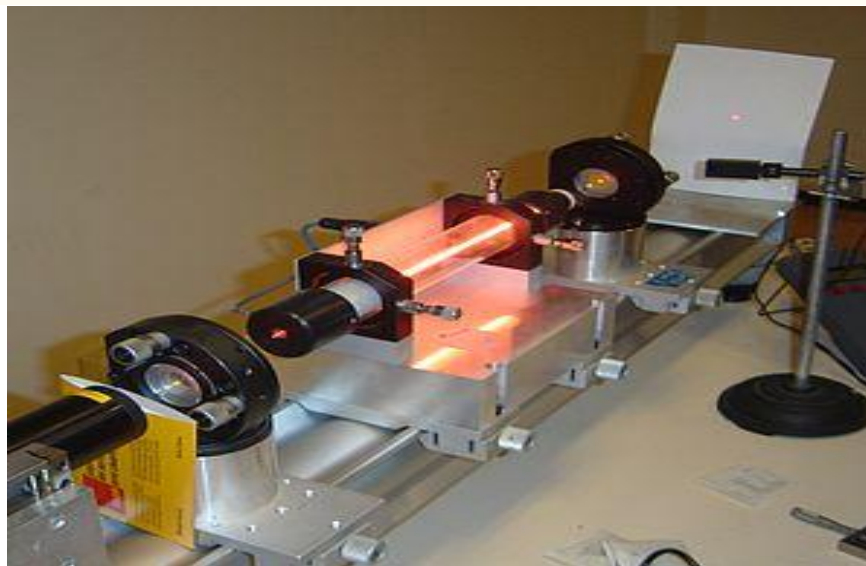
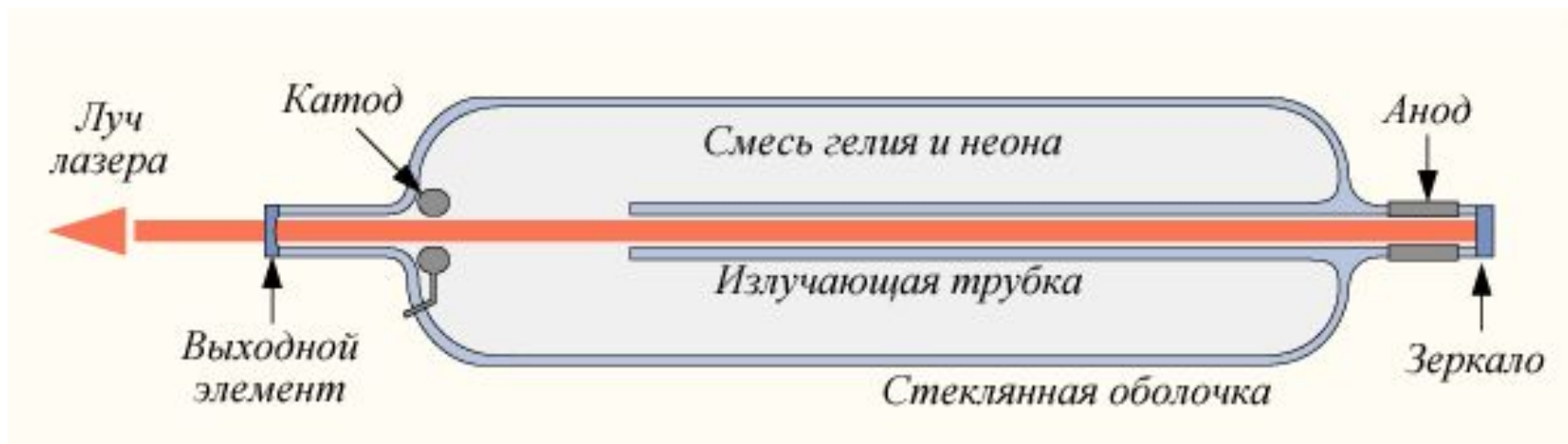


Типичная газоразрядная кювета



- **Газоразрядный капилляр** – неэлектропроводящую трубку с малым угловым размером, в которой за счет газового разряда рабочее вещество превращается в активную среду либо непосредственно, либо при участии буферного газа.
- **Электроды** – специальные металлические детали, через которые в газовый разряд подается электрическая энергия.
- **Геттер** - служит для поглощения вредных примесей из рабочего вещества газоразрядной кюветы за счет химического связывания.
- **Оптические узлы**, герметизирующие газоразрядную кювету вблизи оптической оси лазера.

Типичная газоразрядная кювета



Газоразрядные лазерные кюветы: материалы

- молибденовое электровакуумное стекло
- плавленый кварц
- керамика на основе окиси бериллия
- металлические капилляры (дуралюмин: Al – Cu – Mg)



Газоразрядные капилляры

Молибденовое электровакуумное стекло

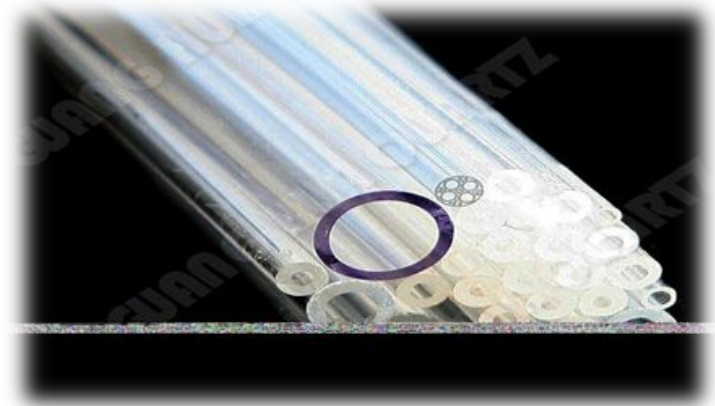
- ТКЛР $5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- температура размягчения $500 \text{ } ^\circ\text{C}$
- для газовых лазеров с низкотемпературной плазмой и малоактивными (в химическом плане) компонентами (He-Ne, He-Cd)
- низкая стоимость
- простота и отработанность технологии изготовления изделия и тоководов в него (из электровакуумной молибденовой проволоки)
- возможность использования сравнительно дешевых брюстеровских окон из оптического стекла



Газоразрядные капилляры

Плавленый кварц

- ТКЛР $5 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- температура размягчения 1500 $^\circ\text{C}$
- для газоразрядных трубок лазеров, работающих в довольно тяжелых температурных условиях
- более высокая химическая стойкость, теплопроводность
- высокая стоимость
- сложность процесса изготовления кюветы
- сложность изготовления и низкая эксплуатационная надежность токовыводов
- необходимость использования кварцевых брюстеровских окон
- небольшой ресурс работы кварцевых газоразрядных



Газоразрядные капилляры

Керамические капилляры на основе BeO

- ☐ температура размягчения 3000 °С
- ☐ для ионных аргоновых лазеров, срок службы достигает $(1...5) \cdot 10^3$ ч.



Газоразрядные капилляры

Керамические капилляры на основе BeO

- секционированные металлические капилляры
- высокая теплопроводность
- работает в условиях сильнооточной аргонной плазмы
- длина каждой секции металлического капилляра определяется пробойным напряжением изоляционного слоя (в случае алюминия - диэлектрической прочностью оксидной пленки Al_2O_3)
- газовыделение уплотнительно-изоляционных шайб между секциями



Электроды газоразрядных лазеров

Анод - электрод радио- и электротехнических приборов или устройств (например, электровакуумного прибора, гальванического элемента, электролизёра), характеризующийся тем, что движение электронов во внешней цепи направлено от него (к катоду).

- в электронных лампах и газоразрядных приборах служит коллектором (приёмником) электронов
 - представляет собой металлический цилиндр (обычно из электровакуумного никеля), часто расположенный коаксиально разряду с целью улучшения его осевой симметрии
 - аноды мощных лазеров (ионных аргоновых и ТЕА CO_2 -лазеров) иногда охлаждаются водой, в этом случае они обычно изготавливаются из меди
-



Электроды газоразрядных лазеров

Катод (термин предложен М. Фарадеем в 1834) – электрод различных радио- и электротехнических приборов или устройств (например, электровакуумного прибора, электролизёра, гальванического элемента), характеризующийся тем, что движение электронов во внешней цепи направлено к нему (в отличие от анода).

- в электровакуумных приборах катод служит источником электронов

По способу возбуждения электронной эмиссии (способу испускания электронов)

термоэлектронные катоды

- эмитируют электроны при нагревании

холодные катоды

- не имеют специального подогрева
 - в т. ч. автоэлектронные, вторично-эмиссионные, фотокатоды и др.
-

Электроды газоразрядных лазеров

По способу возбуждения электронной эмиссии (способу испускания электронов)

термоэлектронные катоды

- катод прямого накала
- катод косвенного накала


ХОЛОДНЫЕ КАТОДЫ

- ПОЛЫЙ КАТОД



Электроды газоразрядных лазеров

Катод прямого накала

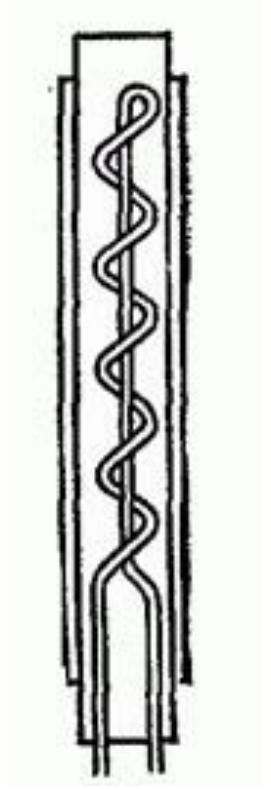
- вольфрамовая биспираль со специальным покрытием, содержащим окислы редкоземельных элементов для уменьшения работы выхода электронов
 - малая потребляемая мощность
 - экономичность
 - быстрый выход на рабочий режим (~ 10 с)
 - малые габариты и масса
- 
- малая тепловая инерция, в результате чего пульсации питающего тока (накала) заметно изменяют эмиссионную способность и, следовательно, ток разряда, что приводит к пульсациям выходной мощности лазера
 - катоды прямого накала желательно питать постоянным (или хорошо отфильтрованным от пульсаций) током
 - ограниченная поверхность эмиссии катодов прямого накала не позволяет использовать их в лазерах с большими токами разряда (> 1 А)



Электроды газоразрядных лазеров

Катод косвенного накала

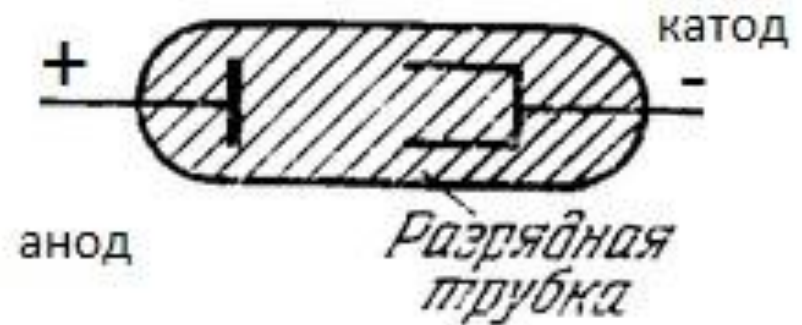
- состоит из металлической тонкостенной трубки (керн), в одном из торцев которой запрессована оксидная таблетка; с другой стороны керн вставлен мощный вольфрамовый подогреватель
- громоздкая и дорогая конструкция
- повышенное энергопотребление
- тепловая инерция: время разогрева до выхода на рабочий режим ~1 мин
- пульсаций выходной мощности лазера не наблюдается



Электроды газоразрядных лазеров

Полый катод

- плотность тока на поверхности такого катода существенно меньше
- повышенное распыление материала катода, приводящее к образованию налетов на окнах и повышенному "жестчению" газов в кювете
- отсутствие энергопотребления для подогрева катода
- мгновенный выход на режим после включения разряда
- малые габариты
- пониженный нагрев газа в прикатодной области



Электроды газоразрядных лазеров

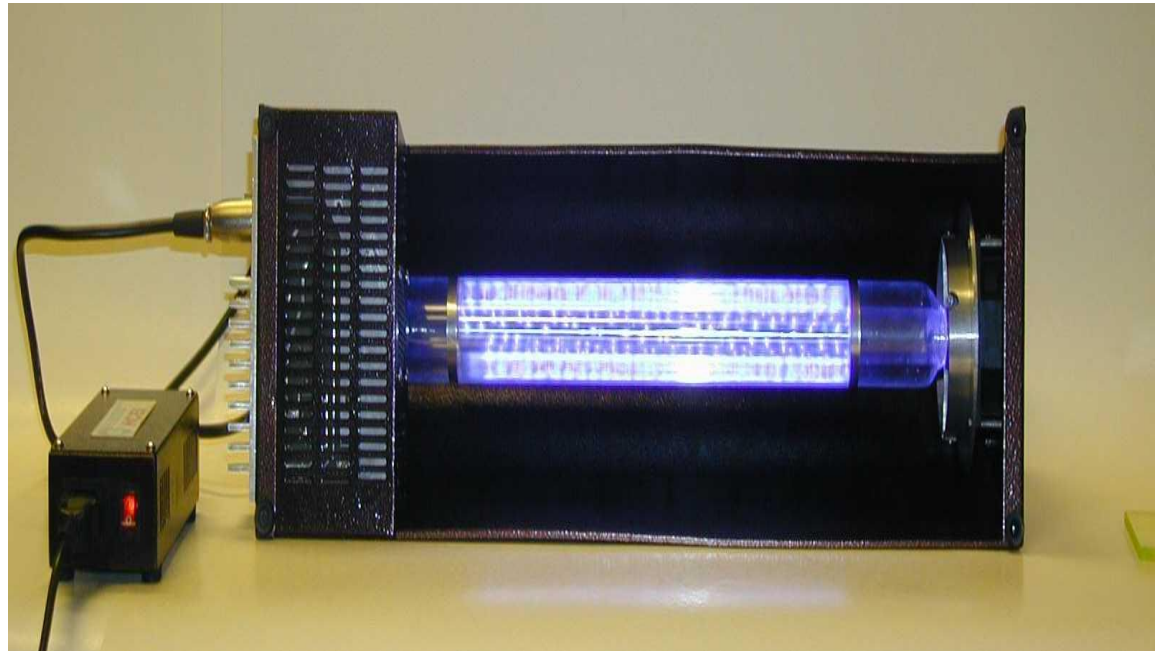
Геттеры

- химически связывает вредные газы после отпайки готового изделия от вакуумного поста
 - химически связывает вредные газы перед первым включением после длительного хранения
 - изготавливаются из прессованного титанового порошка и имеют форму полого цилиндра
 - при подогреве титана до температуры 1000 °С его химическая активность резко увеличивается, что приводит к связыванию не только кислорода, но и азота воздуха.
 - при температуре выше 1500 °С титан начинает связывать водород и тяжелые инертные газы
 - для подогрева геттера используют вольфрамовые подогреватели, расположенные внутри титанового цилиндра, или высокочастотный нагрев внешним индуктором
 - в некоторых газоразрядных кюветах геттерные цилиндрики (1...5 шт.) используют в качестве анода; в этом случае после отпайки такой геттер нагревается индуктором сильно, а в процессе эксплуатации - слабо за счет ионной бомбардировки в газовом разряде
-

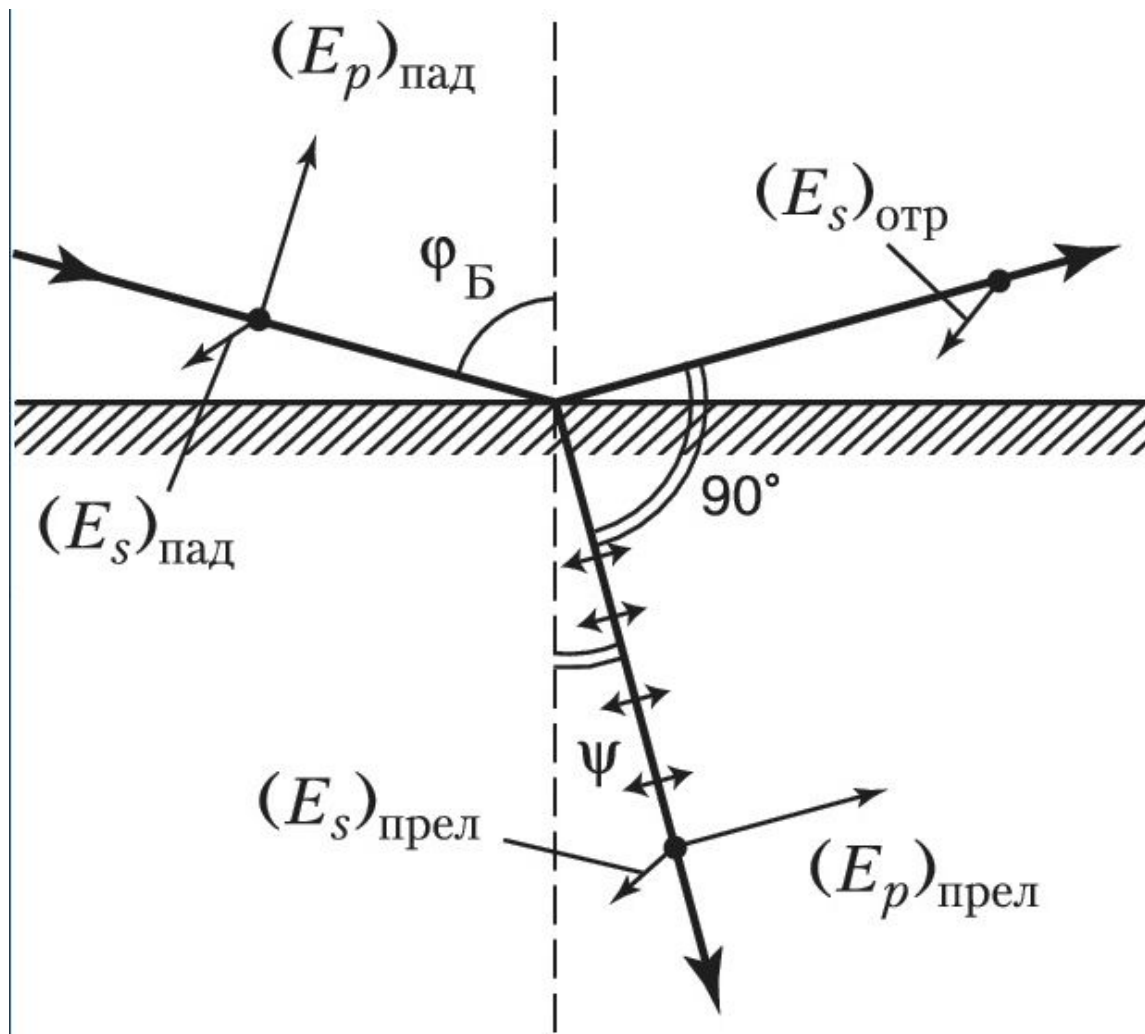


Оптические элементы газоразрядных кювет

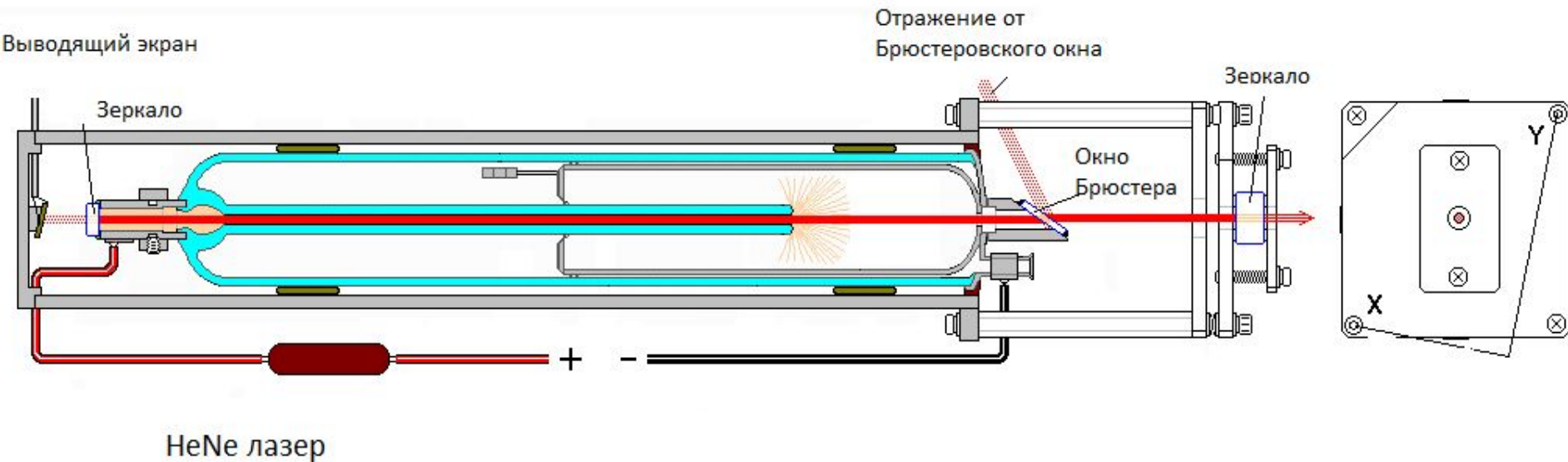
- брюстеровские окна
- внутренние зеркала
- «нормальные» окна
- просветленные окна



Брюстеровские окна

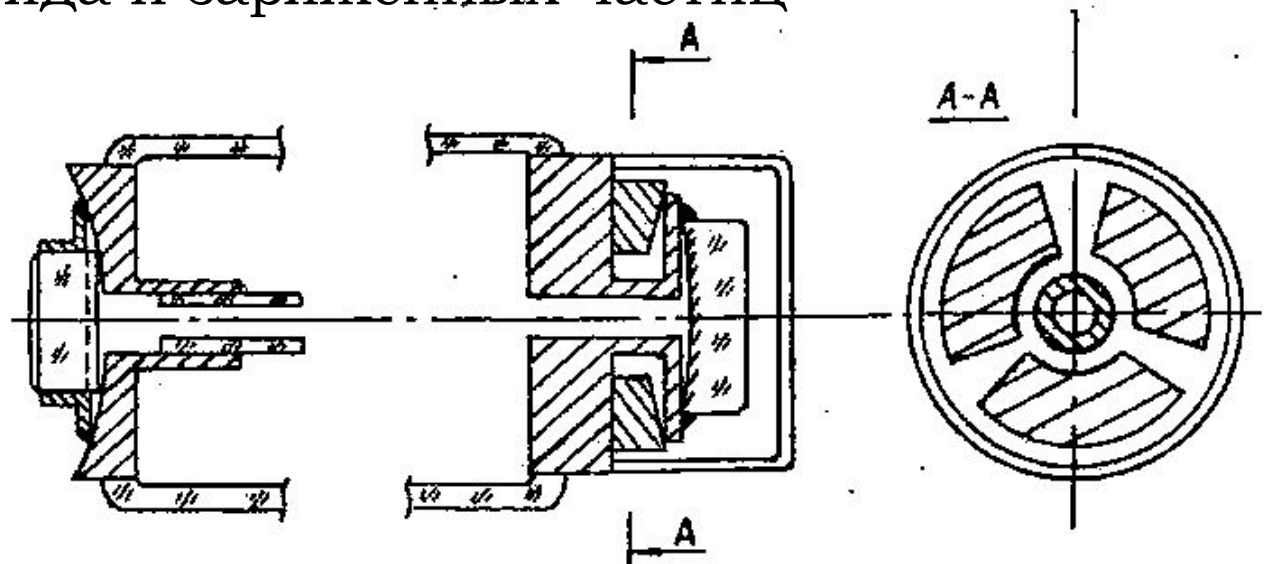


Брюстеровские окна



Внутренние зеркала

- в некоторых серийных гелий-неоновых лазерах
- во всех моноблочных газоразрядных лазерах
- внутренние зеркала в гелий-неоновых лазерах $0,63 \text{ мкм}$ должны иметь специальное покрытие, обеспечивающее минимальное отражение на конкурирующей длине волны $3,39 \text{ мкм}$
- требуется защита от ультрафиолетового излучения газового разряда и заряженных частиц



«Нормальные» окна

- из-за сложности юстировки используются только в лабораторных установках
- по принципу своей работы они являются эталоном Фабри-Перо, настроенным на максимальное пропускание
- изготавливается из стекла с близкой к нулю термооптической постоянной
- "нормальное" окно, настроенное на частоту рабочего перехода активной среды путем незначительного наклона на угол φ , практически не вносит потерь на отражение



Просветленные окна

- для обеспечения приемлемых потерь на отражение должны иметь двухслойное просветление
- низкие требования на плоскопараллельность обеих рабочих поверхностей
- отсутствие ограничений на термооптическую постоянную используемого стекла
- мягкие допуски на точность установки по отношению к оптической оси резонатора
- эксплуатационная надежность таких окон при частом удалении оседающей на них пыли невелика

