



Физические основы лазеров

Газовые лазеры

2020

ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ: классификация

Лазеры на нейтральных атомах:

- гелий-неоновый лазер;
- лазеры на парах меди.

Ионные лазеры:

- Аргоновый лазер;
- Гелий-кадмиевый лазер.

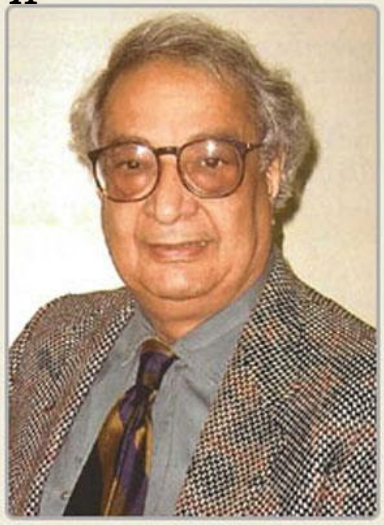
Молекулярные лазеры:

- CO_2 лазер;
 - CO лазер;
 - Азотный лазер;
 - Эксимерные лазеры.
-



Гелий-неоновый лазер

История



Ali Javan

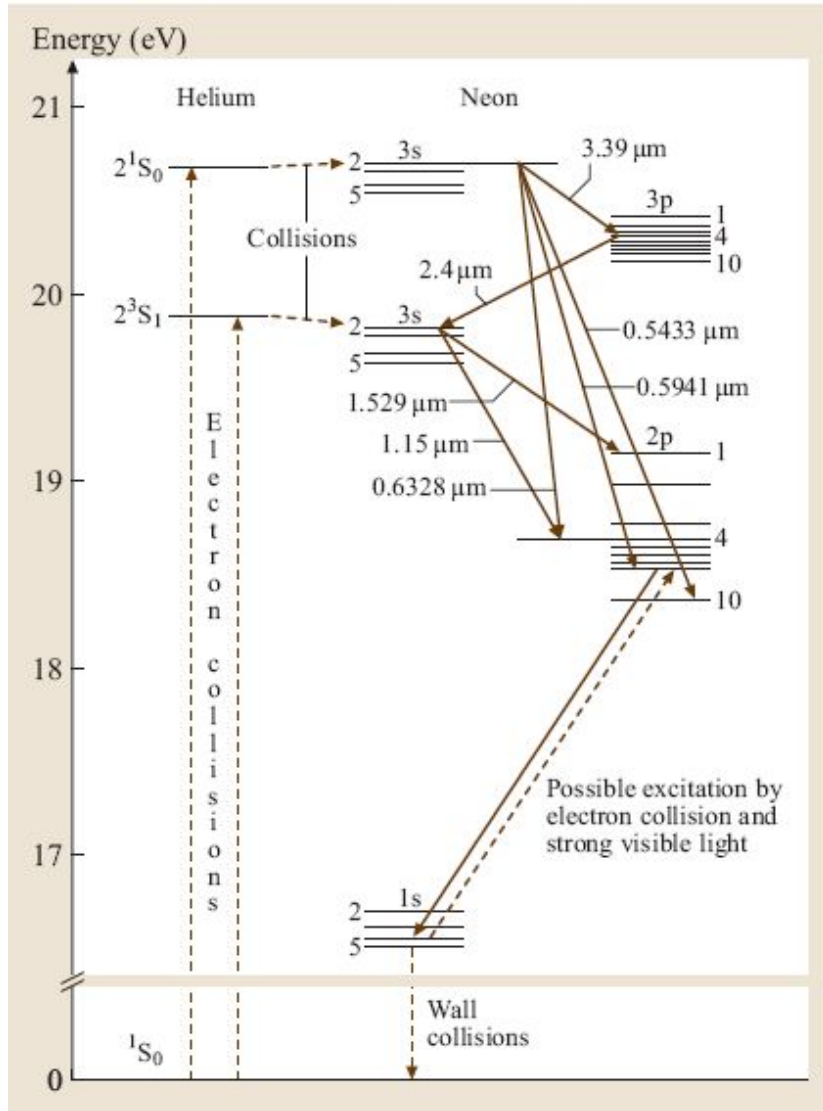


William Ralph Bennett

He-Ne laser was realized in Bell's laboratory in december 1960.
It was emitting at 632nm.

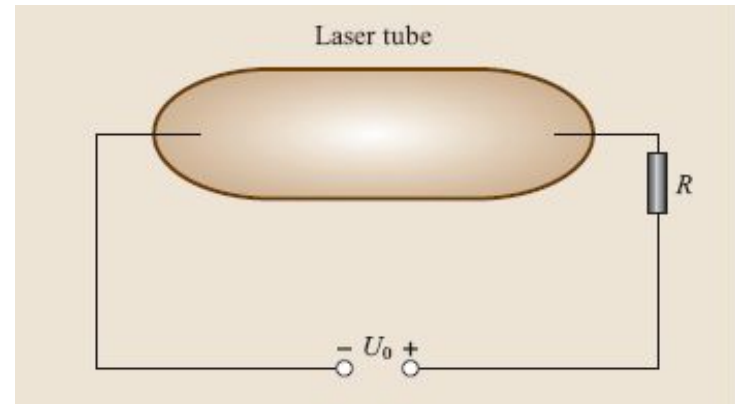


Energy-level diagram



Wavelength (in air) (nm)	Transition	Gain (m^{-1})	Typical power (mW)
543.3	$3s_2-2p_{10}$	0.03	0.5-3.0
594.1	$3s_2-2p_8$		2.0
611.8	$3s_2-2p_6$	0.1	2.0
632.8	$3s_2-2p_4$	0.5	0.5-50
640.2	$3s_2-2p_2$		
1152.3	$2s_2-2p_4$		2.0
1523.1	$2s_2-2p_1$	4	1
3391.3	$3s_2-3p_4$	100	10

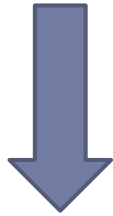
Typical laser transition



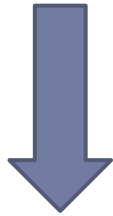
Electrical scheme of laser

Spectrum-line broadening

Low working pressure (150 MHz/Torr)



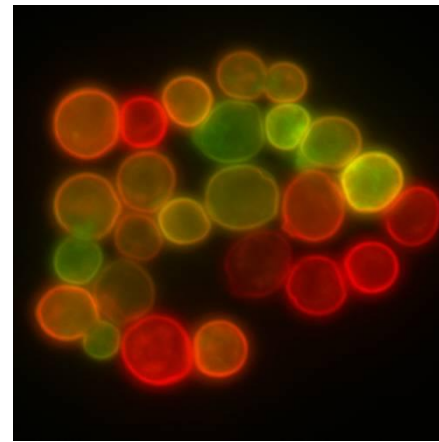
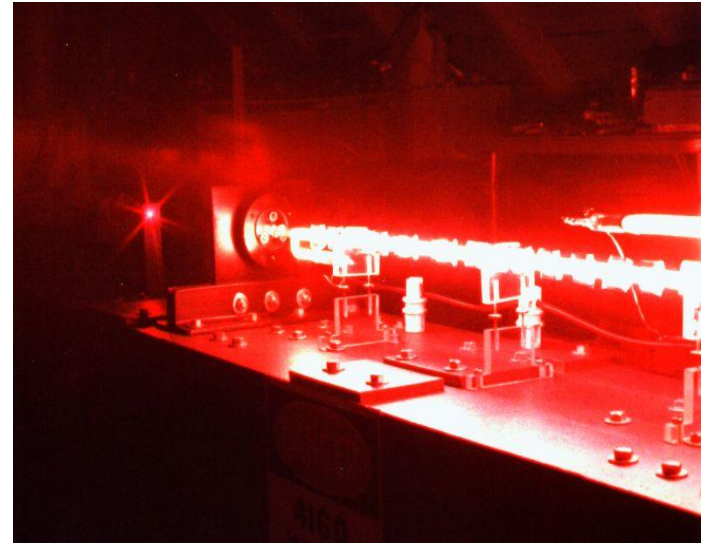
Rare collisions



Maxwellian speed distribution



Doppler effect (5 000 MHz)

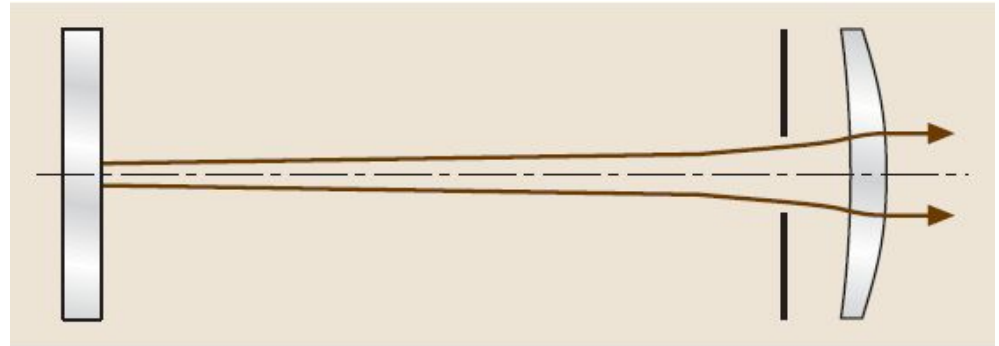


Fluorescence marker

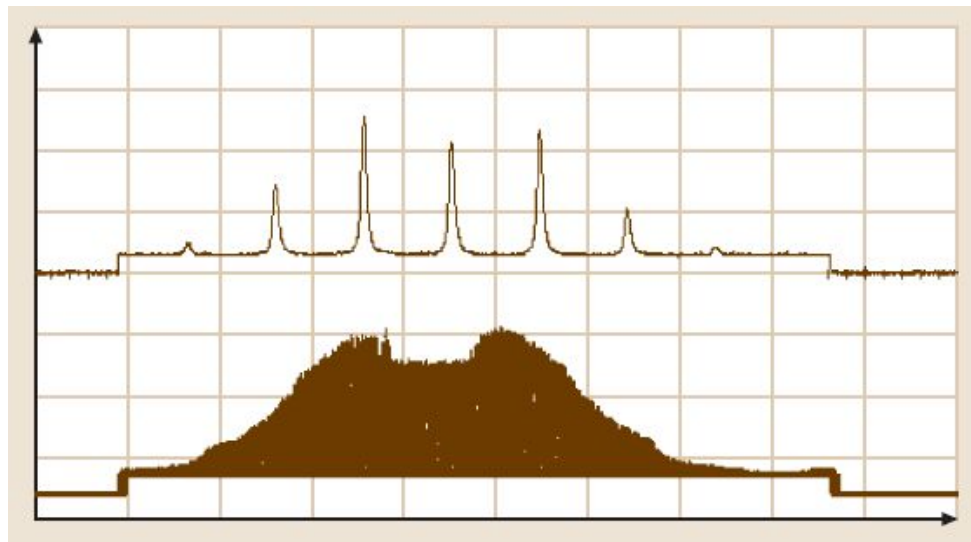




laser tube with fixed mirrors

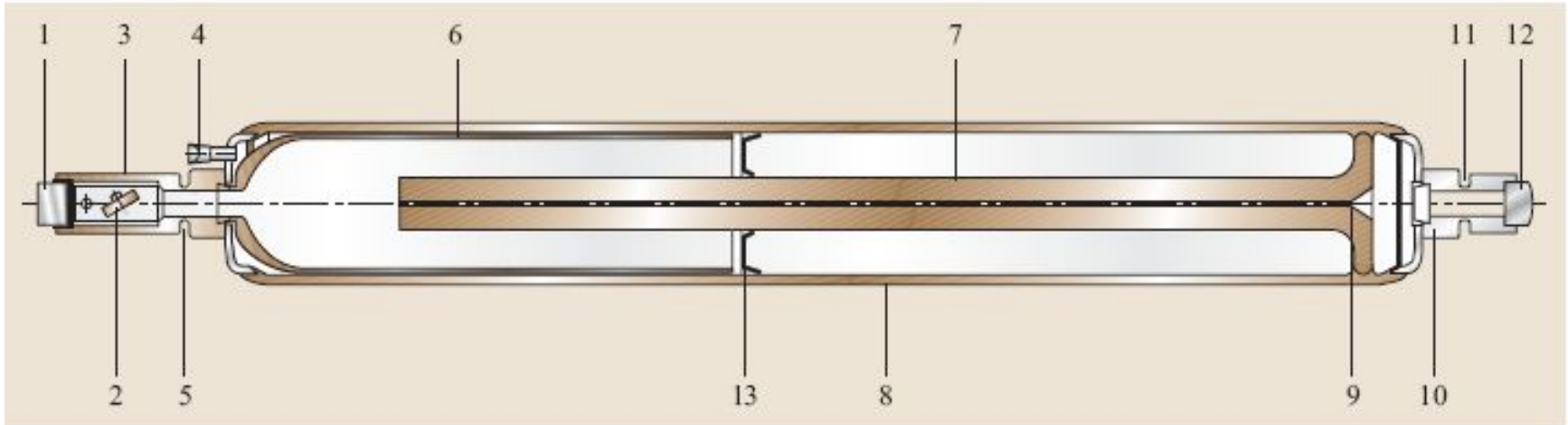


Principle setup of He-Ne resonator



▶ Longitudinal modes and correspondinf gain profile(584 mm, 20mW)

Construction



- 1,12 - laser mirrors
- 2 - Brewster window
- 3,10 - cap (mirror holder)
- 4 - pipe
- 5,11 - region of reduced material thickness
- 6 - cathode
- 7 - gas discharge capillary
- 8 - glass tube
- 9 - the end of the capillary

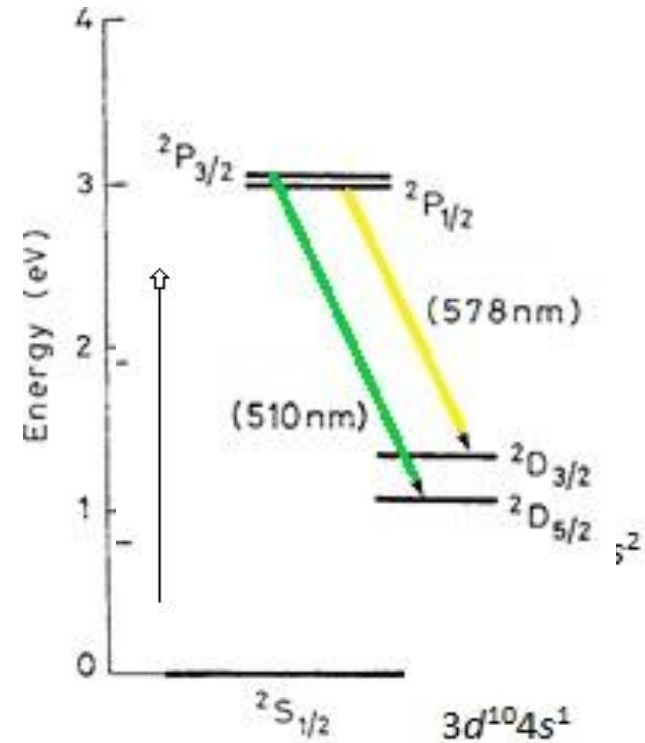


Лазера на парах меди

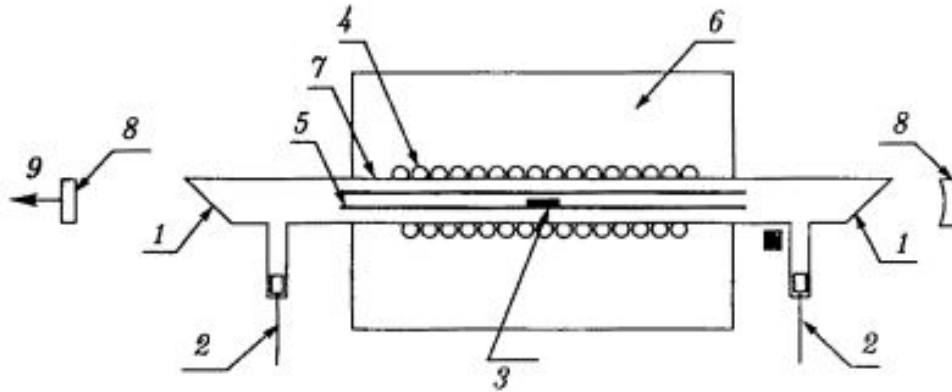
gain of the active medium: 2 kJ per 1 m

average power: 40 watts

high efficiency in the green and yellow regions of spectrum: 1%



Лазер на парах меди



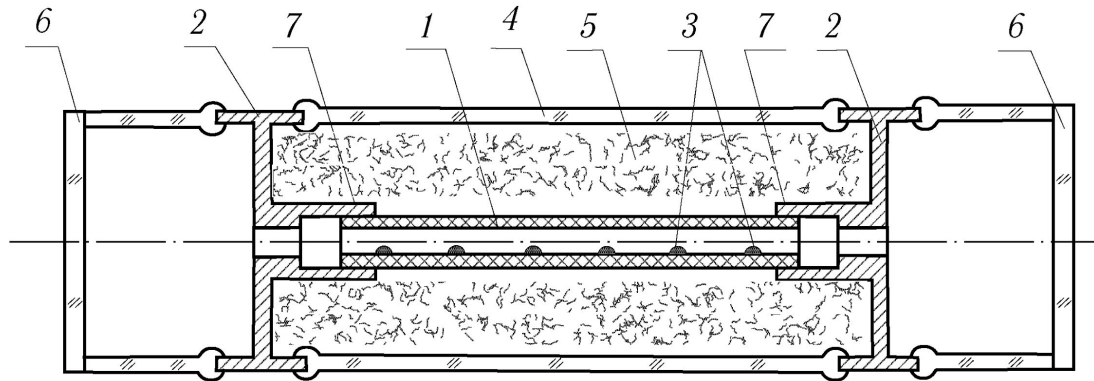
- 1 - выходные лазерные окошки ;
- 2 - электроды газоразрядной трубки;
- 3 - кусочек рабочего вещества (медь);
- 4 - 60% Pt 40% Rh (нагреватель);
- 5 - керамическая трубка на основе окиси алюминия ;
- 6 - печь высокотемпературная;
- 7 - вакуумная трубка;
- 8 - зеркала резонатора;
- 9 - выходное излучение;

1965-1966г. Для эффективной необходимо достигнуть плотностей $10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ что требует достижения температур $1500 - 1700 \text{ }^\circ\text{C}$ для газоразрядных трубок.

- Лазерная трубка разделена на высокотемпературную и низкотемпературную зоны.
- Центральная зона трубки помещалась в высокотемпературную печь.
- Использовался буферный газ гелий.
- Рабочее вещество располагается в центральной зоне на третьей части лазерной трубки (в процессе работы непрерывно диффундировало к холодным концам трубки, что наряду с явлением катафореза, ограничивало реальный срок службы таких лазеров.



Лазер на парах меди



- 1 — разрядный канал;
- 2 — электродные узлы;
- 3 — рабочее вещество;
- 4 — вакуумноплотная оболочка;
- 5 — тугоплавкий порошковый теплоизолятор;
- 6 — выходные окна;
- 7 — соединительные узлы ;

В соединении 7, между торцами разрядной трубки 1 и электродными узлами 2, имеется зазор.

Зазор обеспечивает откачку газа из объема теплоизолирующего элемента 5.

Во избежание попадания теплоизолирующего порошка в активный объем (разрядный канал) размер зазора должен быть меньше размера частиц порошка.

- ❖ В саморазогревном активном элементе разогрев разрядного канала с активным веществом до рабочей температуры происходит за счет энергии импульсного разряда, возбуждающего пары меди.



Лазер на парах меди

Особенности:

- 1. Лазер на парах меди является одним из самых мощных источников когерентного светового излучения в видимом диапазоне длин волн.
Длины волн генерации: 510,6 нм; 578,2 нм.
Диапазон средних выходных мощностей: 1 - 100 Вт с одной газоразрядной трубы.
- 2. Высокий практический коэффициент полезного действия лазера, достигающий 1 - 2 %.
- 3. Высокий коэффициент усиления активной среды лазера на парах меди дает возможность использовать эти лазеры в качестве когерентных усилителей яркости световых пучков и строить многокаскадные лазерные системы с большой выходной мощностью лазерного излучения ($P_{ср} > 1$ кВт).
- 4. Возможно эффективное преобразование выходного излучения лазера в ультрафиолетовую область спектра.



Ионно-аргоновый лазер

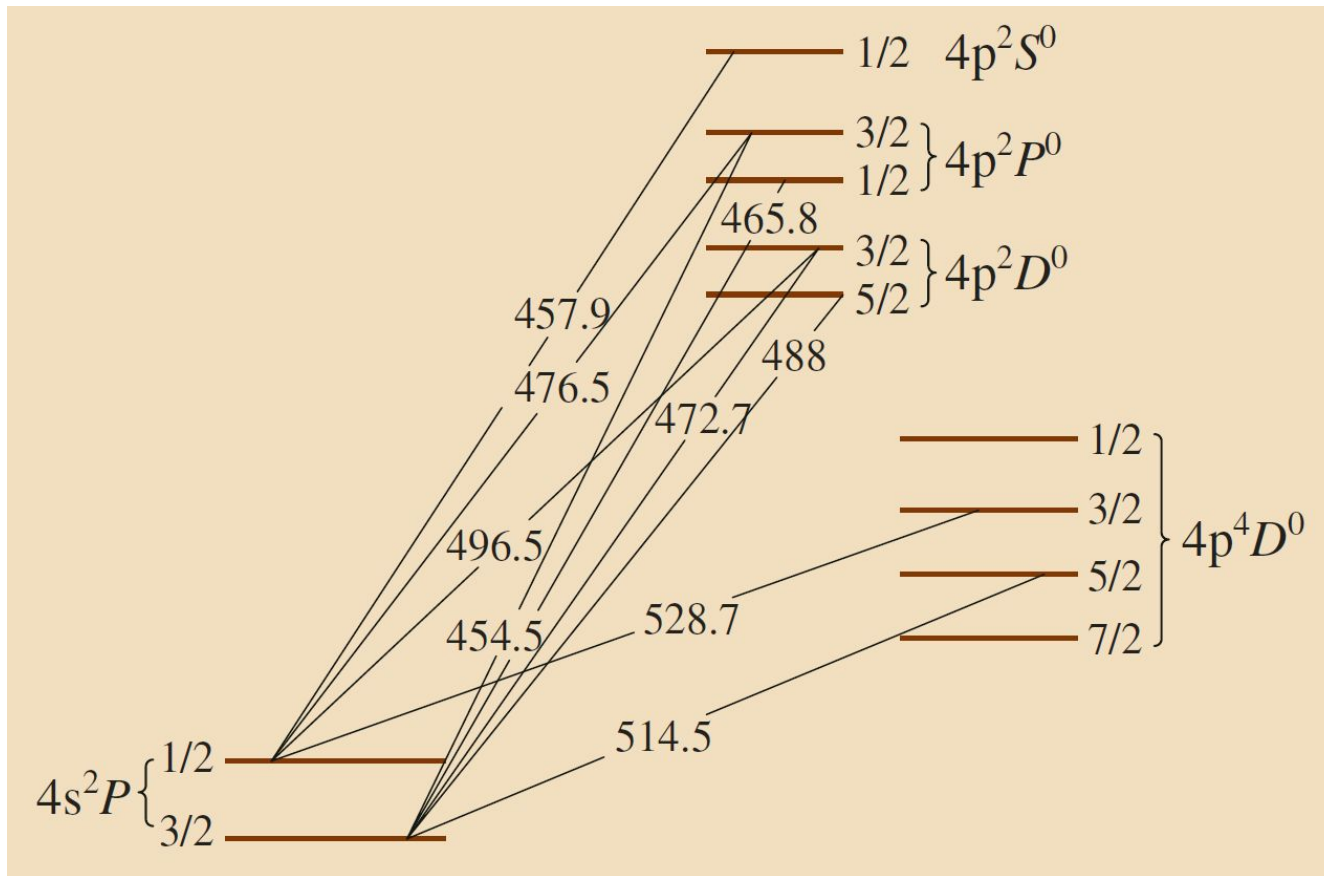
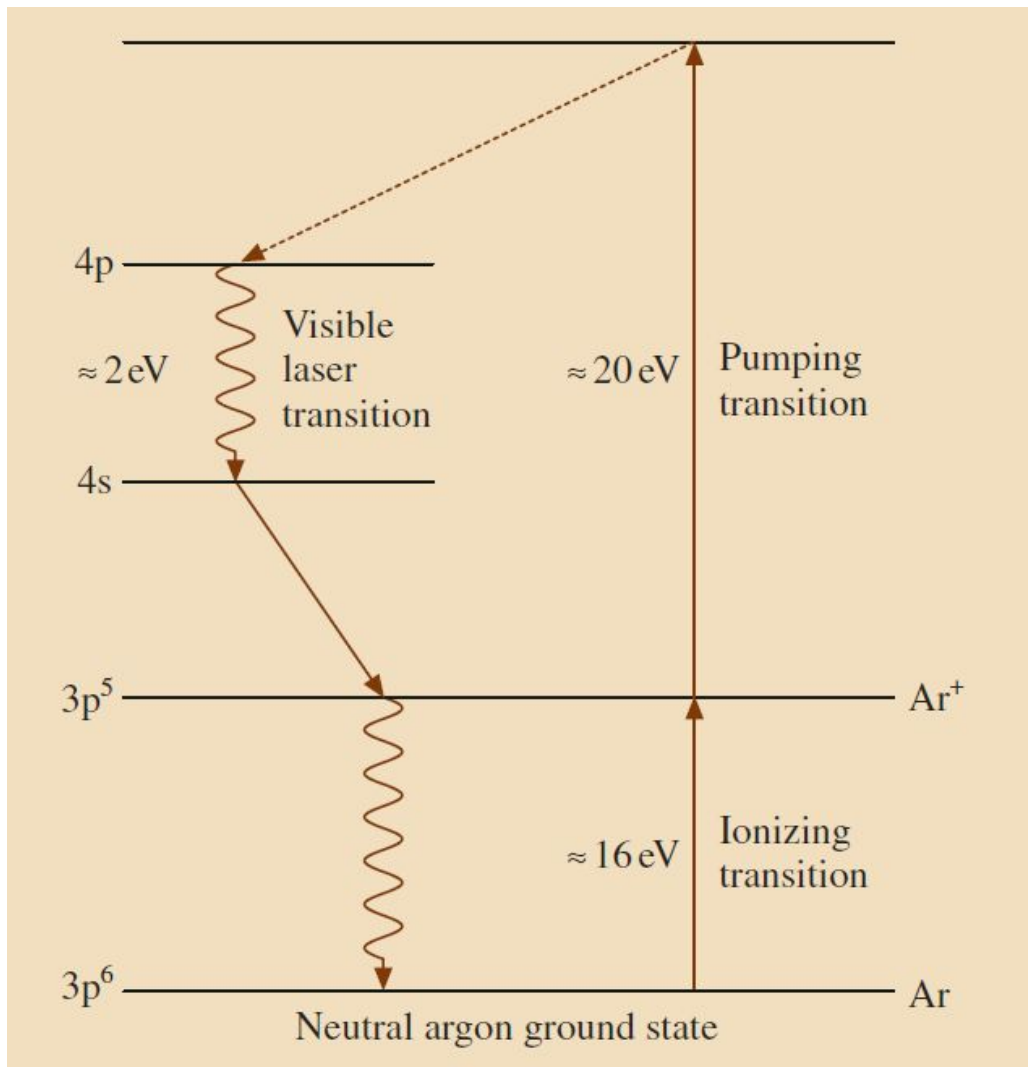


Схема уровней иона аргона



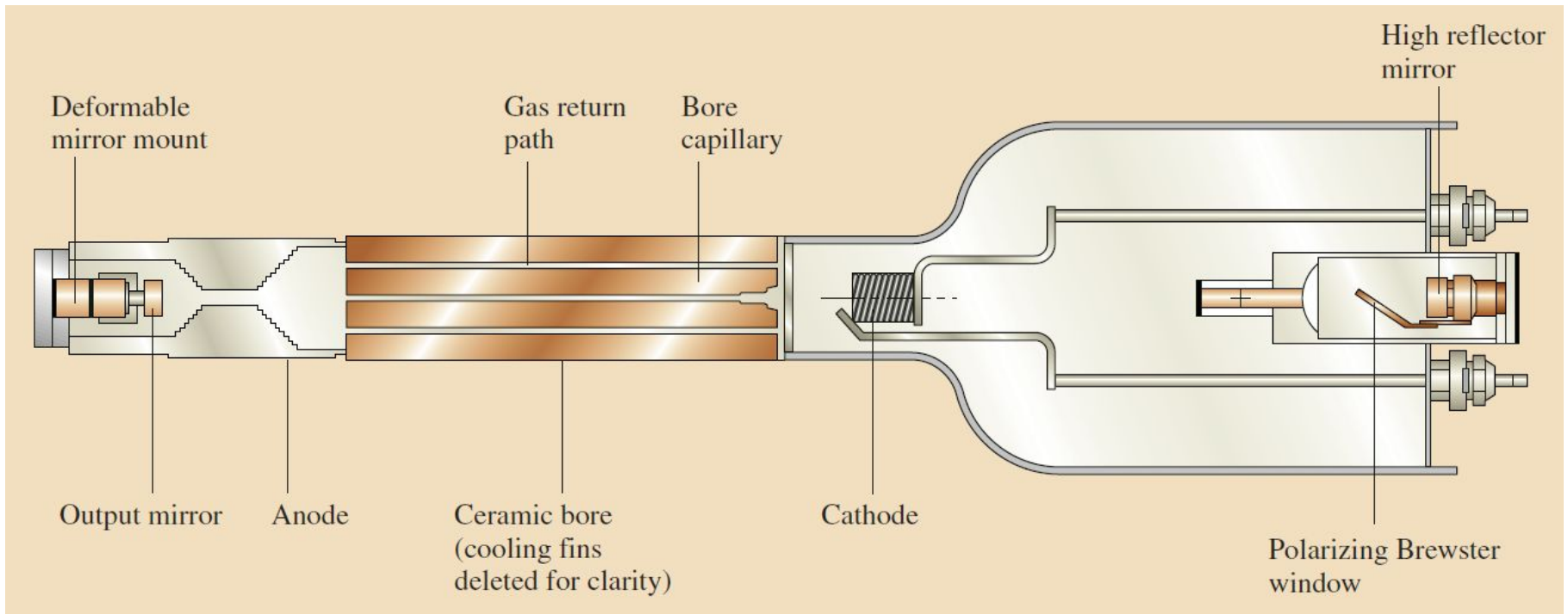
Ионно-аргоновый лазер



Двухэтапная возбуждение
иона аргона



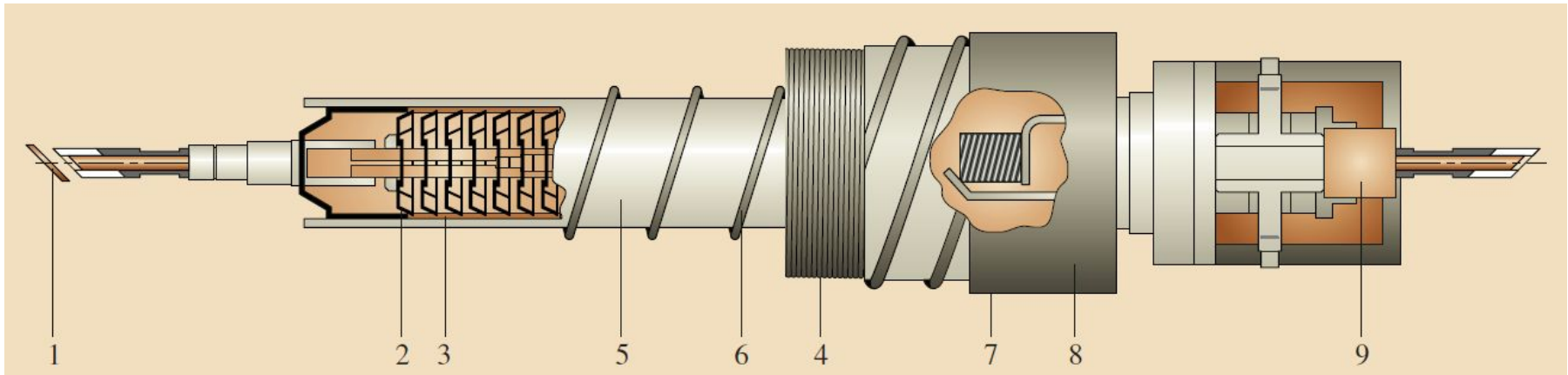
Ионно-аргоновый лазер



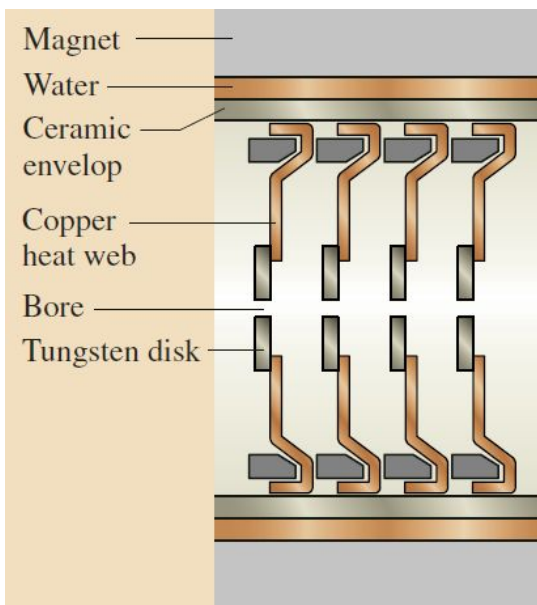
Конструкция с воздушным охлаждением



Ионно-аргоновый лазер



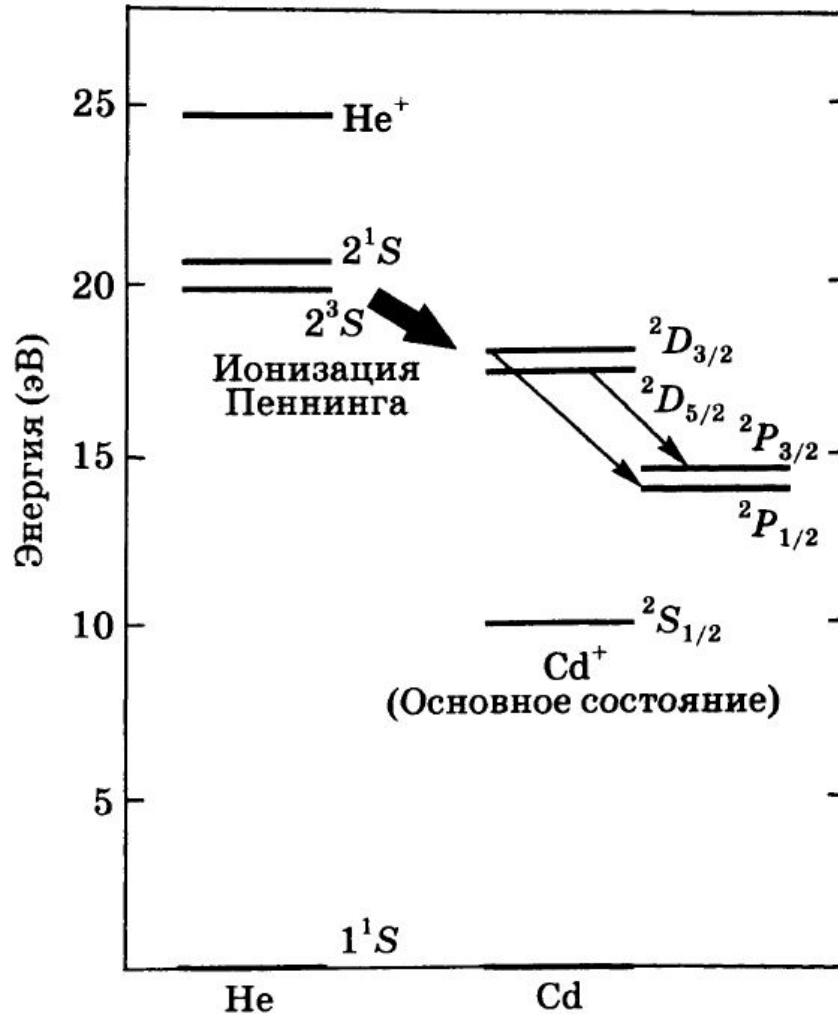
Конструкция с водяным охлаждением



Конструкция сегментов трубки



Гелий-кадмиевый лазер



Линии генерации:

$${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2} \quad 325 \text{ нм}$$

$${}^2D_{5/2} \rightarrow {}^2P_{3/2} \quad 416 \text{ нм}$$

$T = 250 \text{ }^\circ\text{C}$

Выходная мощность: 50-100 мВт

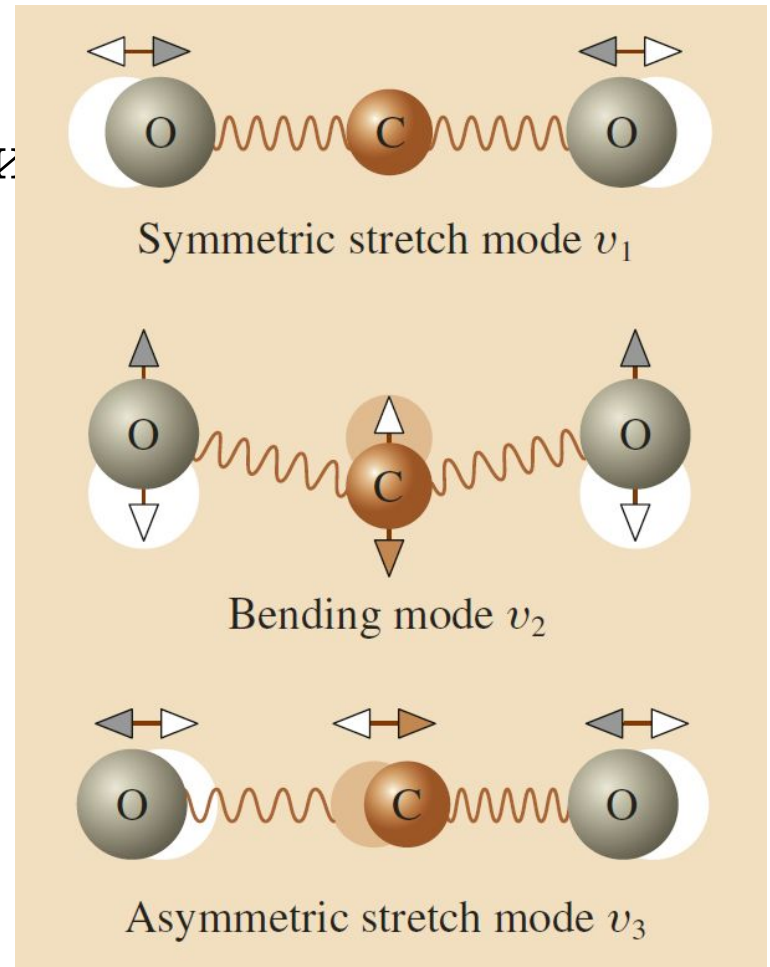
Конструкция: трубка с брюстеровскими окнами.

Лазер на углекислом газе

□ Молекула CO_2 :

- симметричное колебание
- антисимметричное колебание
- деформационное колебание

Vibrational state Herzberg	Wavenumber, frequency and energy		
	$\bar{\nu}$ (cm^{-1})	f (THz)	W (meV)
(00 ⁰ 0)	0	0	0
(01 ¹ 0)	667.380	20.008	82.745
(02 ⁰ 0)	1285.408	38.536	159.370
(02 ² 0)	1335.132	40.026	165.535
(10 ⁰ 0)	1388.184	41.617	172.113
(03 ¹ 0)	1932.470	57.934	239.596
(03 ³ 0)	2003.246	60.056	248.371
(11 ¹ 0)	2076.856	62.263	257.497
(00 ⁰ 1)	2349.143	70.426	291.257

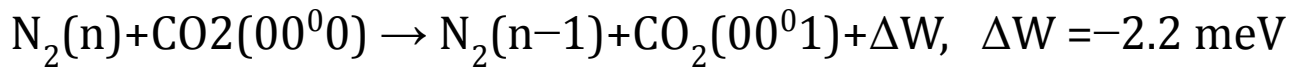
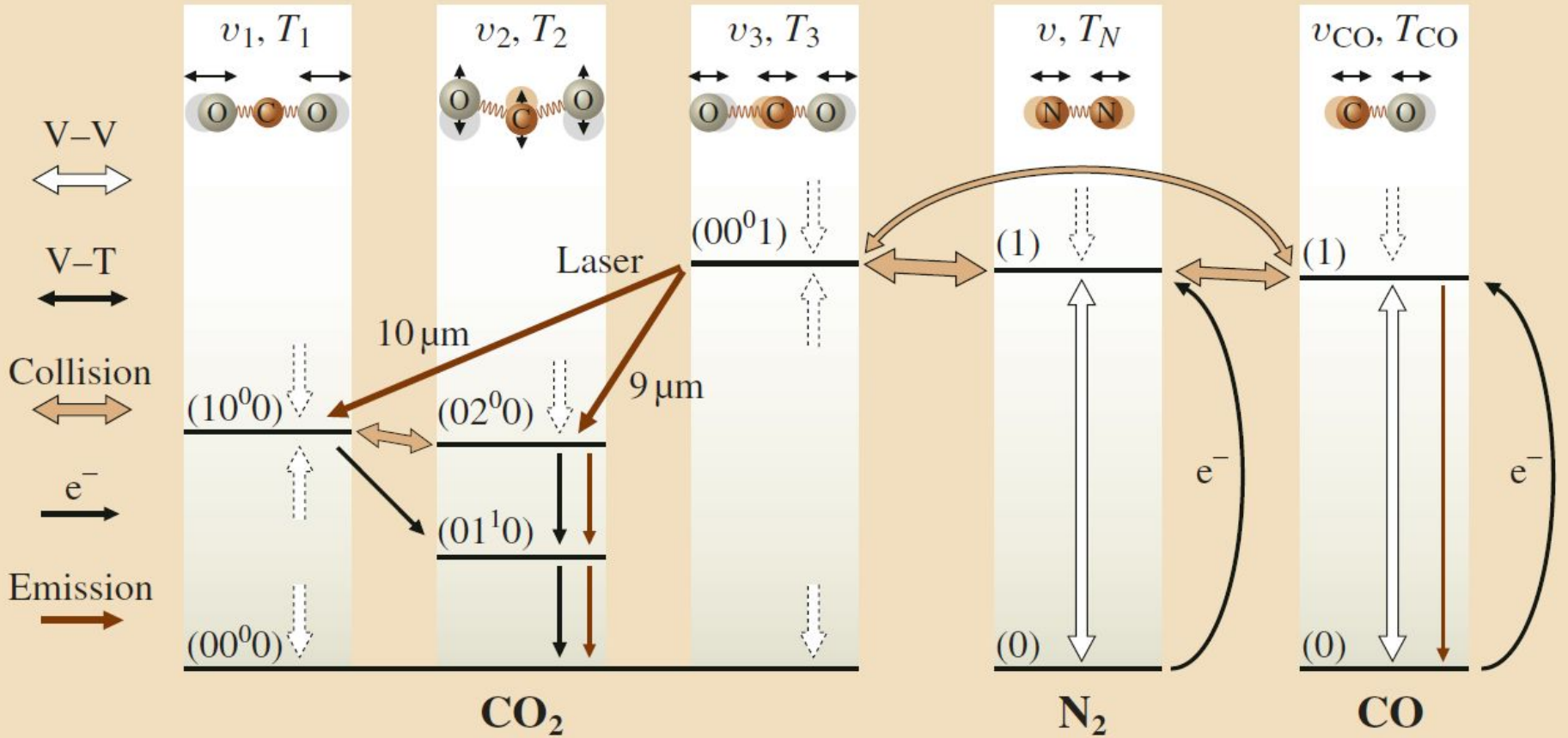


Возможные лазерные переходы

Vibrational band	Comment
$(00^0 1) \rightarrow (10^0 0)$	Regular band, 10 μm
$(00^0 1) \rightarrow (02^0 0)$	Regular band, 9 μm
$(01^1 1) \rightarrow (11^1 0)$	Hot band
$(01^1 1) \rightarrow (03^1 0)$	Hot band
$(00^0 2) \rightarrow (10^0 1)$	Sequence band
$(00^0 2) \rightarrow (02^0 1)$	Sequence band

Band	Wavelengths (μm)	Lines
	min – center – max	min – center – max
9R	9.158 – 9.271 – 9.367	9R(44) – 9R(20) – 9R(4)
9P	9.443 – 9.552 – 9.836	9P(6) – 9P(20) – 9P(50)
10R	10.095 – 10.247 – 10.365	10R(46) – 10R(20) – 10R(4)
10P	10.441 – 10.591 – 10.936	10P(4) – 10P(20) – 10R(50)

Схема энергетических уорвней



Диссоциация CO₂. Газовая смесь

- CO₂+e⁻ → CO+O⁻, ΔW = -3.85 eV
- CO₂+e⁻ → CO+O+e⁻, ΔW = -5.5 eV

Типовая газовая смесь: He : N₂ : CO₂ = 8 : 2 : 1
Варианты газовой смеси:

Premix name/ (Maker)	Composition							Laser type, model series
	He	N ₂	CO ₂	CO	O ₂	Xe	H ₂	
Lasermix 322 (Linde AG)	65.5	29	5.5					Fast axial-flow, Trumpf TLF Series
Lasermix 690 (Linde AG)	65	19	4	6	3	3		Diffusion-cooled sealed-off, Rofin Slab DC 0XX
Lasal 81 (Air Liquide)	80.8	15	4				0.2	DC excited slow-flow, FEHA SM Series



Варианты конструкции

□ **Gas Flow Inside the Laser.**

- No gas flow, sealed-off
- Quasi-sealed-off, periodic gas exchange
- Slow gas flow axial to the laser beam
- Fast gas flow axial to the laser beam
- Fast gas flow transversal to the laser beam

□ **Gas Cooling.**

- Diffusion-cooled, cooled walls of the gas discharge
- Fast gas flow with external heat exchanger.

□ **Electrical Excitation.**

- Longitudinal DC discharge, continuous
- Transversal DC discharge at high gas pressure, pulsed
- Capacitively coupled transversal RF discharge
- Inductively coupled RF discharge
- Microwave-excited gas discharge.

□ **Optical Resonator.**

- Stable optical resonator
 - Unstable optical resonator
 - Free-space propagation between the mirrors
 - Optical waveguide between the mirrors
 - Combinations of these in different planes.
-



Схема отпаянного лазера с продольной накачкой разрядом постоянного тока

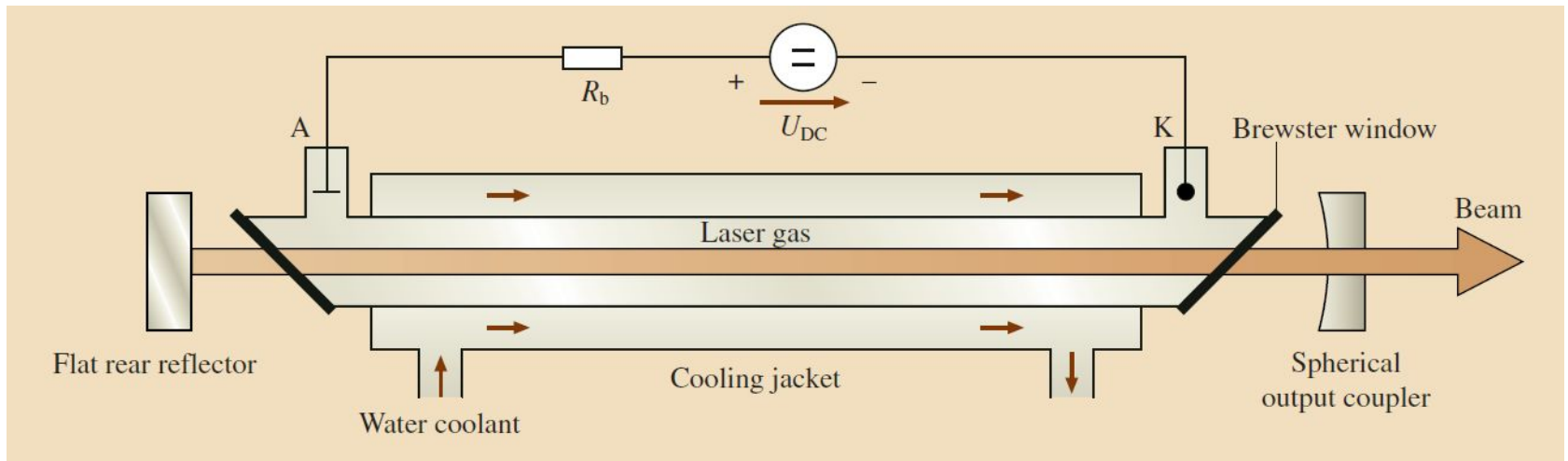
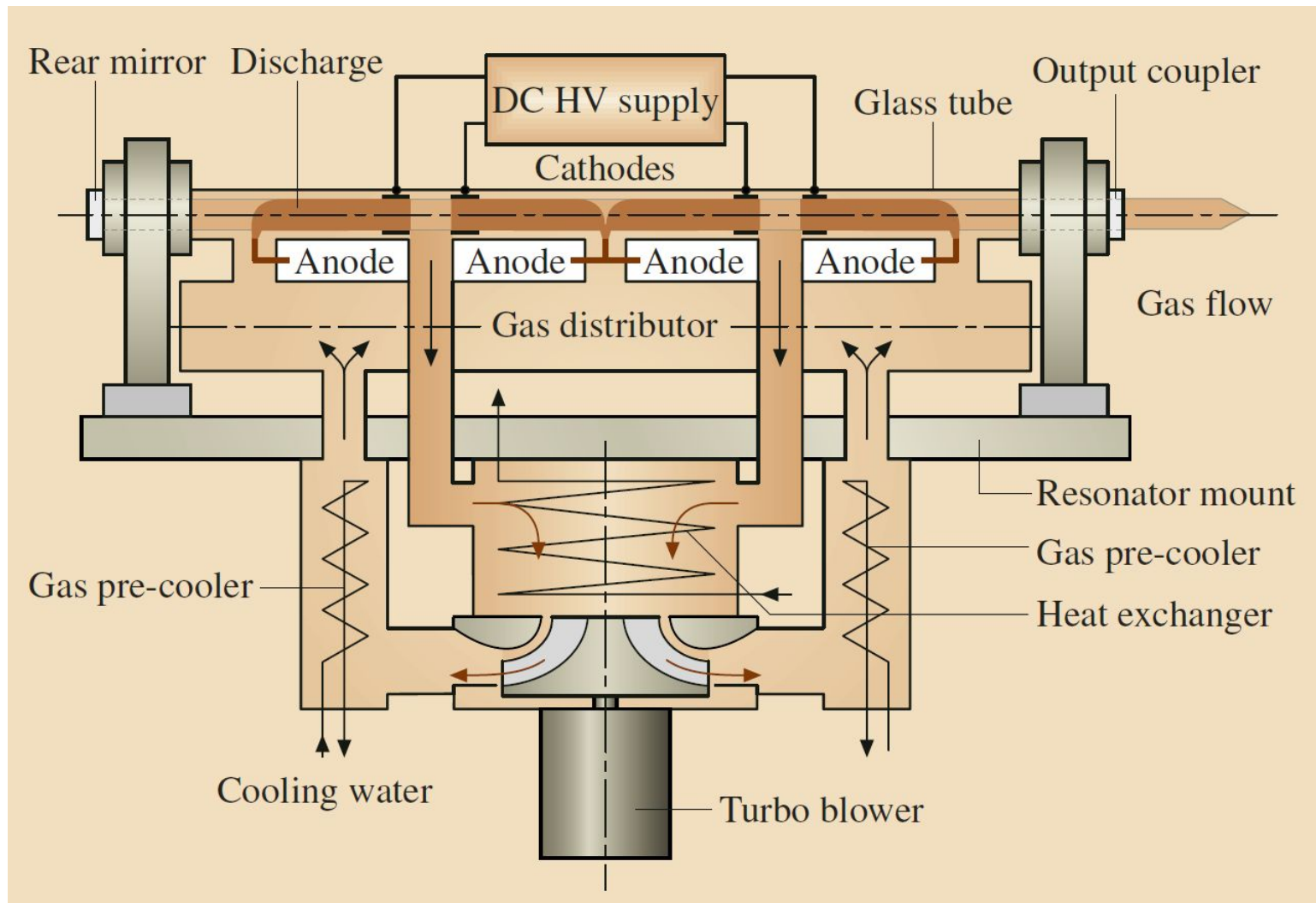
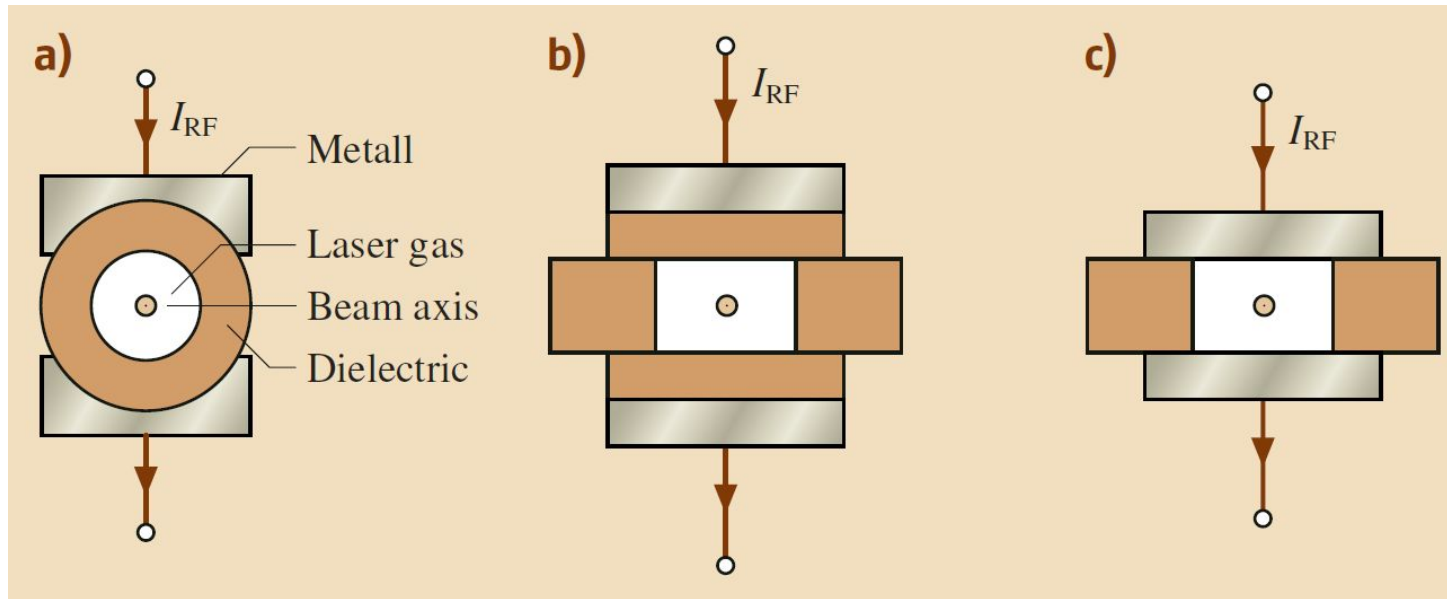


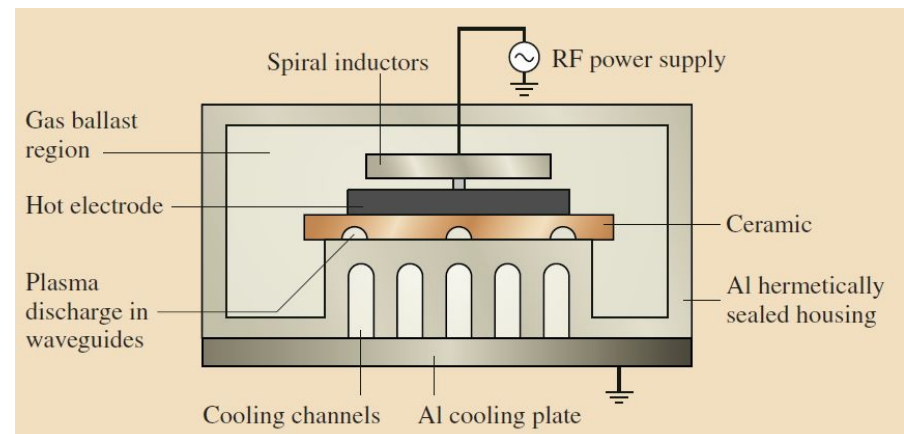
Схема с продольной прокачкой разрядом постоянного тока

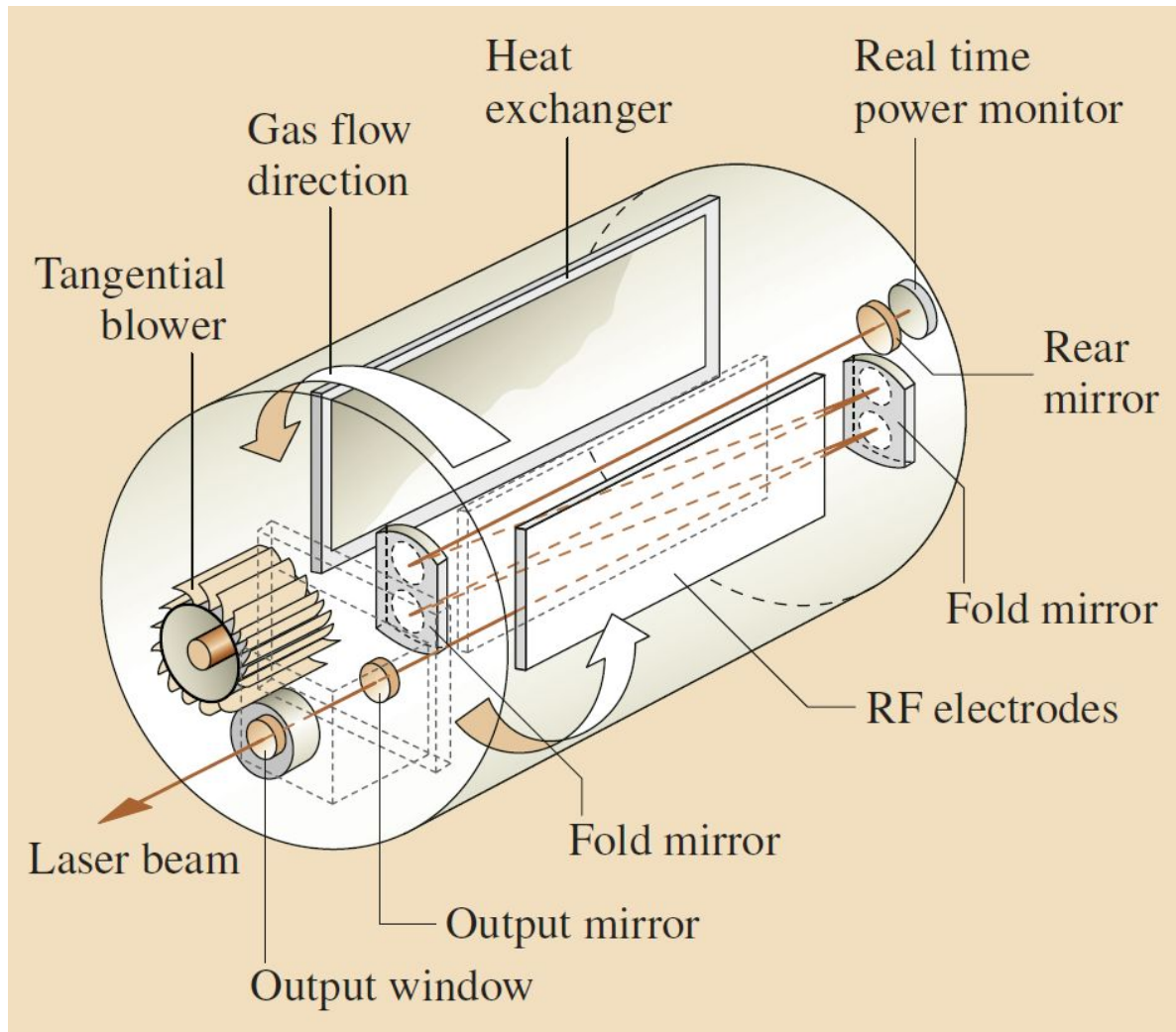


Волноводные CO₂-лазеры

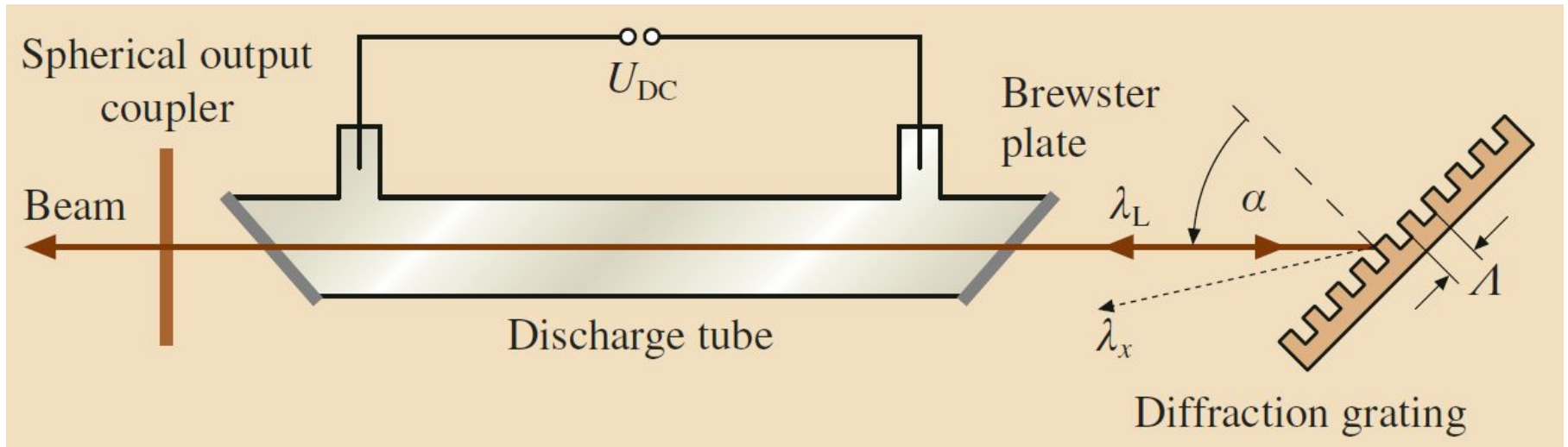


- а) цилиндрический диэлектрический волновод
- б) полностью диэлектрический прямоугольный волновод
- в) гибридный волновод металл-диэлектрик

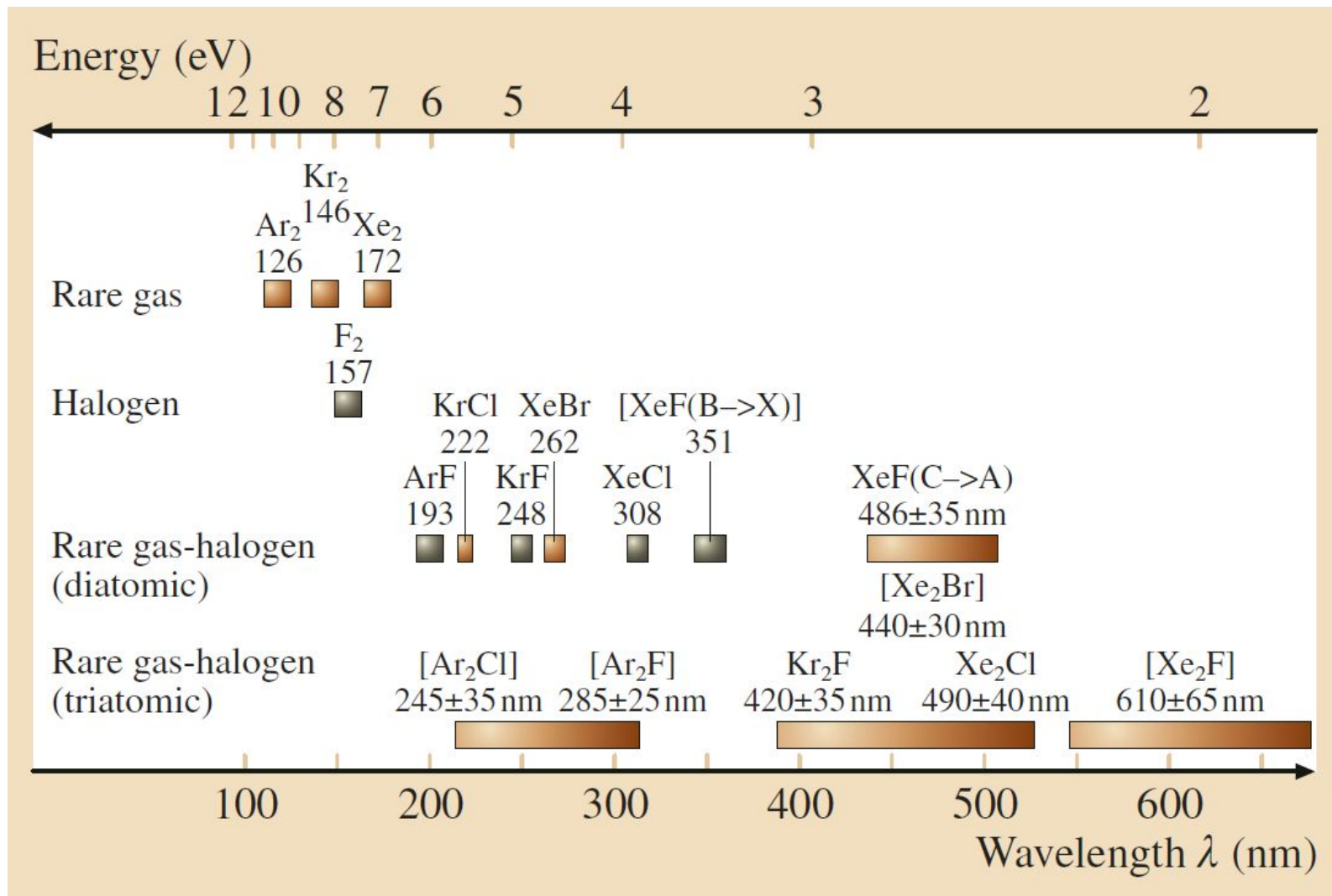




Перестраиваемые СО2-лазеры



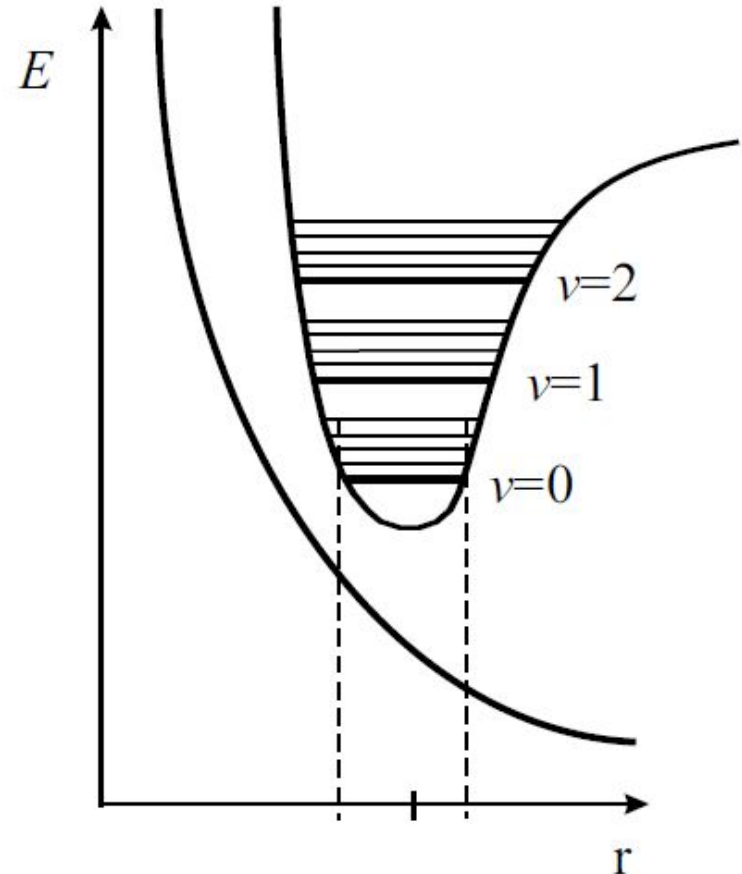
Экимерные лазеры



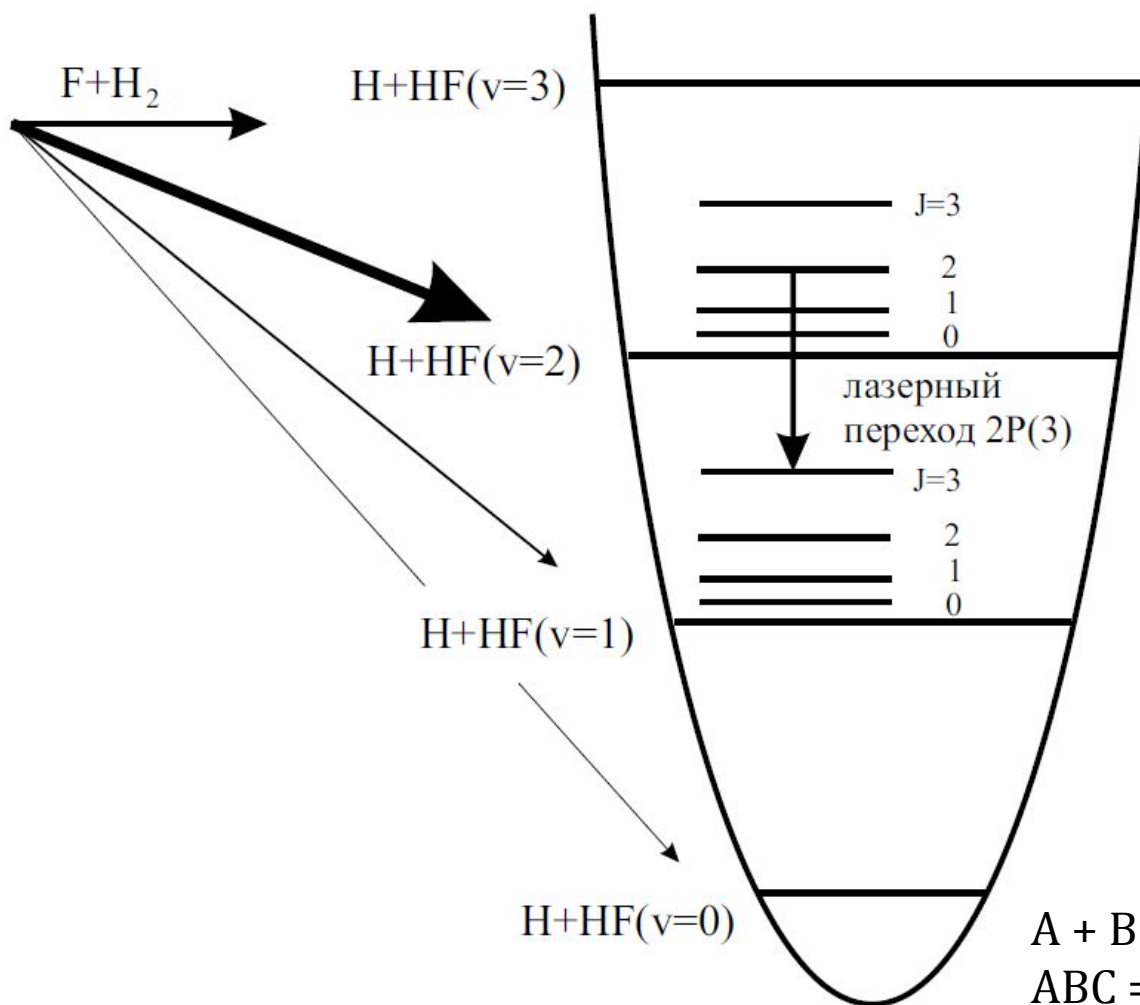
Экимерные лазеры

Benefits:

1. Short wavelength
2. High quantum energy
3. High pulse energy density obtained by focusing
4. The extreme peak power when the pulse energy is compressed into ultrashort pulses.



Химические лазеры



Длины волн 2,7 – 3,3 мкм

HF-лазер

$A + B = AB$ ассоциативная реакция
 $ABC = A + BC$; - диссоциативная реакция