

ОСНОВЫ ФИЗИКИ

лазеров

Вопросы:

- 1. Системы энергетических уровней молекул и кристаллических твердых тел.**
- 2. Спонтанное и индуцированное излучение . Коэффициенты Эйнштейна.**
- 3. Свойства лазерного излучения. Процесс генерации.**
- 4. Типы лазеров. Применение лазеров.**

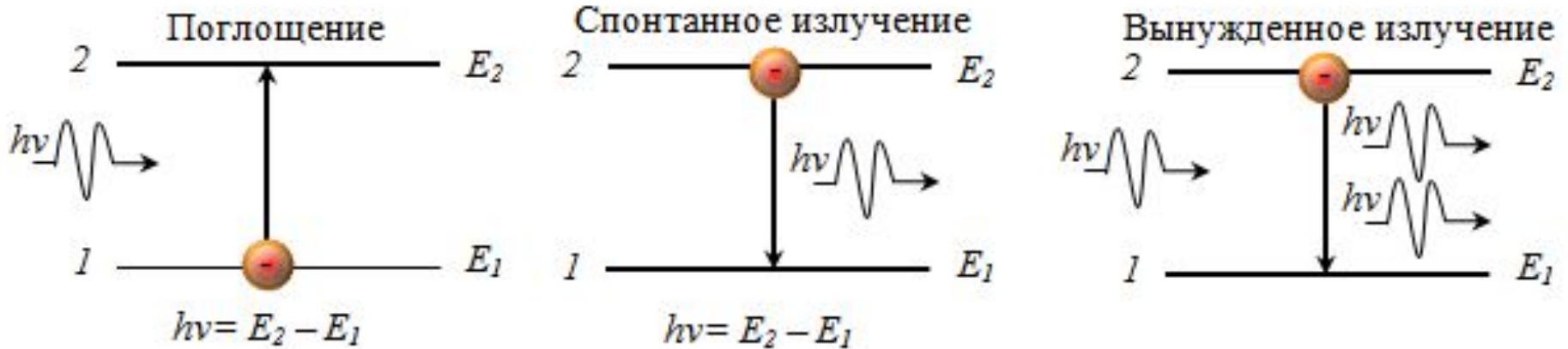
1.



Рис. 308

- Каков механизм возникновения электронно-колебательных и колебательно-вращательных спектров?
- В чем заключается явление комбинационного рассеяния света?
- Что такое стоксовы спутники? Антистоксовы спутники?

2.



Эйнштейн оценивал вклад спонтанного излучения, вынужденного излучения и влияние поглощения света на состояния равновесия между излучением и веществом. Им был сделан вывод о том, что вероятность вынужденного перехода с уровня 1 на 2-ой P_{12} равна вероятности обратного вынужденного перехода P_{21} при одинаковой интенсивности излучения. В общем виде это может быть представлено: $P_{nm} = P_{mn}$ $P_{nm} = V_{nm} \cdot U_{nm}(\omega)$; $P_{mn} = V_{mn} \cdot U_{mn}(\omega)$, где $U(\omega)$ - спектральная плотность энергии электромагнитного поля,

V_{nm} , V_{mn} – коэффициенты Эйнштейна. Следовательно: $V_{nm} = V_{mn}$. Коэффициенты Эйнштейна используются для оценки «населенности» уровней возбуждения.

3. **ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ** – это электромагнитное излучение *оптического* диапазона (светового) -

ИЗЛУЧЕНИЕ НОВОГО ТИПА.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ

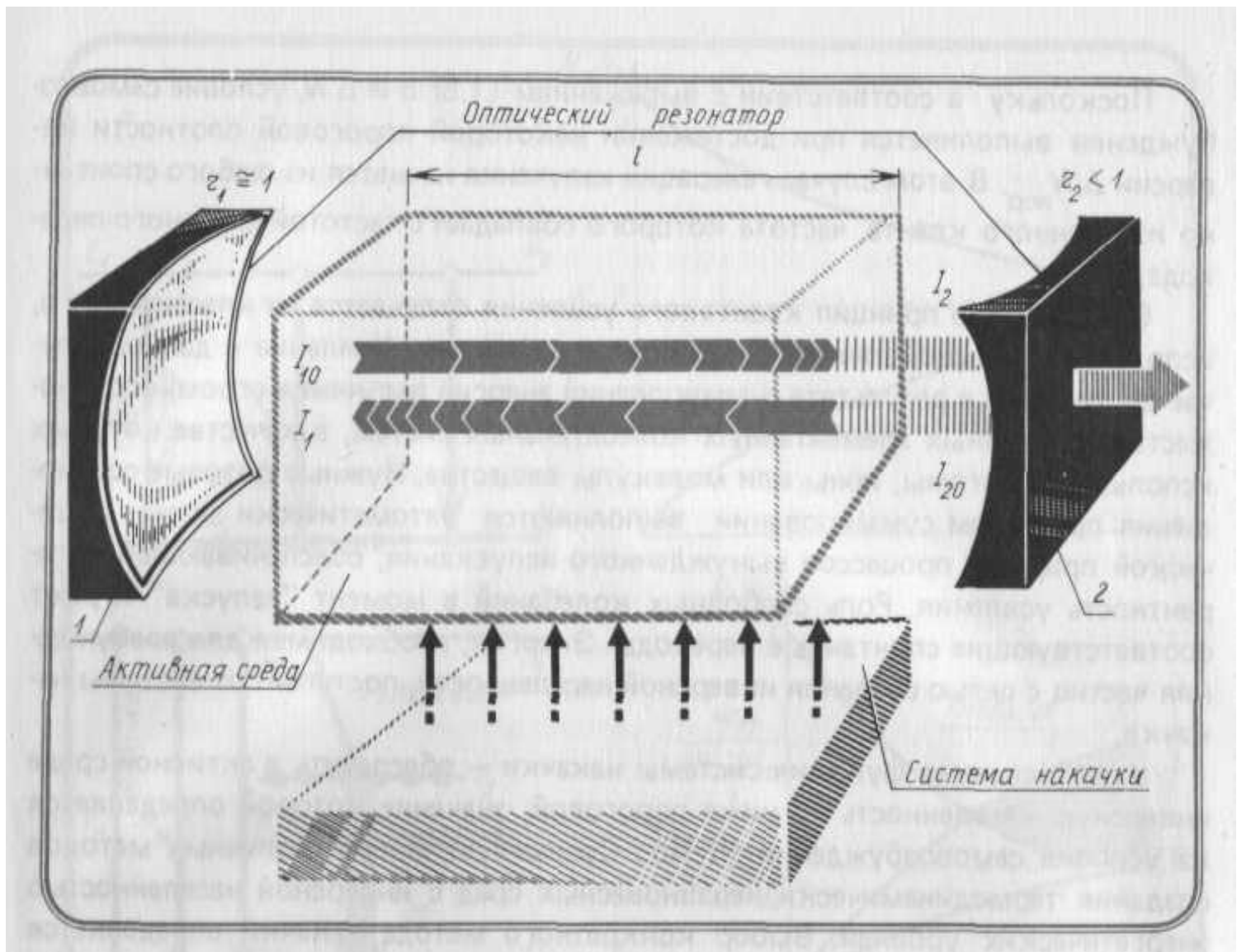
- 1) **МОНОХРОМАТИЧНОСТЬ** (одноцветность) – все электромагнитные колебания потока имеют одинаковую частоту и длину волны;
- 2) **КОГЕРЕНТНОСТЬ** (синфазность) - совпадение фаз электромагнитных колебаний;
- 3) **ПОЛЯРИЗАЦИЯ** - фиксированная ориентация векторов электромагнитного излучения в пространстве относительно направления его распространения;
- 4) **НАПРАВЛЕННОСТЬ** - малая расходимость потока излучения;
- 5) **МОЩНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ** – высокая мощность.

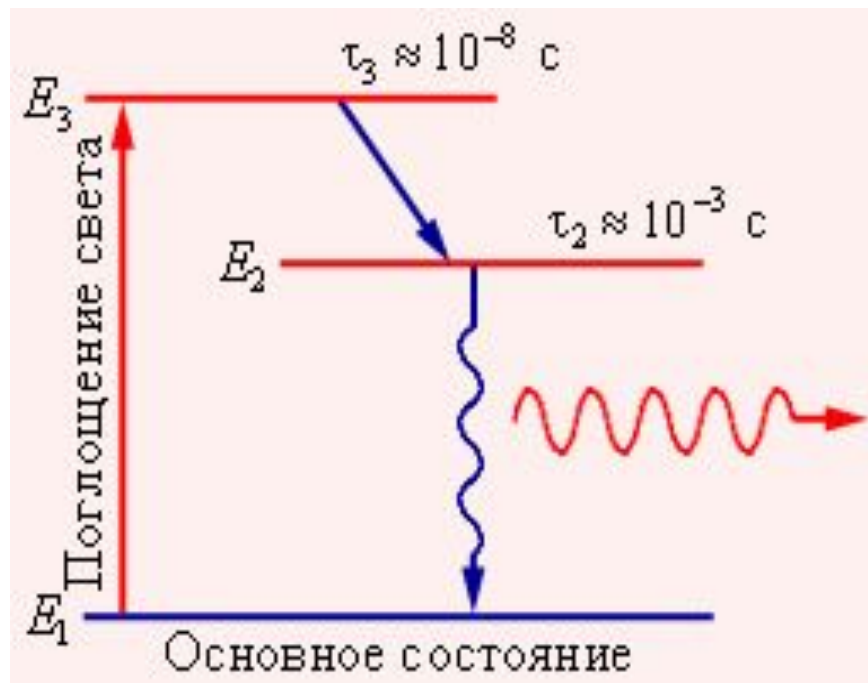
ЛАЗЕР – это прибор, который **испускает** направленный пучок когерентного, поляризованного, монохроматического электромагнитного

ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

необходимо:

1. **АКТИВНАЯ СРЕДА** , в которой создается ***ИНВЕРСНАЯ НАСЕЛЕННОСТЬ*** энергетических уровней возбуждения. Инверсная населенность достигается, главным образом, по **трех** **уровневой** схеме, либо по **четырёх** **уровневой** схеме
2. **УСТРОЙСТВО** для создания инверсной населенности - **(система накачки)**.
3. **УСТРОЙСТВО** для обеспечения положительной обратной связи - **(оптический резонатор)**





Трехуровневая схема оптической накачки.

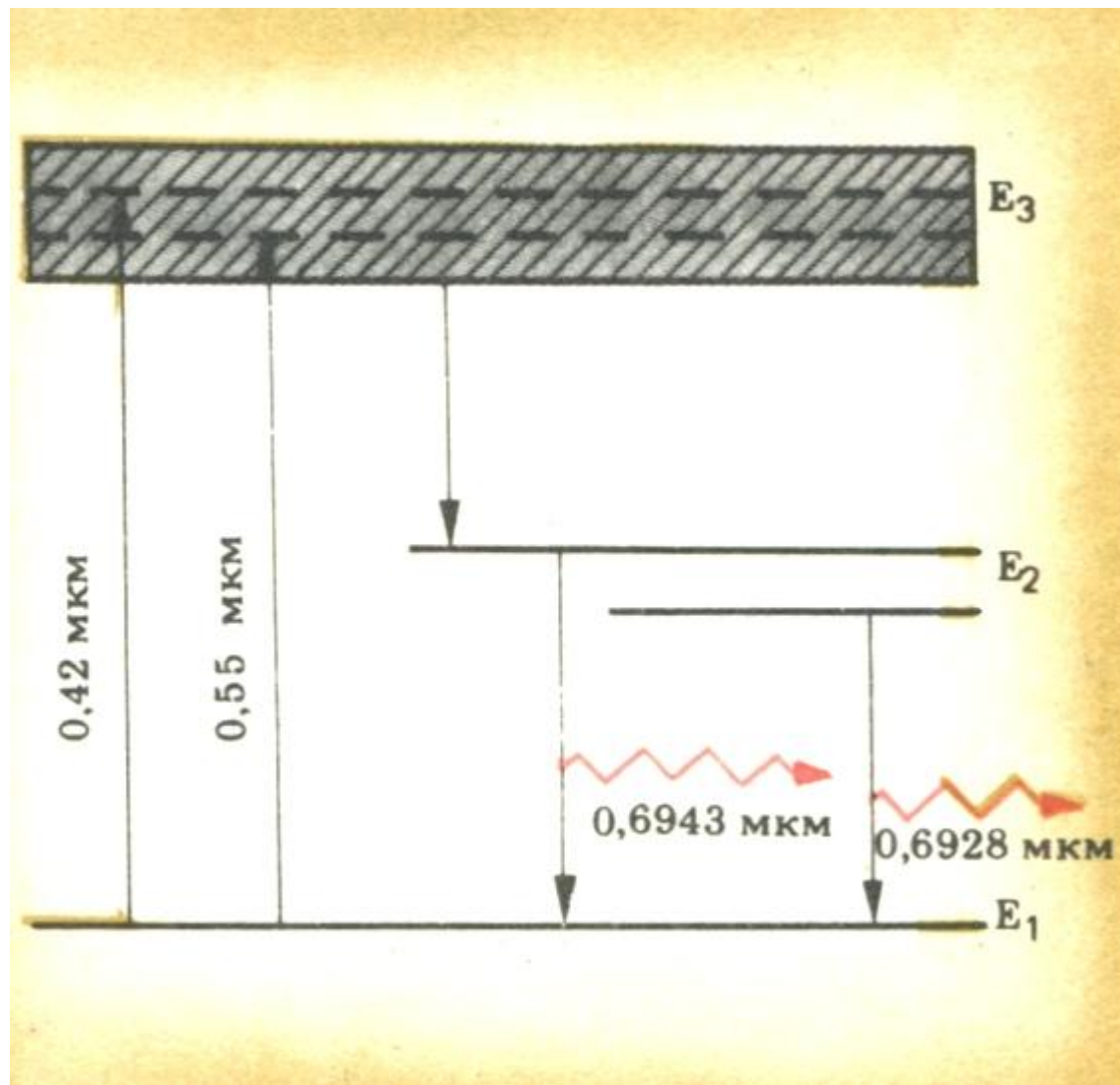
Указаны «**ВРЕМЕНА ЖИЗНИ**» уровней E_2 и E_3 .

Уровень E_2 – метастабильный.

Переход между уровнями E_3 и E_2 безызлучательный.

Лазерный переход осуществляется между уровнями E_2 и E_1 .

В кристалле **рубина** уровни E_1 , E_2 и E_3 принадлежат **примесным атомам хрома**



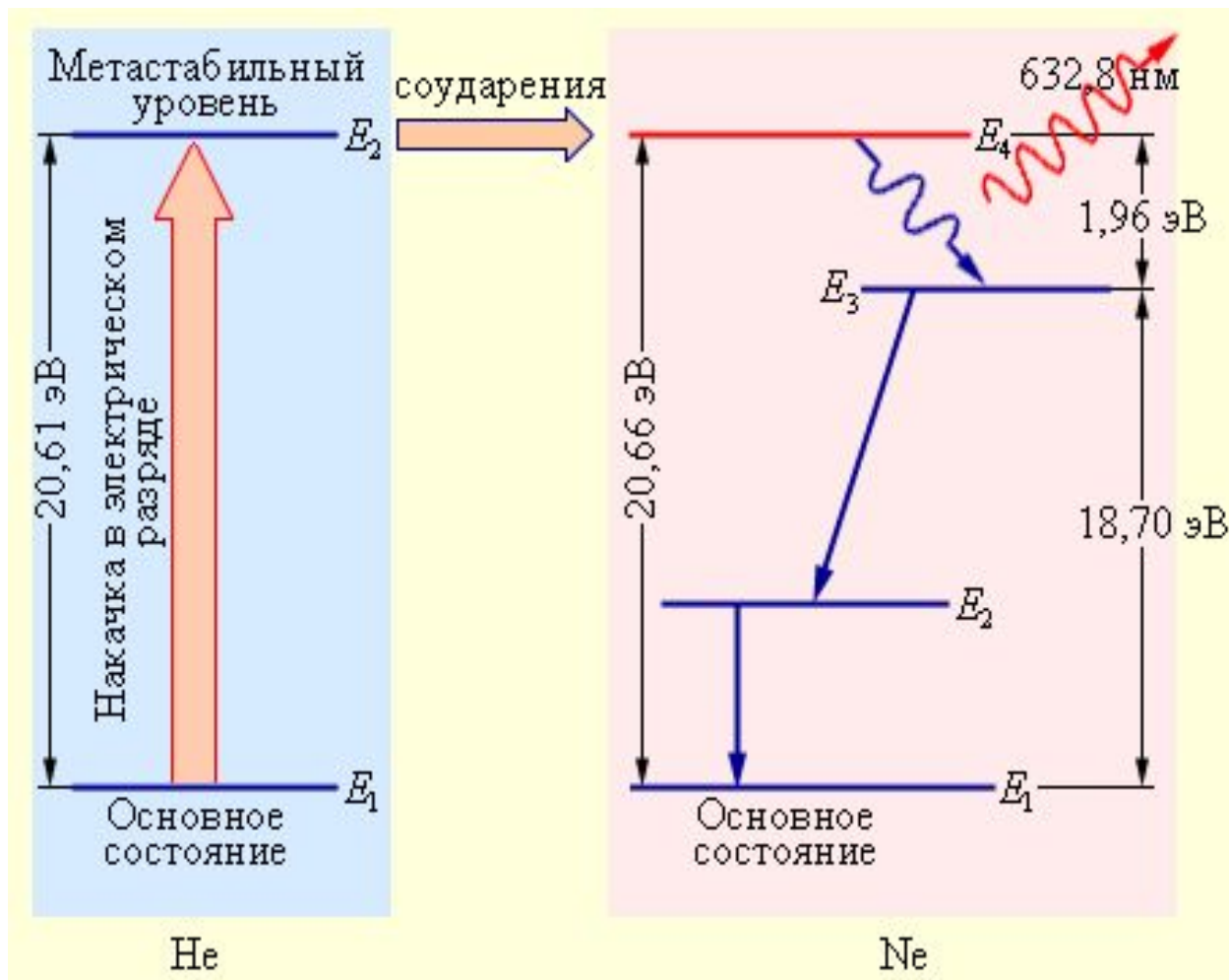
Энергетические уровни хрома в рубине

Рубин - красная разновидность корунда Al_2O_3 . Часть ионов алюминия в нем замещена ионами хрома Cr^{3+} , они-то и окрашивают корунд в красные тона



В осветительной камере **твердотельного лазера** размещаются **1)лампа накачки** и **2)активное тело**, представляющее собой стержень из рубина, неодимового стекла (Nd-Glass) или алюмо-иттриевого граната, легированного иттербием (Yb-YAG) либо неодимом (Nd-YAG). Лампа накачки создает мощные световые вспышки для возбуждения атомов активного тела.

По торцам стержня расположены **3)зеркала – частично прозрачное (полупрозрачное) и отражающее**. Лазерный луч усиливается в результате многократных отражений внутри активного тела и выходит через частично прозрачное зеркало. Серийные твердотельные лазеры имеют сравнительно небольшую мощность, как правило, не превышающую 1–6 кВт. Длина волны – около 1 мкм (рубинового лазера – около **694 нм**). Режим излучения может быть как непрерывным, так и импульсным.



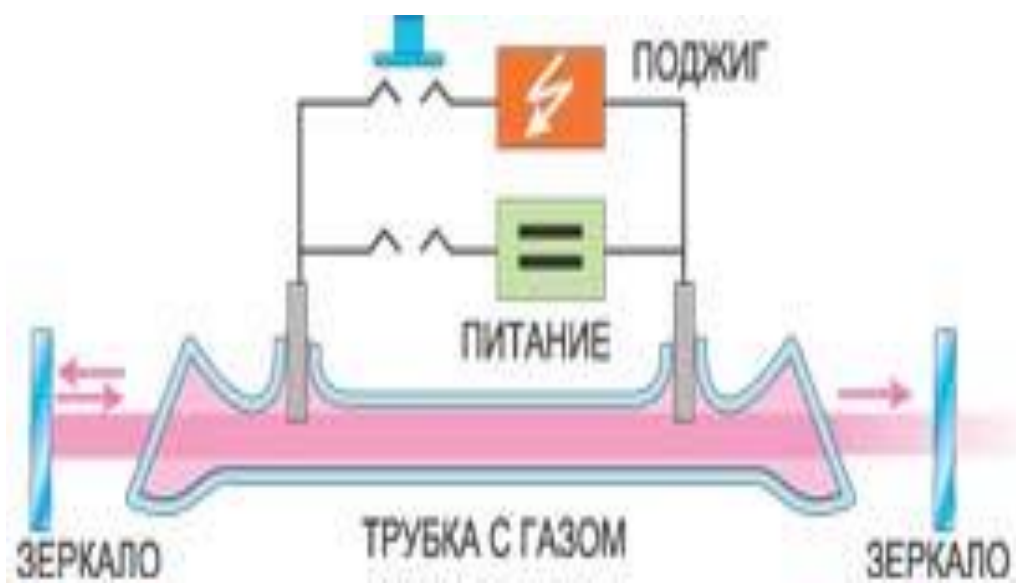
МЕХАНИЗМ НАКАЧКИ не-Ne лазера.

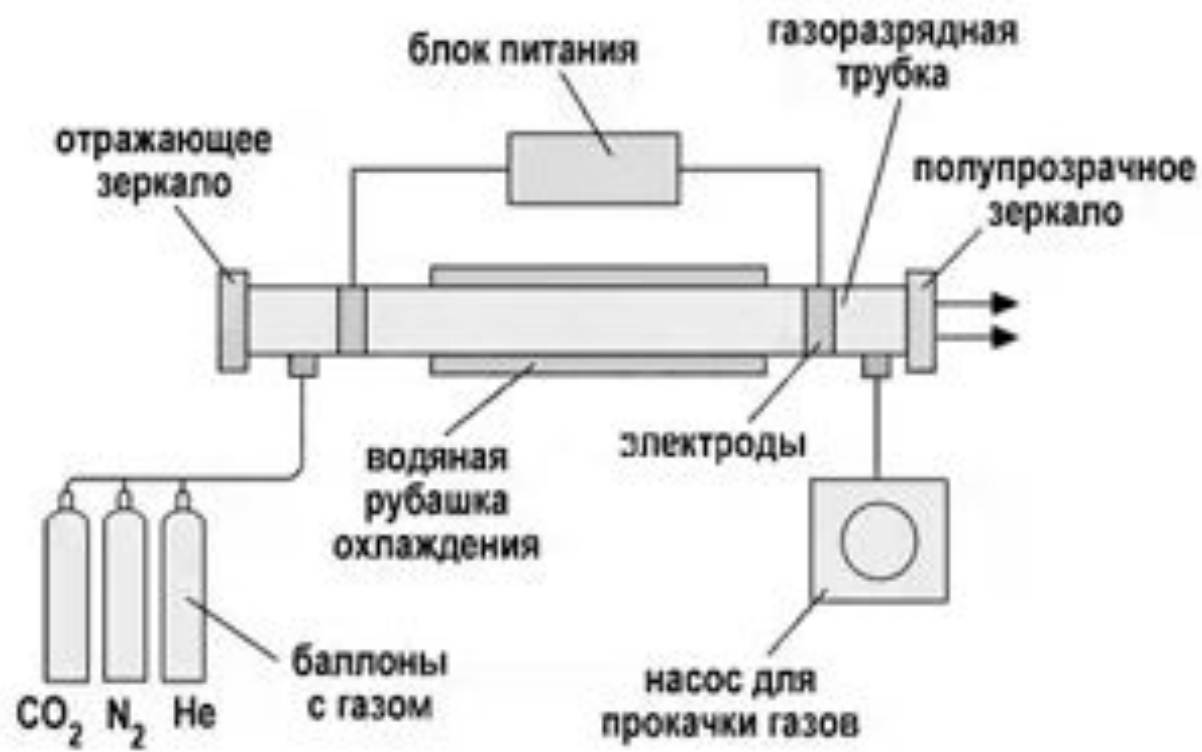
Прямыми стрелками изображены спонтанные переходы в атомах неона

Одним из самых распространенных в настоящее время является газовый лазер на смеси гелия и неона. Общее давление в смеси составляет порядка 10^2 Па при соотношении компонент He и Ne примерно 10 : 1. Активным газом, на котором в непрерывном режиме возникает генерация на длине волны 632,8 нм (ярко-красный свет), является неон. Гелий – буферный газ, он участвует в механизме создания инверсной населенности одного из верхних уровней неона. Излучение He–Ne лазера обладает исключительной, непревзойденной монохроматичностью. Расчеты показывают, что спектральная ширина линии генерации He–Ne лазера составляет примерно $\Delta\nu \approx 5 \cdot 10^{-4}$ Гц. Это фантастически малая величина. [Время когерентности](#) такого излучения оказывается порядка $\tau \approx 1 / \Delta\nu \approx 2 \cdot 10^3$ с, а длина когерентности $ct \approx 6 \cdot 10^{11}$ м, т. е. больше диаметра земной орбиты!

На практике многие технические причины мешают реализовать столь узкую спектральную линию He–Ne лазера. Путем тщательной стабилизации всех параметров лазерной установки удастся достичь относительной ширины $\Delta\nu / \nu$ порядка 10^{-14} – 10^{-15} , что примерно на 3–4 порядка хуже теоретического предела. Но и реально достигнутая монохроматичность излучения He–Ne лазера делает этот прибор совершенно незаменимым при решении многих научных и технических задач. Первый гелий-неоновый лазер был создан в 1961 году. На рис. представлена упрощенная схема уровней гелия и неона и механизм создания инверсной населенности лазерного перехода.

Накачка лазерного перехода $E_4 \rightarrow E_3$ в неоне осуществляется следующим образом. В высоковольтном электрическом разряде вследствие соударений с электронами значительная часть атомов гелия переходит в верхнее метастабильное состояния E_2 . Возбужденные атомы гелия неупруго сталкиваются с атомами неона, находящимися в основном состоянии, и передают им свою энергию. Уровень E_4 неона расположен на 0,05 эВ выше метастабильного уровня E_2 гелия. Недостаток энергии компенсируется за счет кинетической энергии соударяющихся атомов. На уровне E_4 неона возникает инверсная населенность по отношению к уровню E_3 , который сильно обедняется за счет спонтанных переходов на ниже расположенные уровни. При достаточно высоком уровне накачки в смеси гелия и неона начинается лавинообразный процесс размножения идентичных когерентных фотонов. Если кювета со смесью газов помещена между высокоотражающими зеркалами, то возникает лазерная генерация.





Типы лазеров

1. Лазеры на красителях
2. Полупроводниковые лазеры
3. Химические лазеры
4. Газодинамические лазеры
5. И другие.

Применение

1. Наука, техника, медицина, биотехнологии и др..
2. Обработка и запись информации.
3. Оптическая связь.
4. Измерительные системы.
5. Поверхностная обработка материалов .
6. И др.

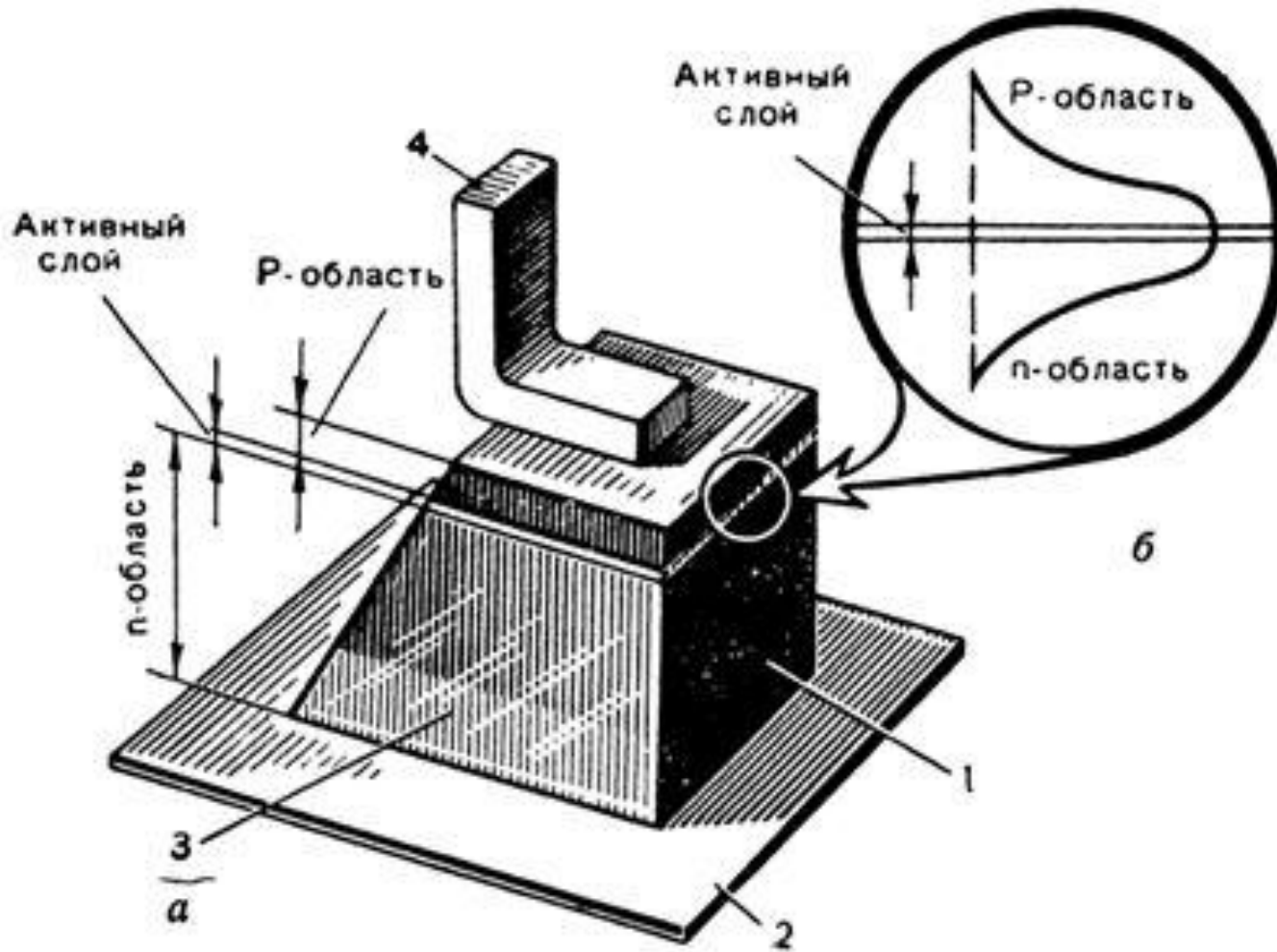


СХЕМА ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА с p-n ПЕРЕХОДОМ

а — конструкция; б — поперечное распределение интенсивности излучения по активной зоне; 1 — шероховатая поверхность; 2 — оправка; 3 — полированная поверхность; 4 — электрод