



# 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:**

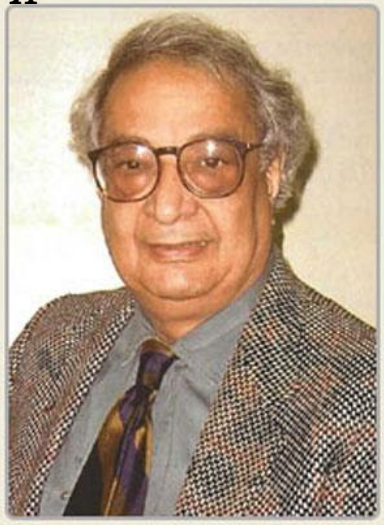
- $\text{CO}_2$  лазер;
  - CO лазер;
  - Азотный лазер;
  - Эксимерные лазеры.
- 



# Гелий-неоновый лазер

---

История



Ali Javan



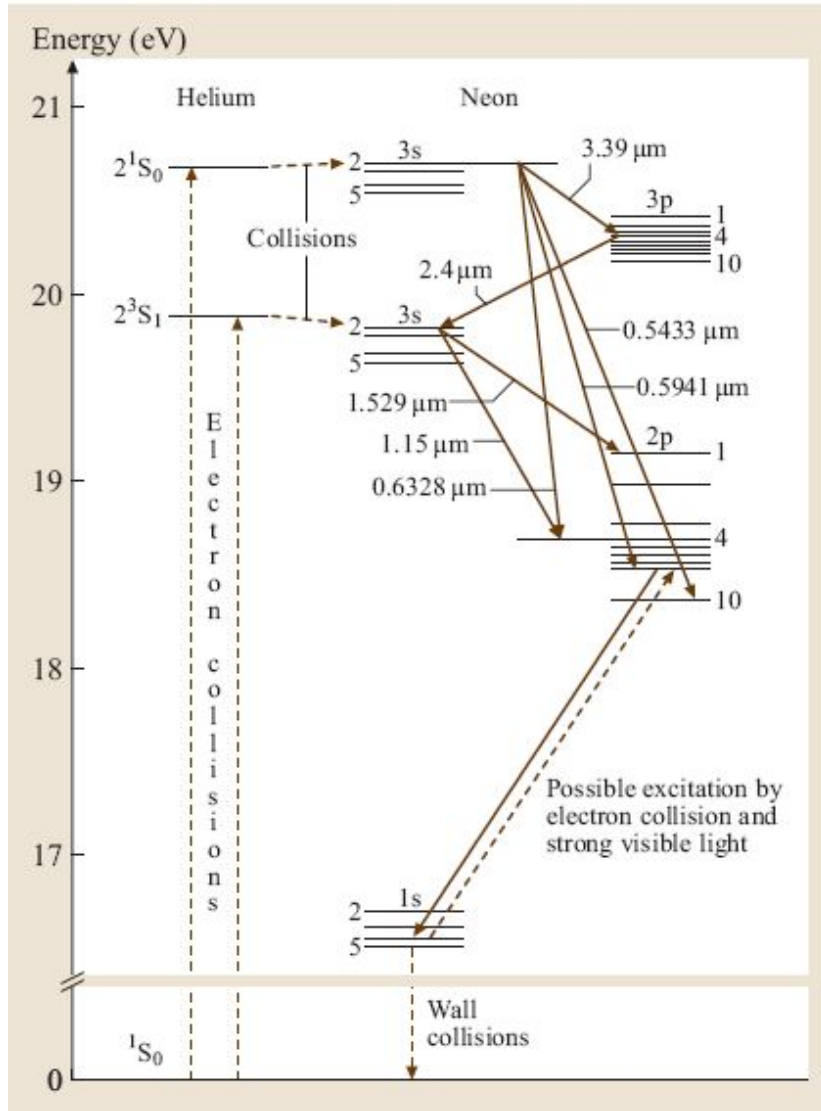
*William Ralph Bennett*

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

---

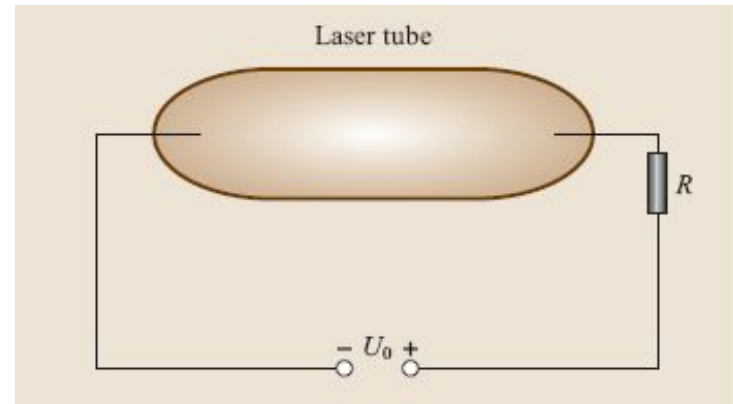


# Energy-level diagram



Wavelength (in air) (nm)	Transition	Gain ( $\text{m}^{-1}$ )	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

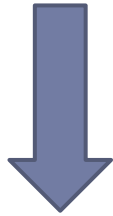
Typical laser transition



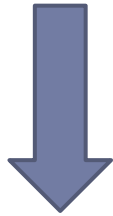
Electrical scheme of laser

# Spectrum-line broadening

Low working pressure (150 MHz/Torr)



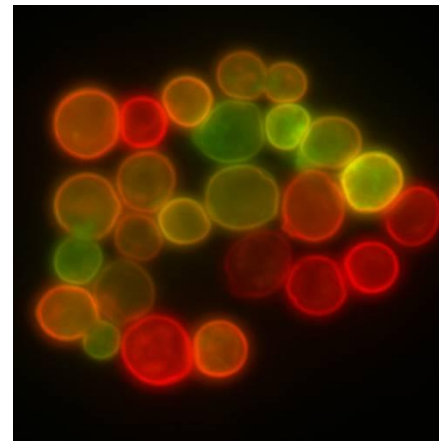
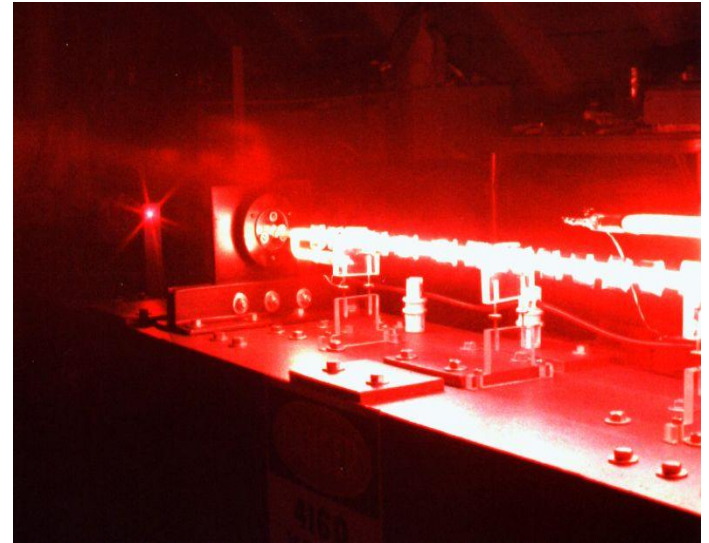
Rare collisions



Maxwellian speed distribution



Doppler effect (5 000 MHz)

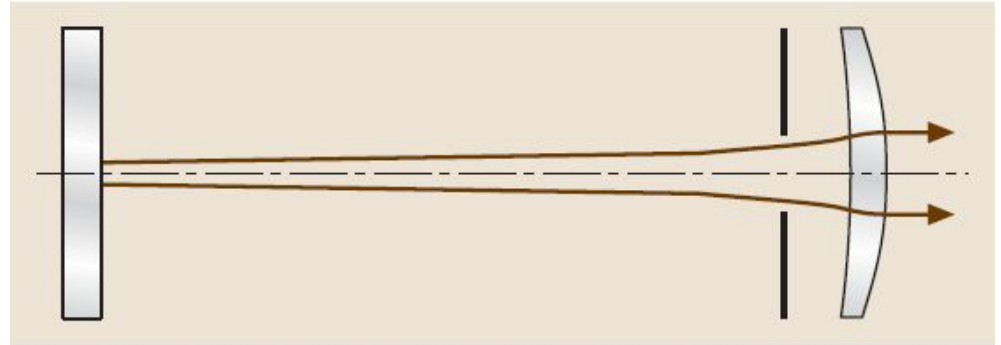


Fluorescence marker

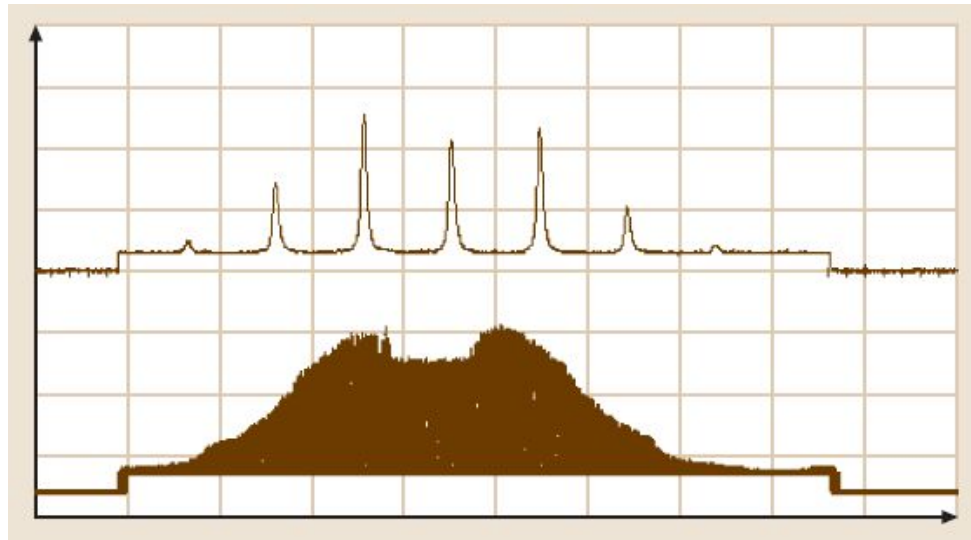




laser tube with fixed mirrors



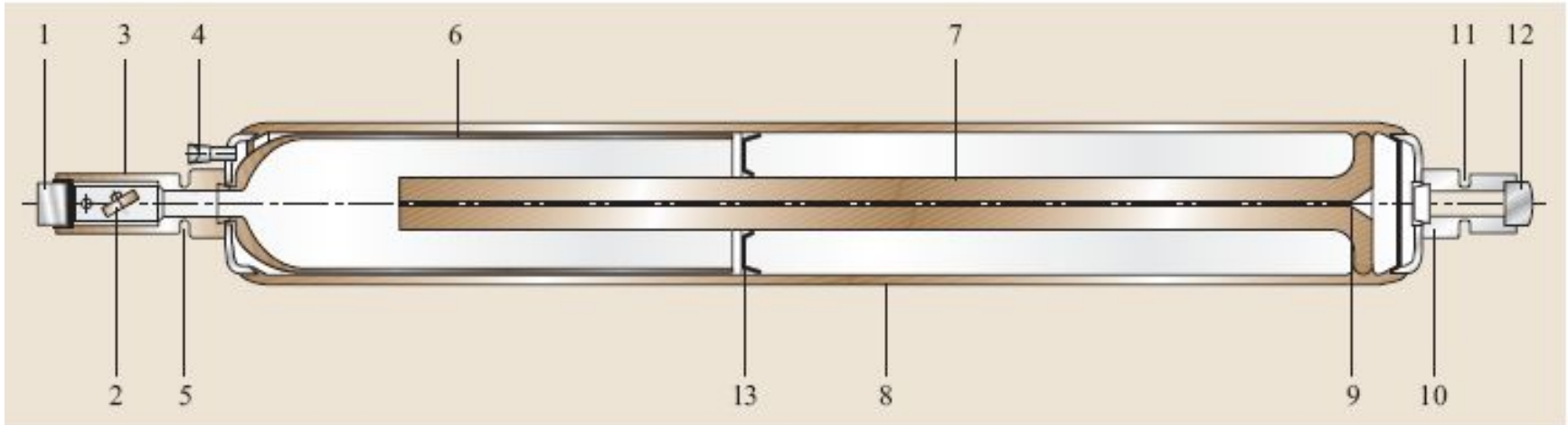
Principle setup of He-Ne resonator



▶ 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

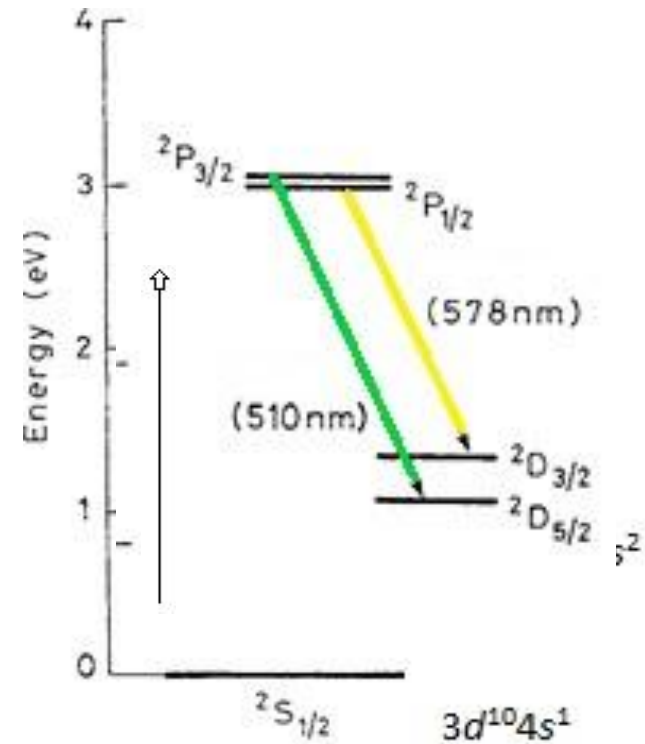


# Лазера на парах меди

gain of the active medium: 2 kJ per 1 m

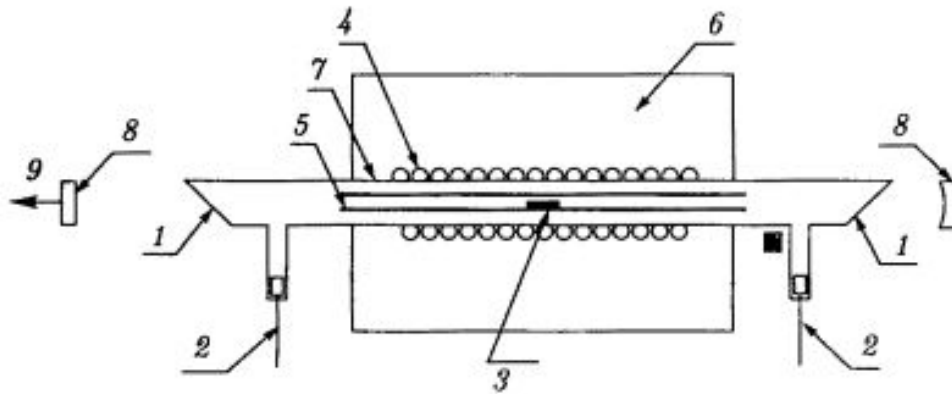
average power: 40 watts

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





# Лазер на парах меди



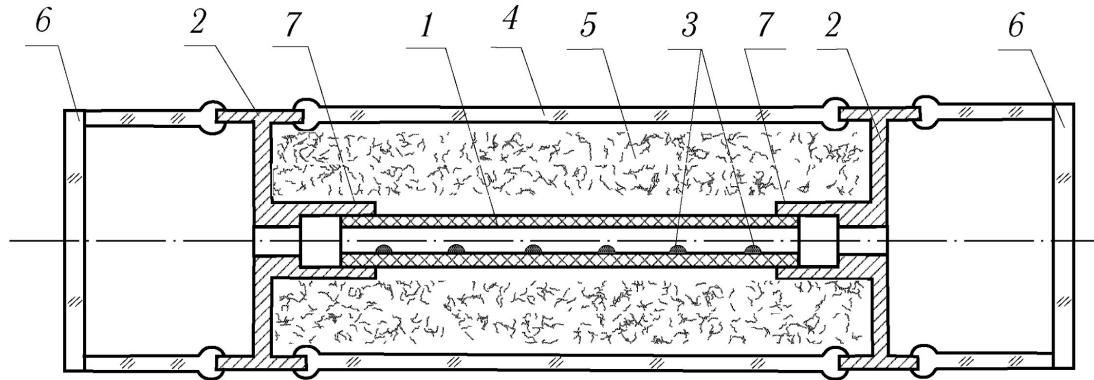
- 1 - выходные лазерные окошки ;
- 2 - электроды газоразрядной трубки;
- 3 - кусочек рабочего вещества (медь);
- 4 - 60% Pt 40% Rh (нагреватель);
- 5 - керамическая трубка на основе окиси алюминия ;
- 6 - печь высокотемпературная;
- 7 - вакуумная трубка;
- 8 - зеркала резонатора;
- 9 - выходное излучение;

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

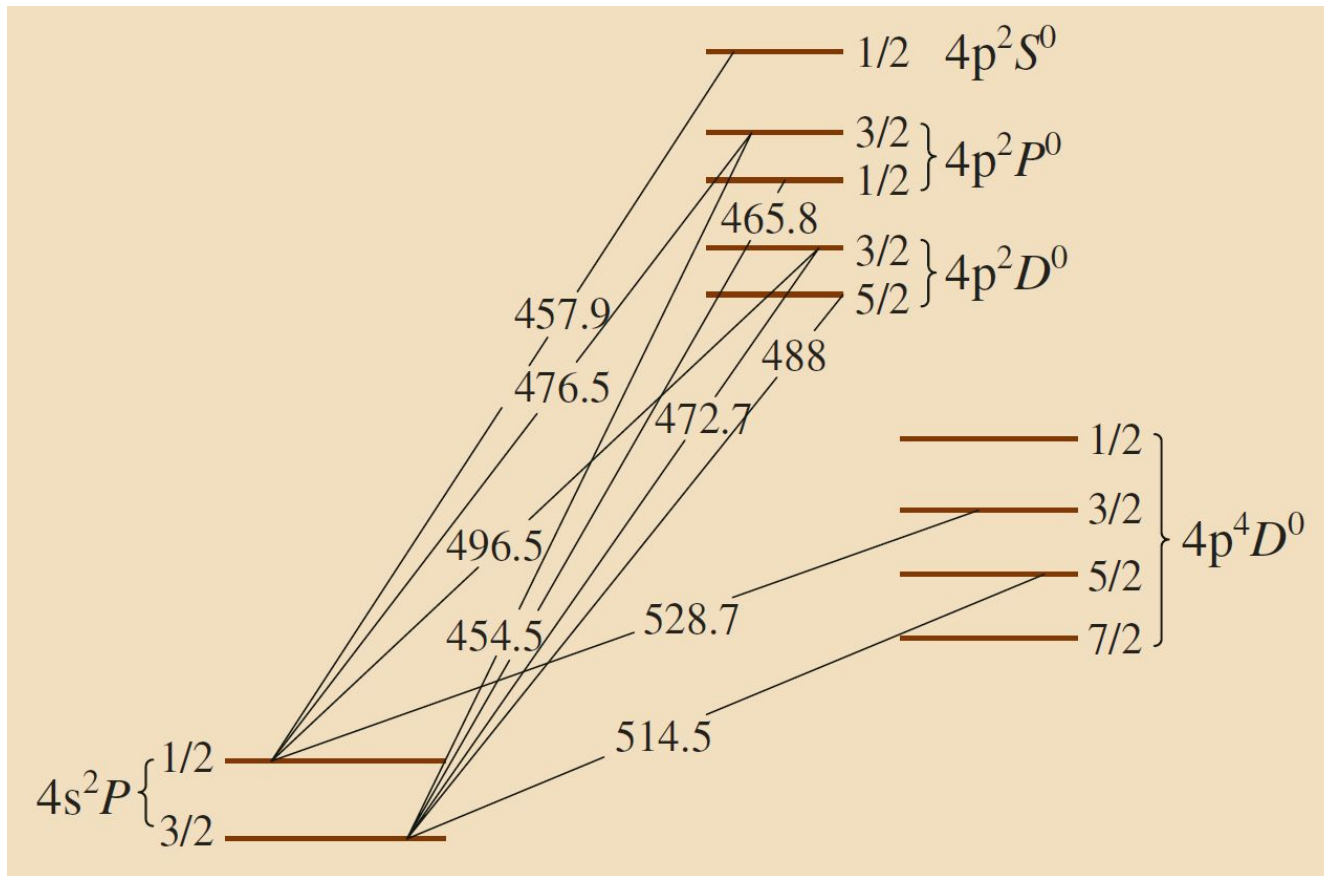
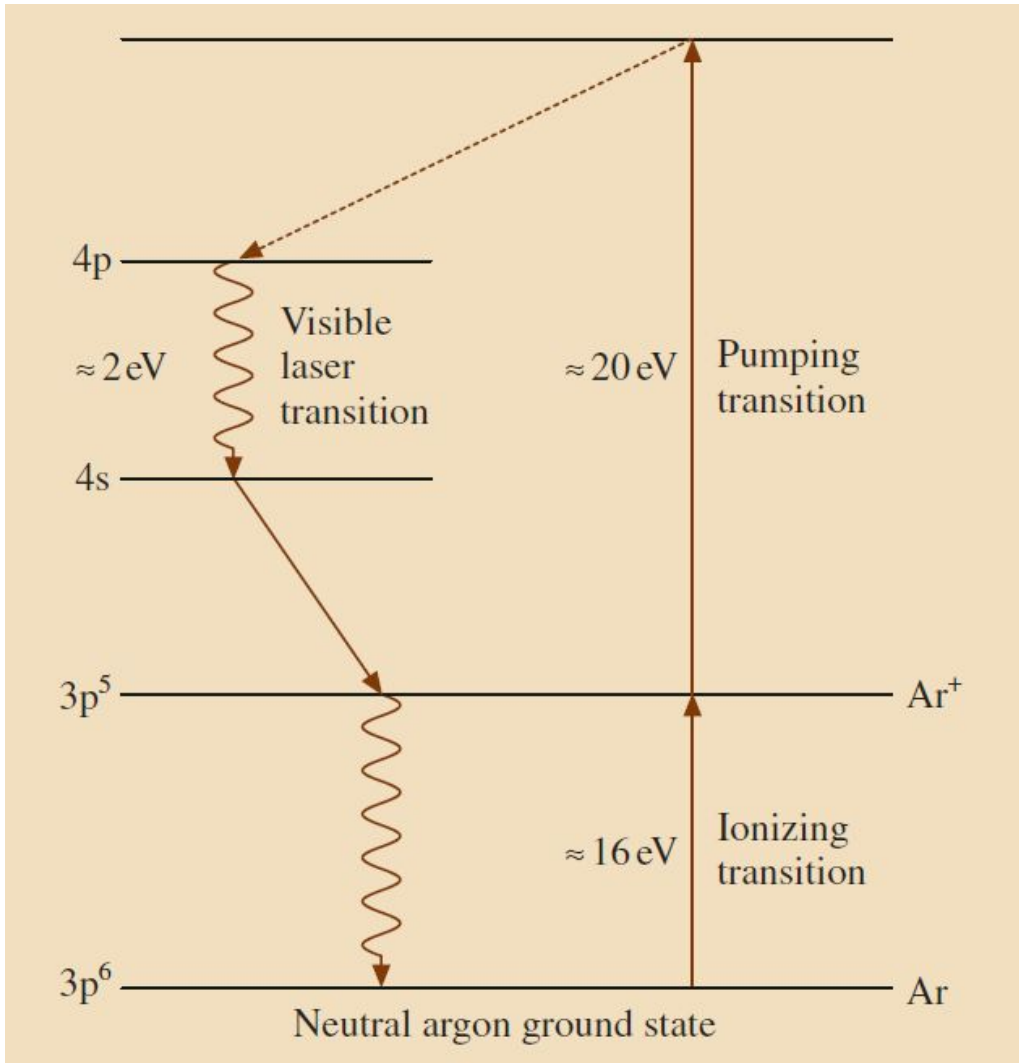


Схема уровней иона аргона



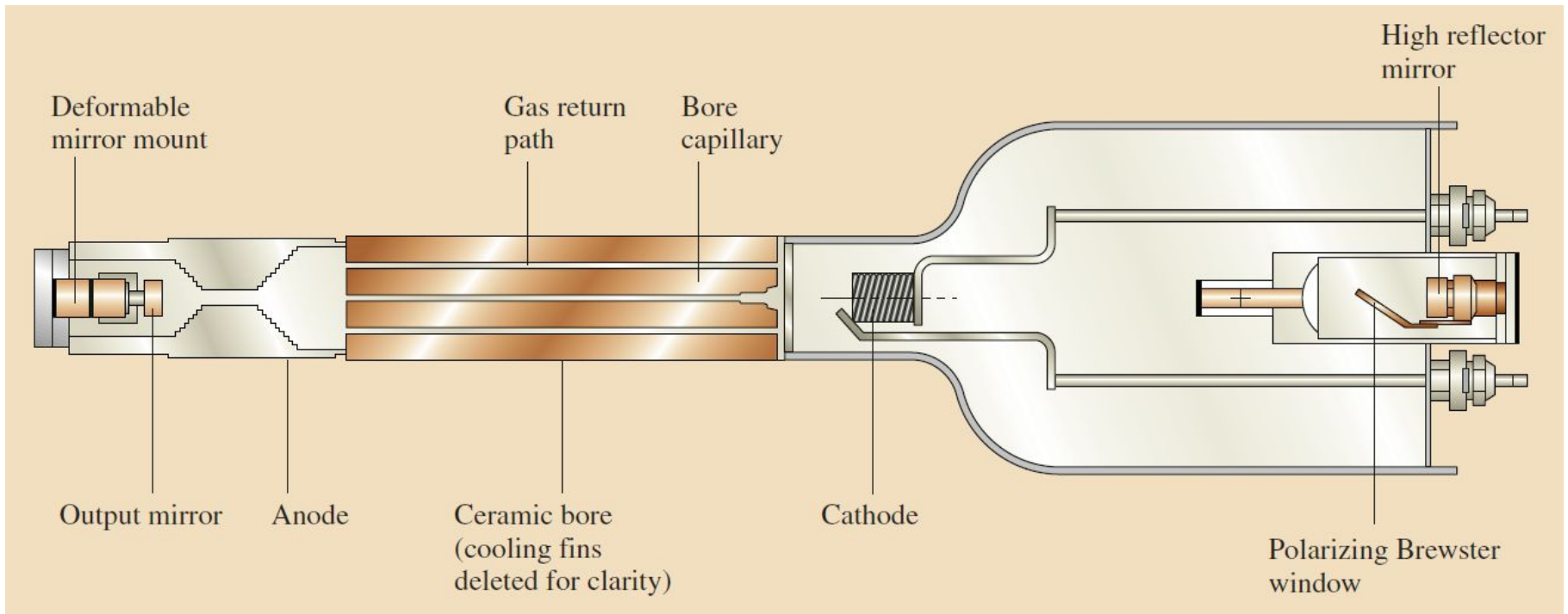
# Ионно-аргоновый лазер



Двухэтапная возбуждение  
иона аргона



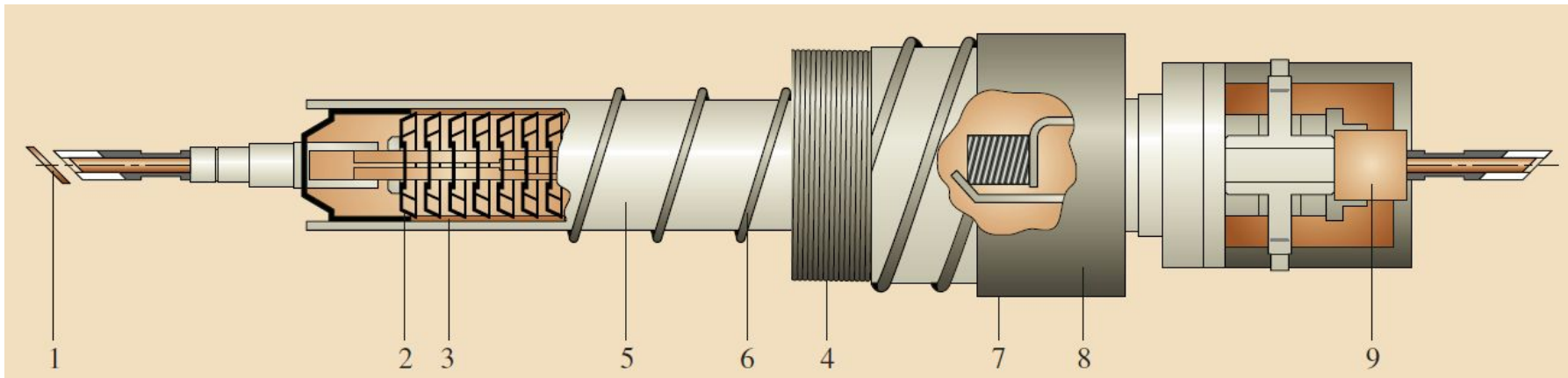
# Ионно-аргоновый лазер



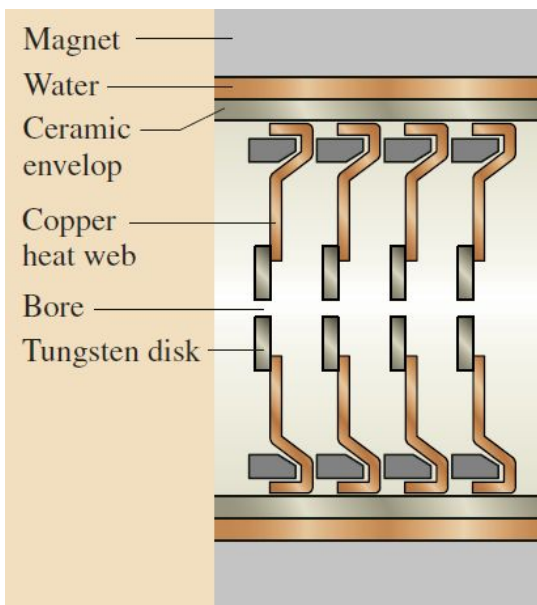
Конструкция с воздушным охлаждением



# Ионно-аргоновый лазер



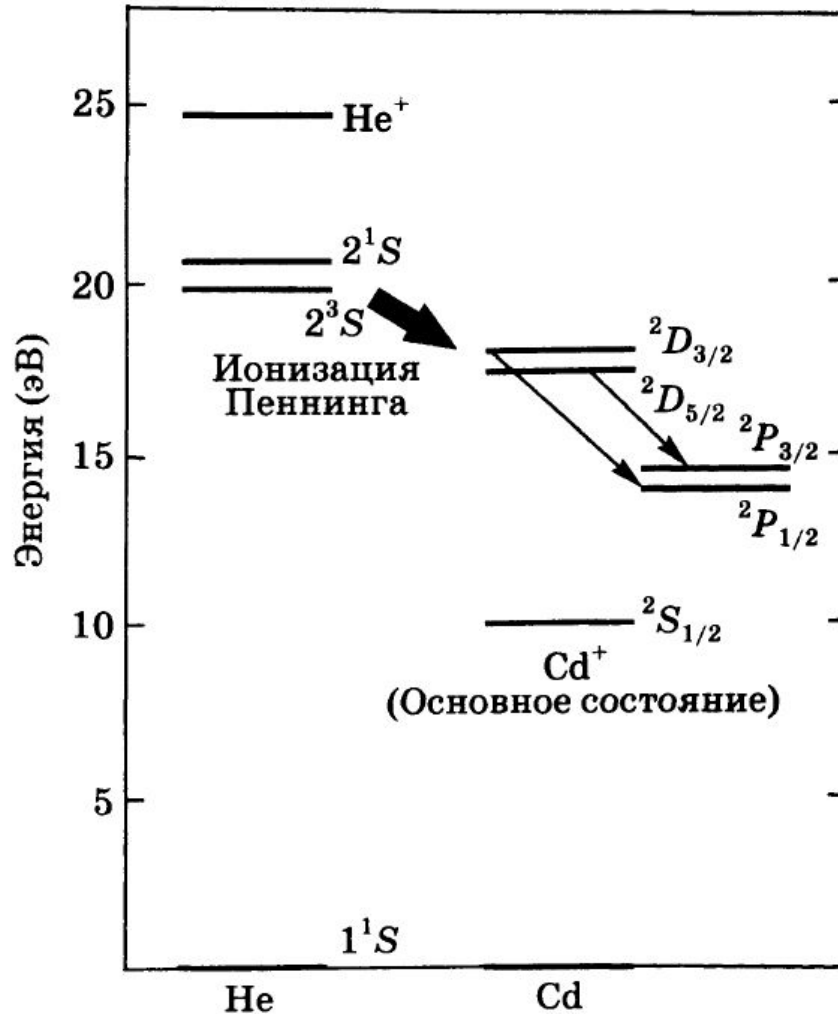
Конструкция с водяным охлаждением



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.

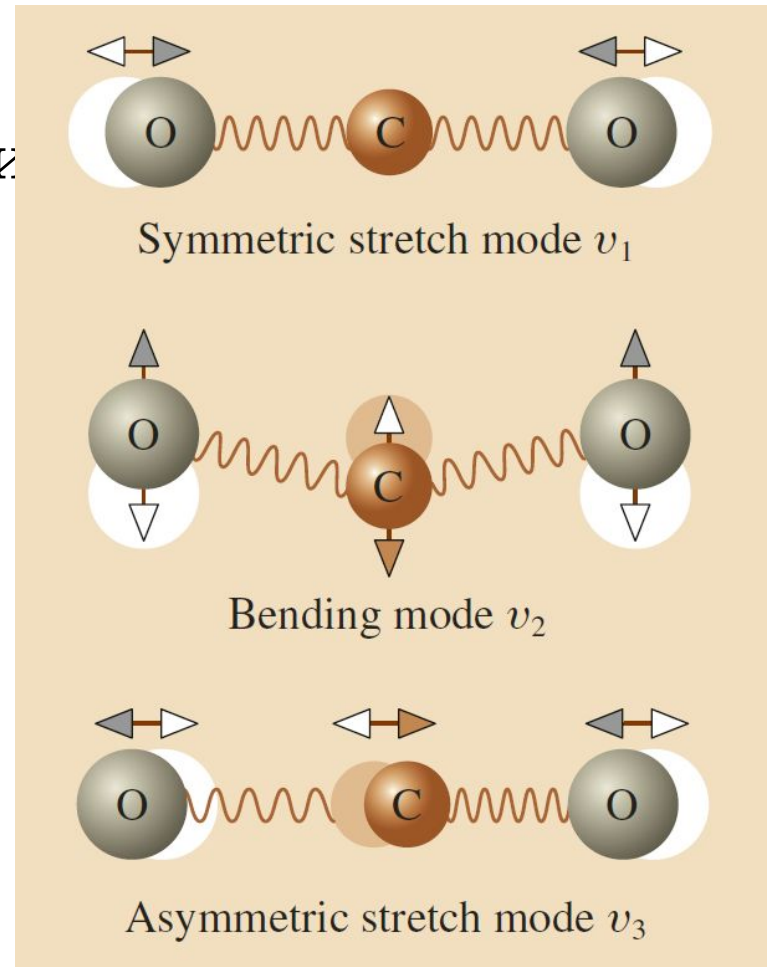


# Лазер на углекислом газе

□ Молекула  $\text{CO}_2$ :

- симметричное колебание
- антисимметричное колебание
- деформационное колебание

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

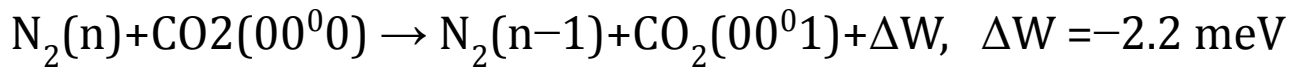
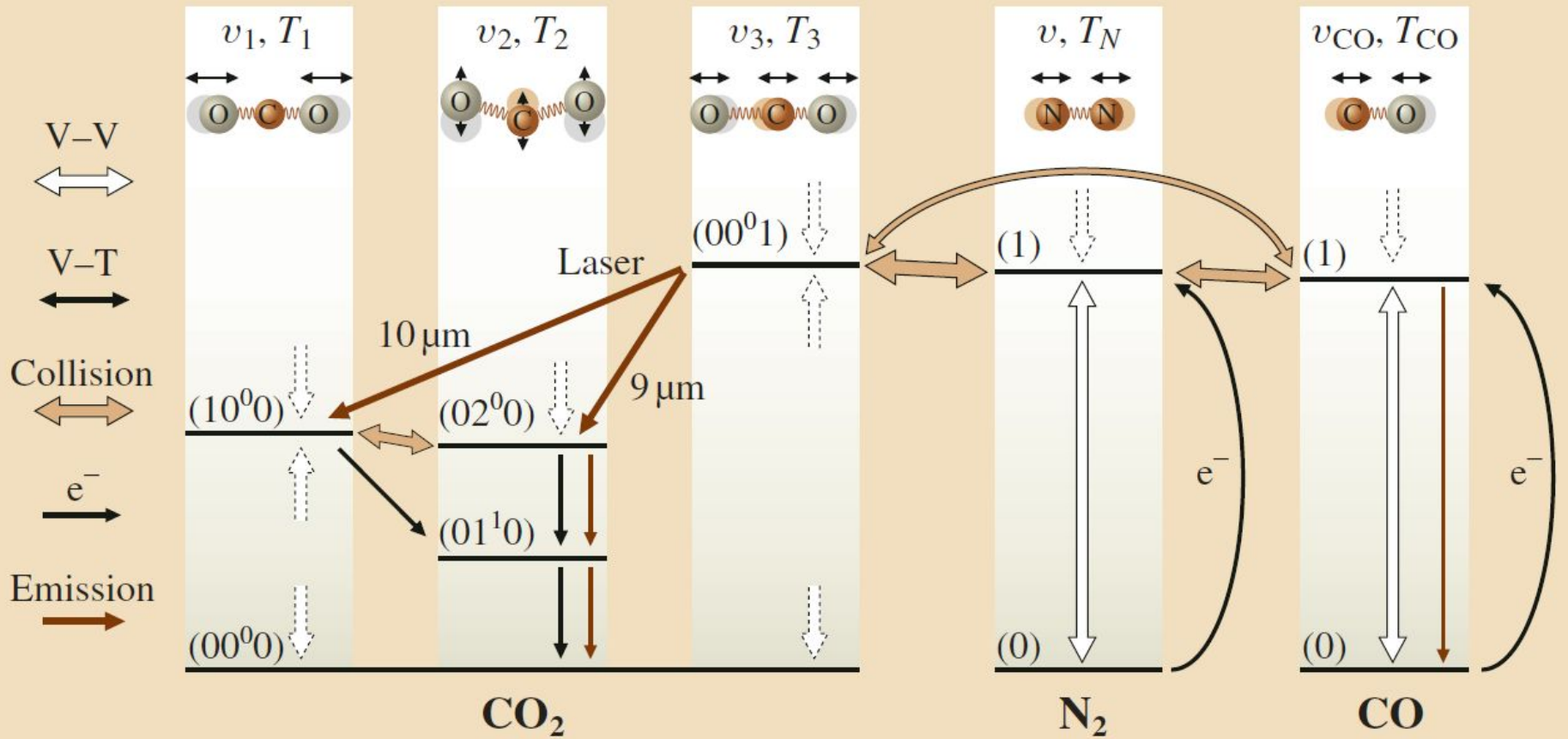


# Возможные лазерные переходы

Vibrational band	Comment
$(00^0 1) \rightarrow (10^0 0)$	Regular band, 10 $\mu\text{m}$
$(00^0 1) \rightarrow (02^0 0)$	Regular band, 9 $\mu\text{m}$
$(01^1 1) \rightarrow (11^1 0)$	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 ( $\mu\text{m}$ )	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 CO<sub>2</sub>. Газовая смесь

- CO<sub>2</sub>+e<sup>-</sup> → CO+O<sup>-</sup>, ΔW = -3.85 eV
- CO<sub>2</sub>+e<sup>-</sup> → CO+O+e<sup>-</sup>, ΔW = -5.5 eV

Типовая газовая смесь: He : N<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> = 8 : 2 : 1  
Варианты газовой смеси:

Premix name/ (Maker)	Composition							Laser type, model series
	He	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	Xe	H <sub>2</sub>	
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.**

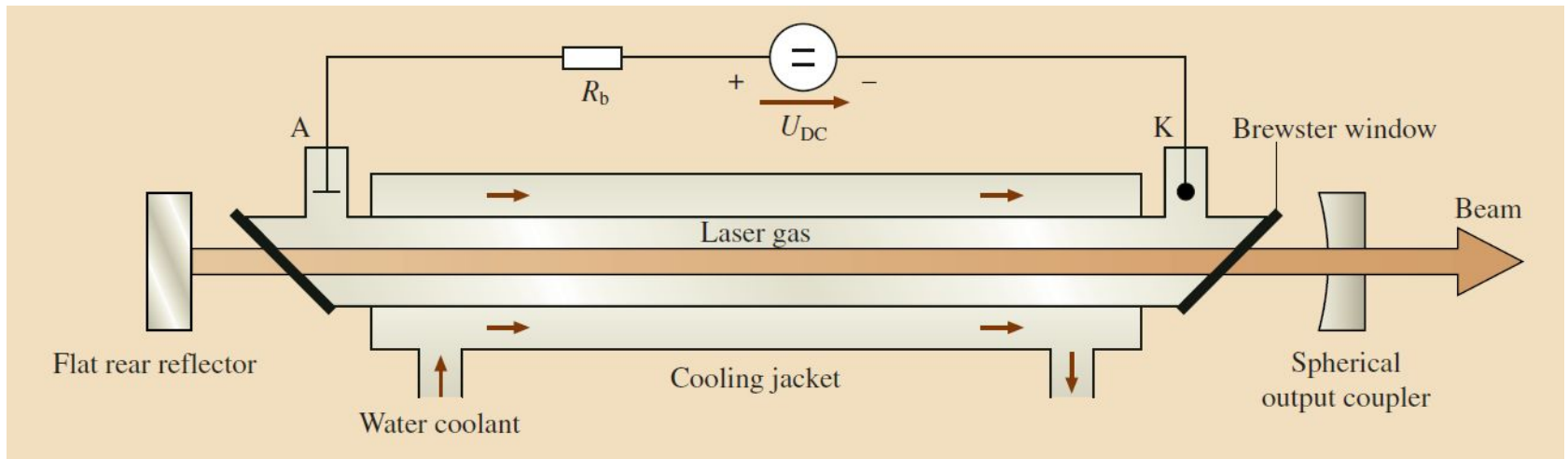
- Longitudinal DC discharge, continuous
- Transversal DC discharge at high gas pressure, pulsed
- Capacitively coupled transversal RF discharge
- Inductively coupled RF discharge
- Microwave-excited gas discharge.

## □ **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.
- 

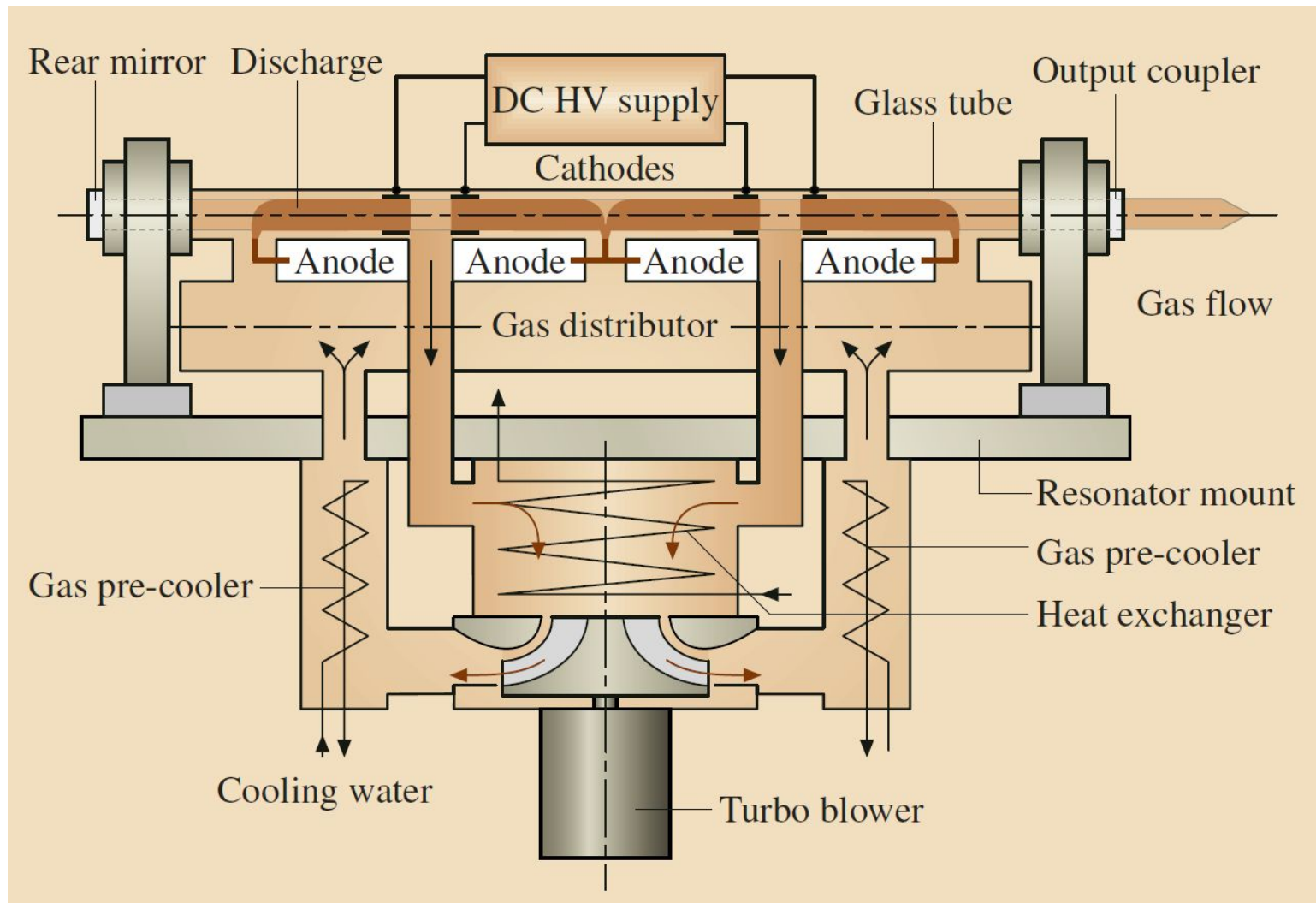


# Схема отпаянного лазера с продольной накачкой разрядом постоянного тока

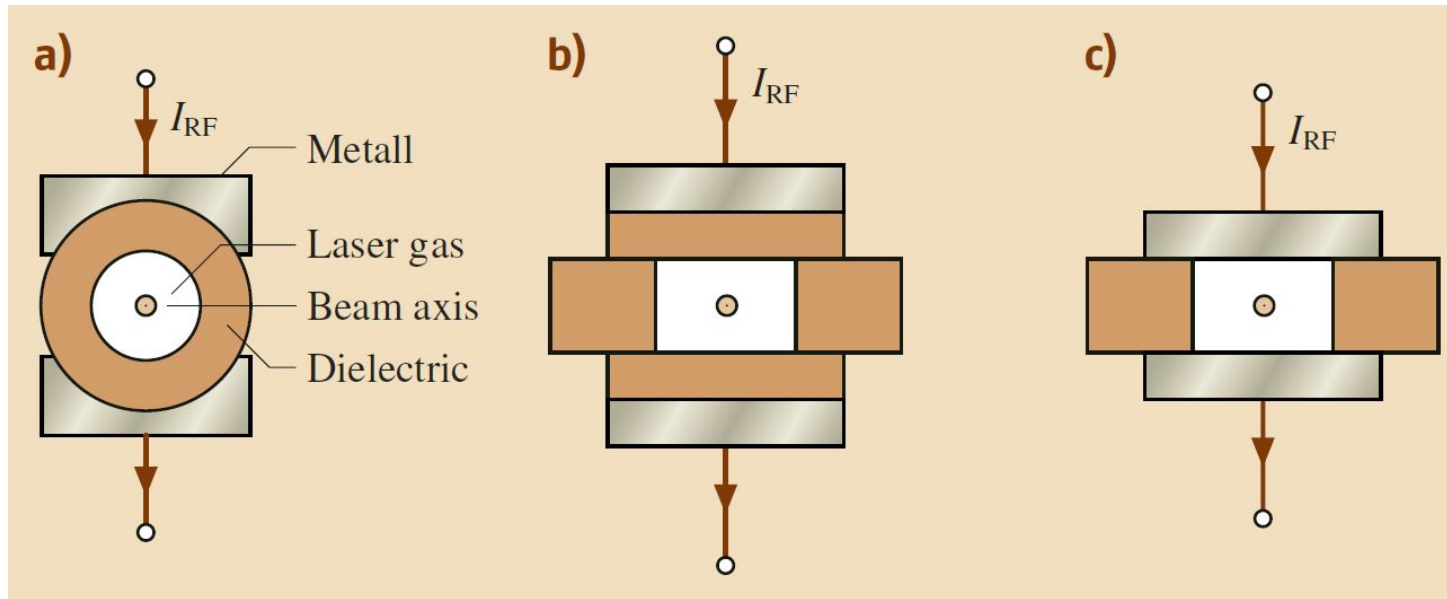




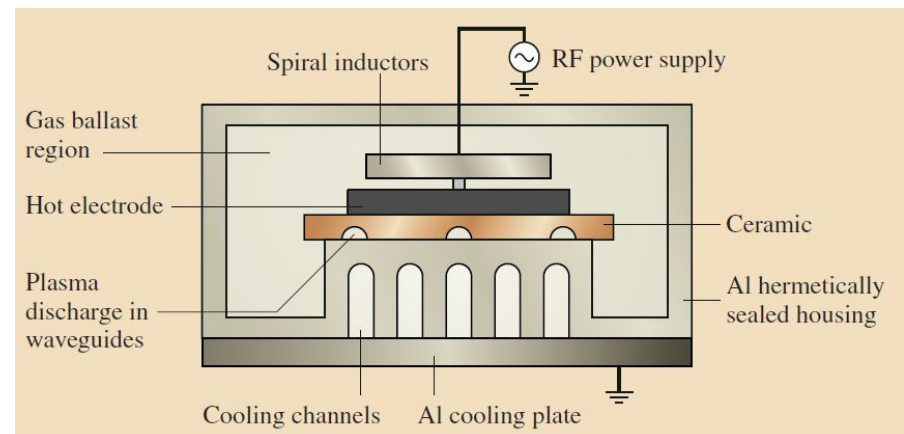
# Схема с продольной прокачкой разрядом постоянного тока



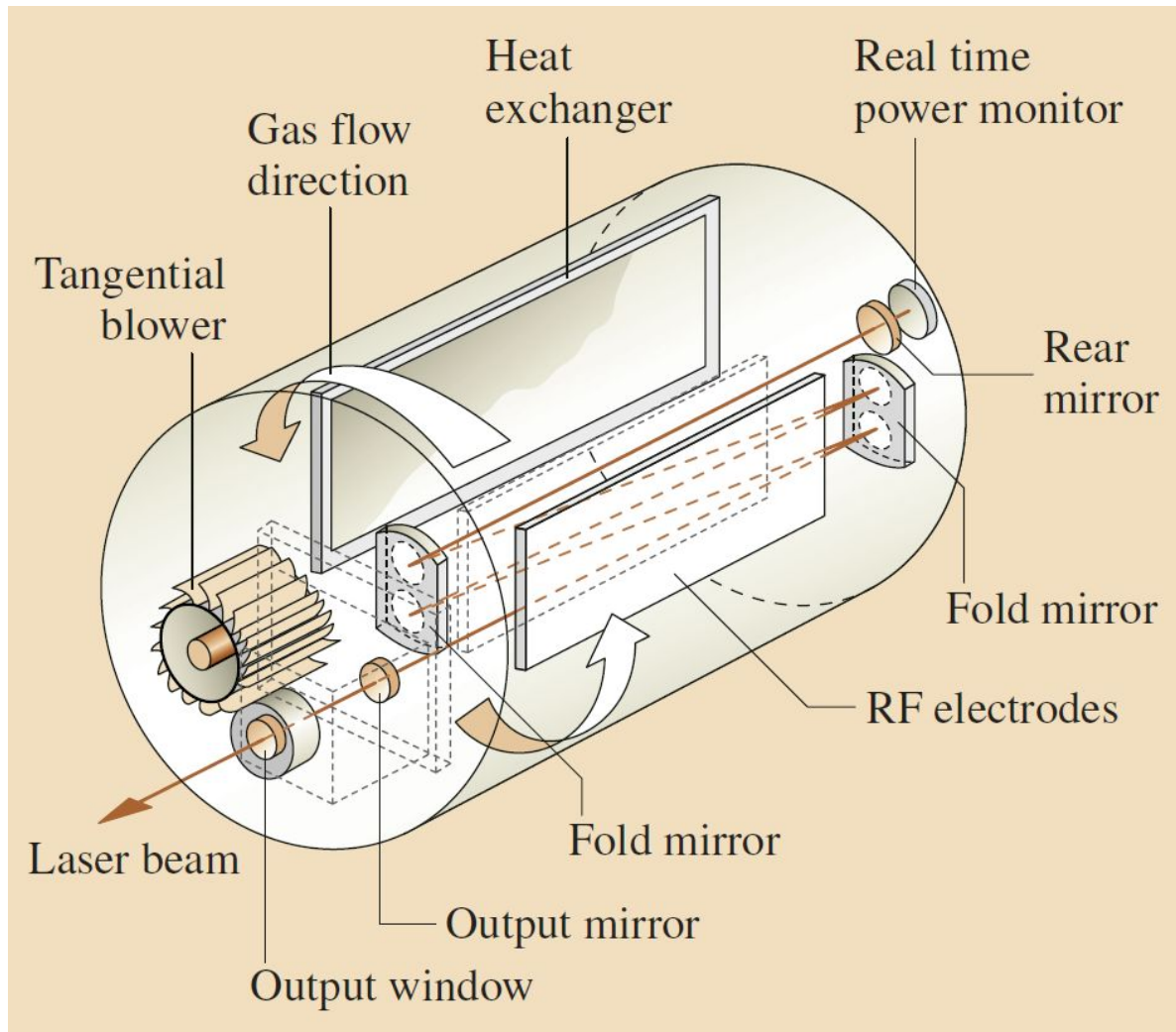
# Волноводные CO<sub>2</sub>-лазеры



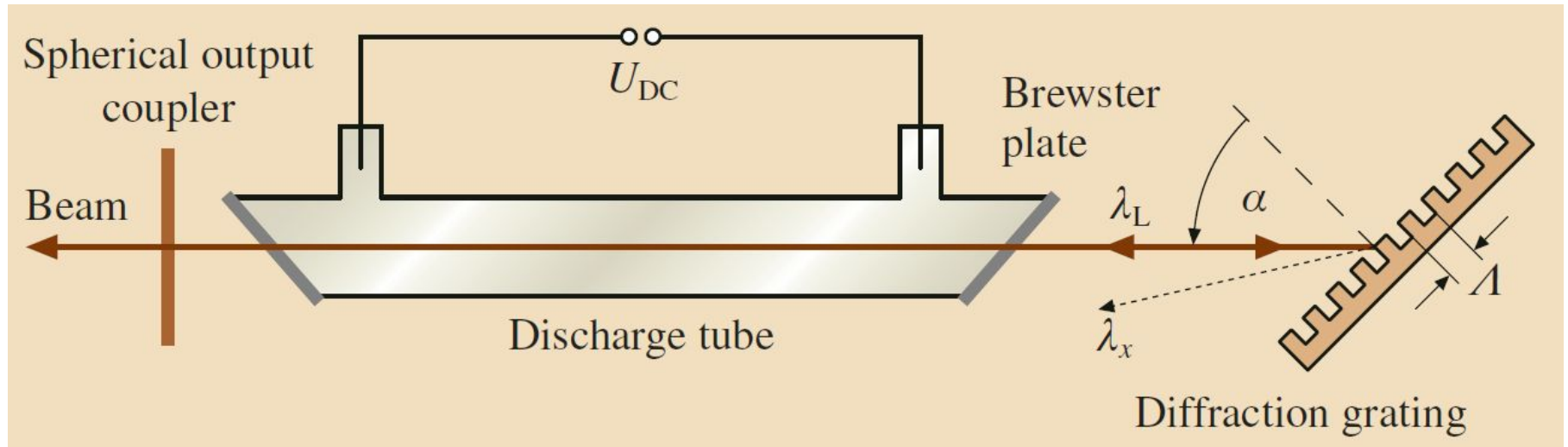
- а) цилиндрический диэлектрический волновод
- б) полностью диэлектрический прямоугольный волновод
- в) гибридный волновод металл-диэлектрик



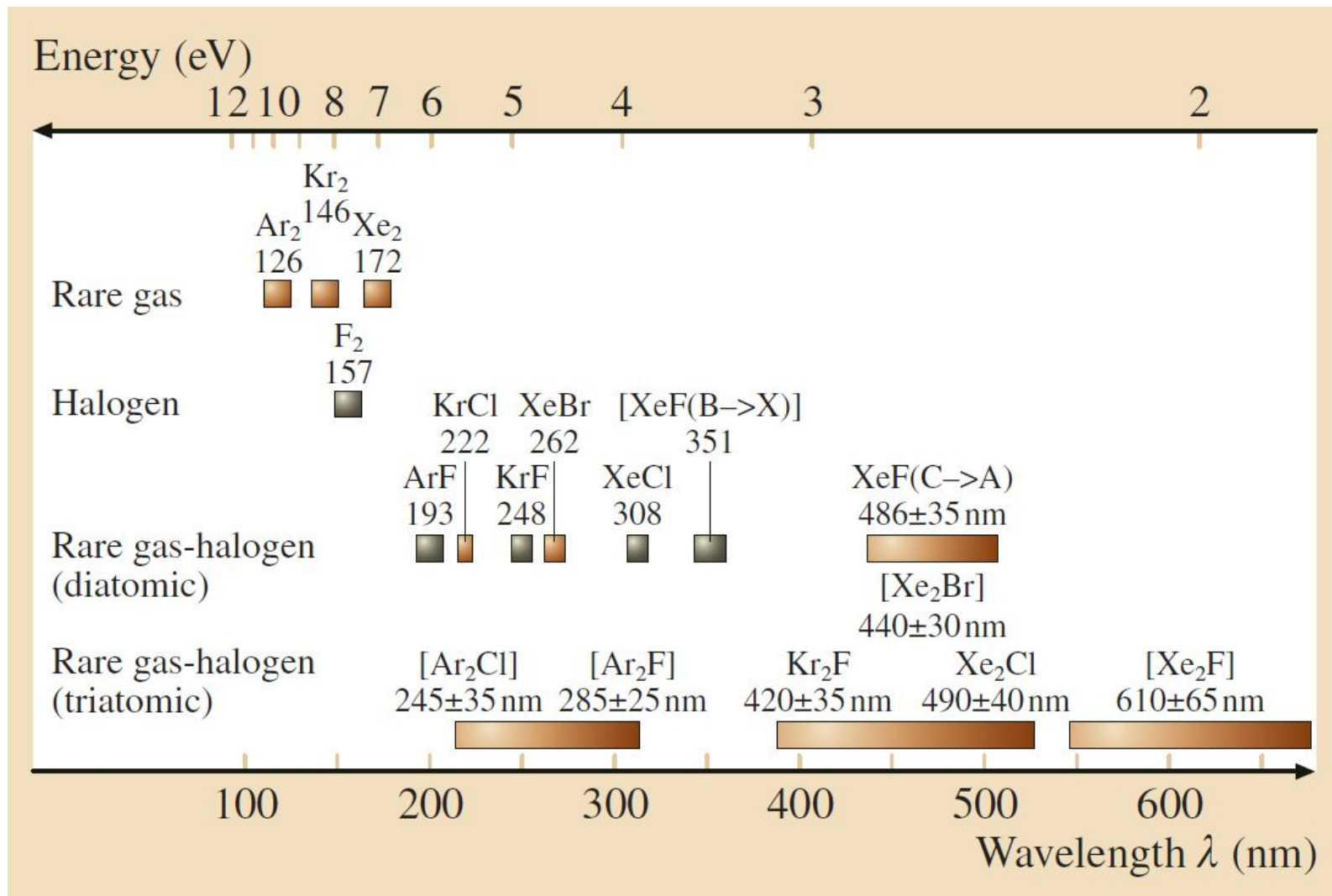




# Перестраиваемые СО2-лазеры



# Экимерные лазеры

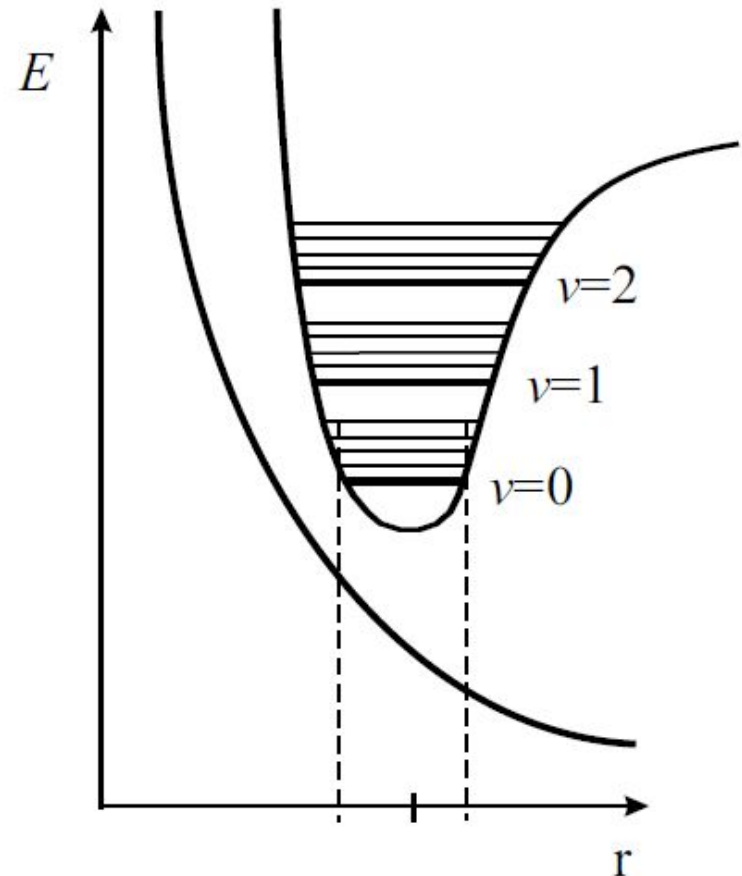


# Экимерные лазеры

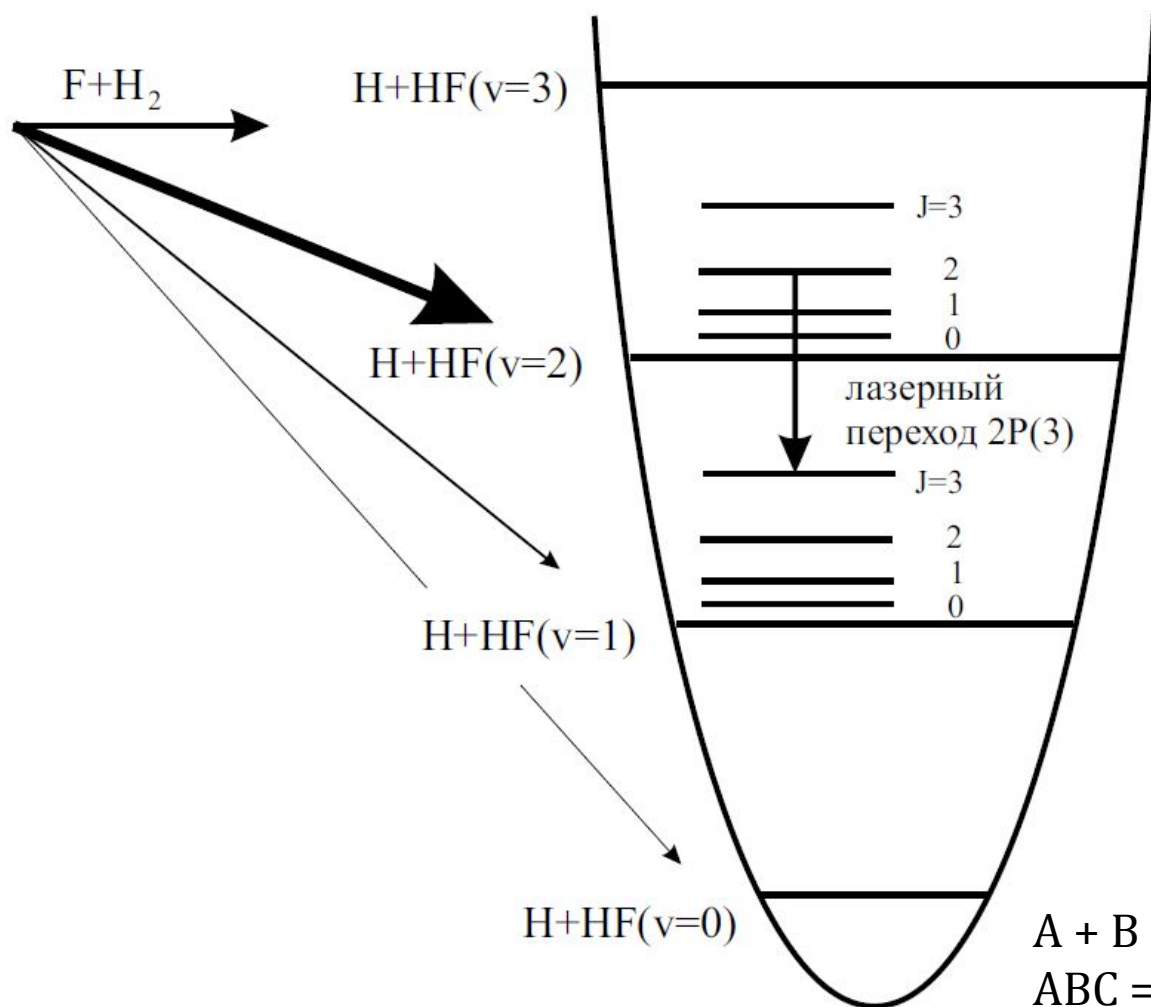
---

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