

ЛЕКЦИЯ № 9 : «ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ»

1. Вынужденное излучение. Инверсная заселенность уровней
2. Устройство и принцип работы рубинового лазера
3. Устройство и принцип работы гелий-неонового лазера
4. Свойства лазерного излучения
5. Применение лазеров в медицине

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика. М., «Дрофа», 2008, § 24.8.
2. Ремизов А.Н., Потапенко А.Я. Курс физики. М., «Дрофа», 2004, § 29.1.
3. Физика и биофизика (под ред. Антонова В.Ф.). М., «ГЭОТАР-Медиа», 2008, §9.2.

1. *Вынужденное излучение. Инверсная заселенность уровней*

Вынужденным (индуцированным, стимулированным) излучением называется излучение возбужденных атомов (молекул, ионов) вещества, вызванное действием на вещество падающего на него света. Атом, находящийся в возбужденном энергетическом состоянии, может перейти в низшее (обычно нормальное, основное) энергетическое состояние под действием электромагнитного поля. Электромагнитное поле как бы **«сваливает»** атом *с возбужденного*

Новый фотон, появившийся в результате того, что атом (молекула, ион) вещества переходит с верхнего уровня E_2 на нижний уровень E_1 под действием света, ***ничем не отличается от фотона, вызвавшего его появление.***

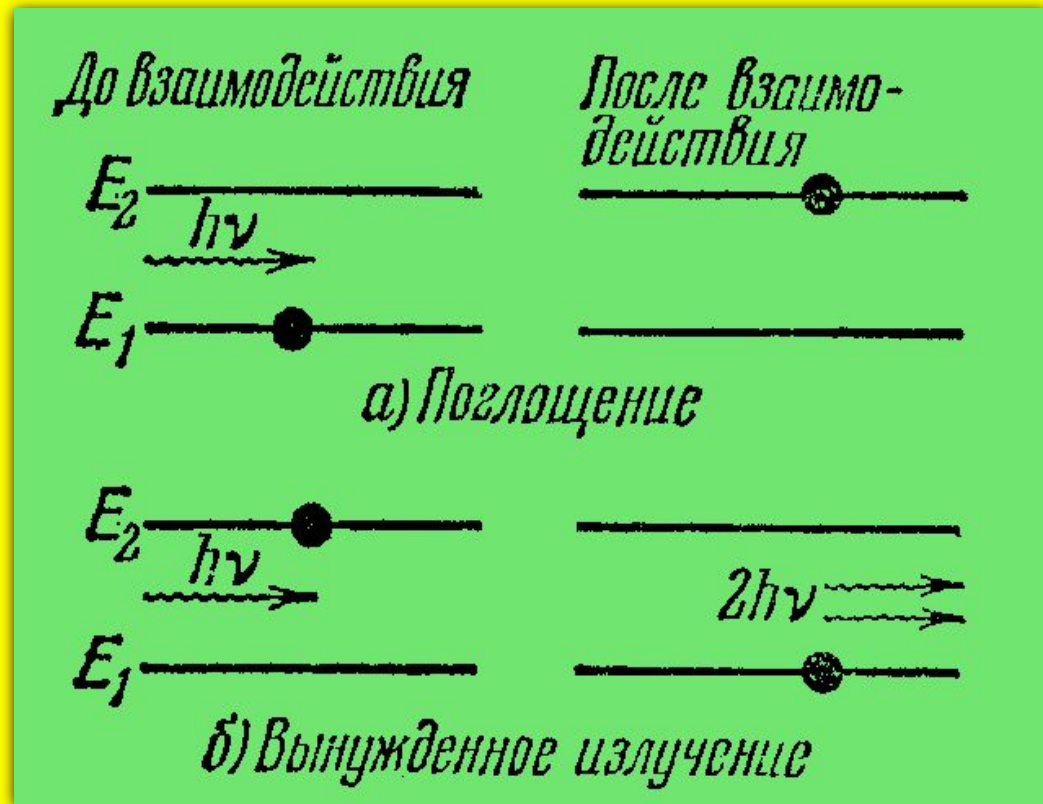
С точки зрения волновой оптики явление вынужденного излучения сводится к увеличению интенсивности электромагнитной волны, проходящей через вещество. При этом частота волны, направление ее распространения, фаза и поляризация волны остаются неизменными. ***Вынужденное излучение строго когерентно с вызвавшим его проходящим светом.***

Новый фотон, появившийся в результате индуцированного излучения, усиливает свет, проходящий через среду. Одновременно с

Фотон может быть поглощен атомом, находящимся на нижнем уровне E_1 . При этом фотон исчезает и атом переходит на возбужденный уровень E_2 .

Поглощение фотонов уменьшает интенсивность света, проходящего через среду. На рис.1 схематически представлены два конкурирующих друг с другом процесса: **поглощения** и **вынужденного излучения**.

Рис.1



Первый процесс уменьшает, а второй процесс увеличивает число фотонов, проходящих через среду. Если процессы вынужденного излучения преобладают над процессами поглощения света, то среда называется **усиливающей (активная среда)**. В противном случае среда является не усиливающей, а **ослабляющей свет**, который через нее проходит. Усиливающая среда называется также средой с **отрицательным поглощением света**. В такой среде происходит, **быстрое возрастание интенсивности** J проходящего света с увеличением толщины усиливающей среды

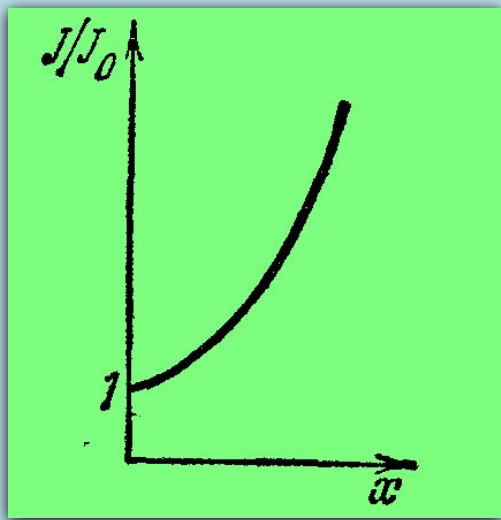


Рис.2

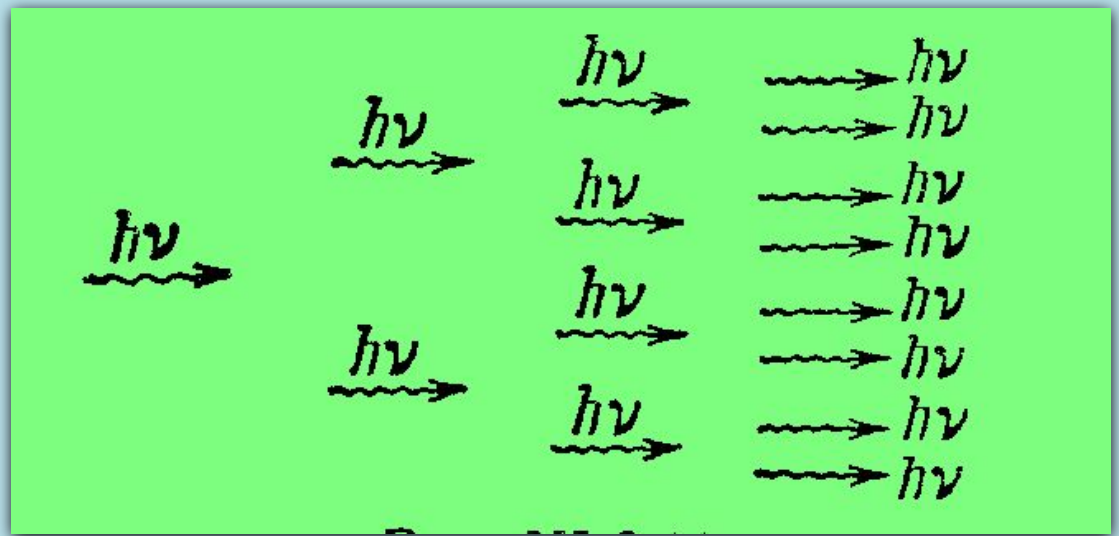


Рис.3

Два фотона, образовавшиеся в одном акте вынужденного излучения при встрече с двумя атомами, находящимися на возбужденном уровне, свалят их на нижний уровень, и после этого будут лететь **четыре** одинаковых фотона и т. д. (Рис.3).

Для получения активной среды необходимо создать в среде неравновесное состояние (**инверсное состояние**);

число атомов (молекул, ионов) на возбужденном уровне должно быть больше, чем на нижнем уровне (обычно на верхних уровнях атомов больше, чем на нижних).

У некоторых веществ имеются энергетические уровни, спонтанный переход с которых на основной уровень путем излучения фотонов имеет малую вероятность, т. е. происходит относительно редко. Поэтому возбужденные атомы задерживаются на них достаточно долго (до 10^{-3} с). Такие уровни называются **метастабильными** и в процессе возбуждения на них может накапливаться значительное количество возбужденных атомов.

Это явление называется **инверсной заселенностью (населенностью) уровней.**

Таким образом, для вынужденного излучения

Индукцированное излучение возбужденного атома можно вызвать не только посторонним фотоном, но и фотоном, спонтанно излученным одним из атомов этого же вещества, и таким образом появляются два фотона вместо одного.

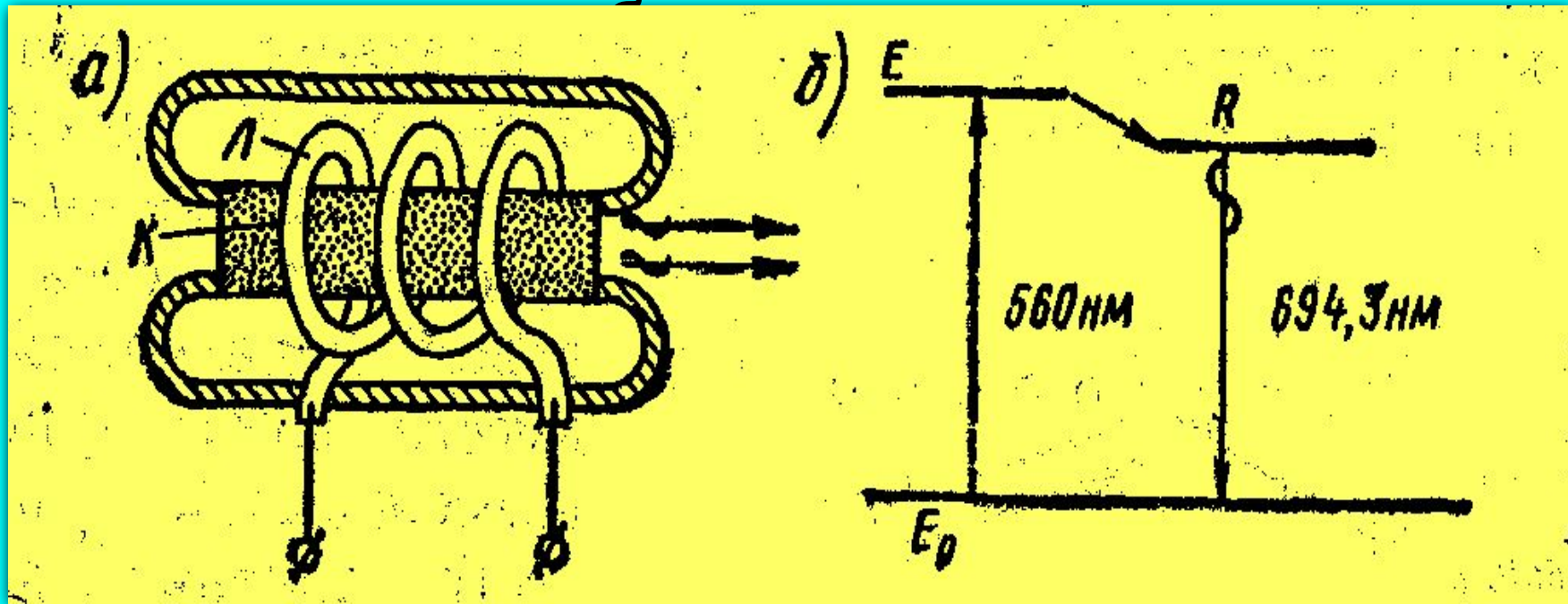
Источники света, работающие на принципе вынужденного (индуцированного, стимулированного) излучения в оптическом диапазоне называются **лазерами** (оптическими квантовыми генераторами).

Лазер содержит три основных элемента:

- активная среда (активный элемент), в которой создают инверсную населенность уровней,
- устройство для создания инверсии в активной среде (система накачки), например лампа накачки,
- устройство для обеспечения положительной обратной связи (оптический резонатор).

2. Устройство и принцип работы рубинового лазера

В качестве примера рассмотрим лазер, работающий на искусственном кристалле рубина (окись алюминия Al_2O_3), который содержит примесь легко



Кристалл K (рис.4,а) имеет удлиненную цилиндрическую форму со строго параллельными отшлифованными и посеребренными торцами. Таким образом, он представляет **зеркальный резонатор**; **передний торец его полупрозрачен.**

Если с помощью вспышки мощной импульсной ксеноновой лампы L облучить кристалл светом с длиной волны **560 нм**, то ионы хрома с основного энергетического уровня E_0 переходят на возбужденный уровень E (рис. 4,б). С этого уровня они **спонтанно безызлучательно** переходят на **метастабильный уровень R , на котором и происходит их накопление.** Единичные фотоны, спонтанно излучаемые ионами хрома, находящимися на этом уровне, вызывают вынужденное излучение соседних ионов (процесс этот показан схематически

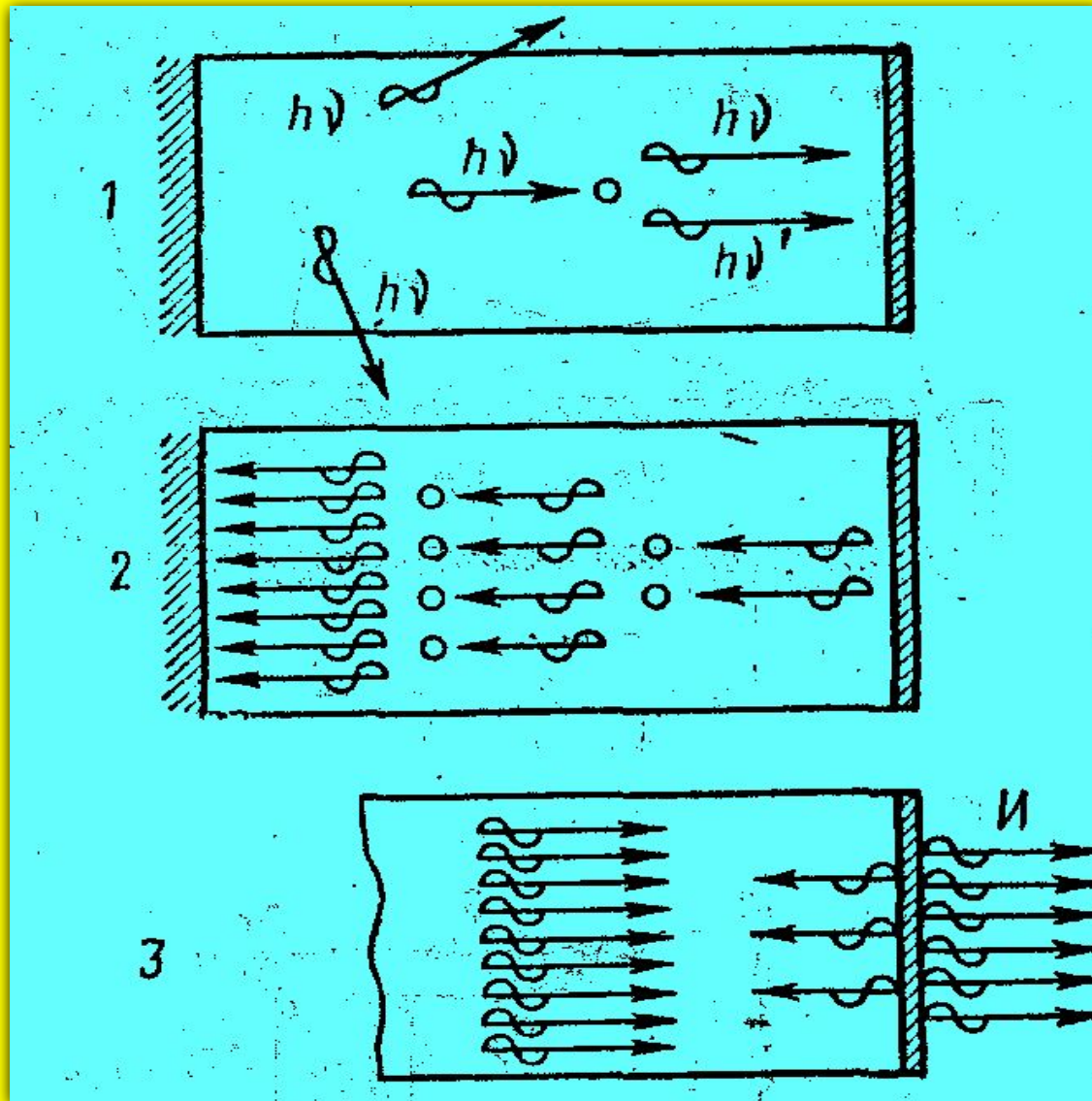


Рис.5

Фотоны, испускаемые при этом вдоль оси кристалла, многократно отражаются от его зеркальных торцов и на своем пути вызывают **вынужденное излучение все большего числа возбужденных ионов хрома** (рис. 5; 2,3). Таким образом, поток фотонов **лавинообразно нарастает** и, когда достигнет достаточной интенсивности, через полупрозрачный торец кристалла (рис.5;3) излучается **кратковременный** (тысячные доли секунды) импульс **И красного монохроматического света с длиной волны 694,3 нм**, по яркости во много раз превышающий яркость прямого солнечного света.

В настоящее время имеются лазеры на основе стекол специального состава. У лазеров на кристаллах **высокая мощность, но работают они в импульсном режиме.**

3. Устройство и принцип работы гелий-неонового лазера

Газовые лазеры имеют незначительную мощность и работают в непрерывном режиме

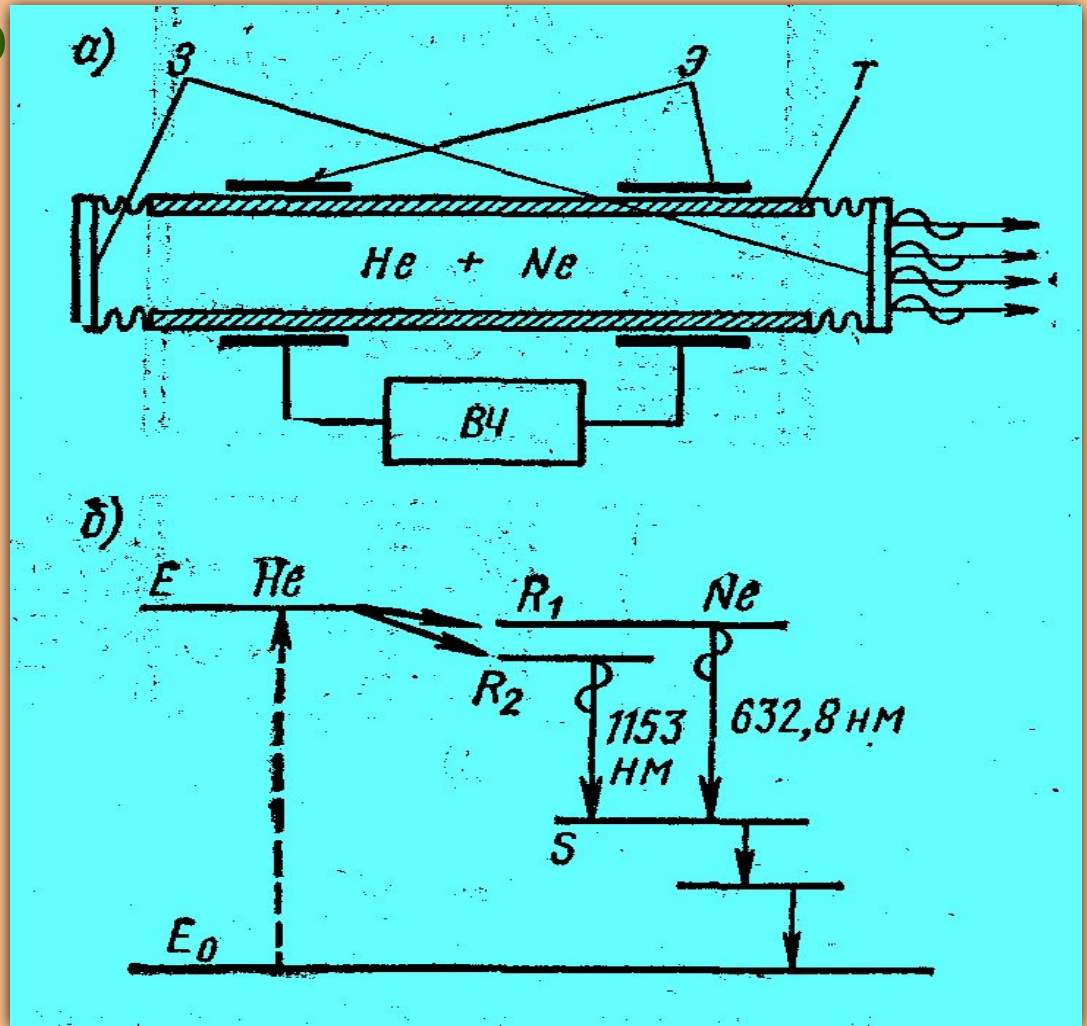


Рис.6

Наиболее распространен **гелий-неоновый лазер**. Он состоит из кварцевой трубки T , наполненной смесью газов: **гелия** (под давлением **1 мм рт.ст.**) и **неона** (**0,1 мм рт.ст.**) (рис.6,а).

По концам трубки расположены **плоскопараллельные зеркала** Z (переднее — полупрозрачное). С помощью электродов \mathcal{E} , помещенных снаружи трубки, и генератора высокой частоты (**ВЧ**) или любым другим способом в газе вызывается **тлеющий разряд**. При этом **атомы гелия** возбуждаются и переходят с E_0 на уровень E (рис.6,б).

В процессе неупругого соударения атомы гелия передают энергию атомам неона и последние, возбуждаясь, накапливаются на двух близко расположенных **метастабильных уровнях** R_1 и R_2 . При **вынужденном переходе** с этих уровней на промежуточный уровень S происходит

4. Свойства лазерного излучения

1. Одним из важнейших свойств лазерного излучения является чрезвычайно высокая степень его **монохроматичности**. Для сравнения, излучение теплового источника немонохроматично, оно заполняет широкий интервал длин волн. Например, спектр излучения Солнца захватывает ультрафиолетовый, видимый и инфракрасный диапазоны длин волн. **Для получения монохроматического излучения применяют монохроматоры, позволяющие выделить из сплошного спектра сравнительно узкую область, что достигается ценой громадных потерь энергии.**

2. **Когерентность лазерного излучения.**

Когерентность (от латинского *cohaerens* — находящийся в связи) — согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов. **Колебания называются когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени.**

3. Временная когерентность излучения — согласованность колебаний светового поля в некоторой точке пространства в промежутке времени T .

4. Кроме временной когерентности важным свойством излучения является и его пространственная когерентность. При рассмотрении пространственной когерентности анализируют согласованность колебаний светового

Для сравнения расходимость излучения от обычного источника достигает 4π рад. *Это и все другие уникальные свойства лазерного излучения возникают в результате согласованного, кооперативного испускания световых квантов многими атомами рабочего вещества.*

6.Высокая степень поляризации лазерного излучения. Для получения поляризованного излучения от нелазерных источников необходимо использовать поляризационные приборы.

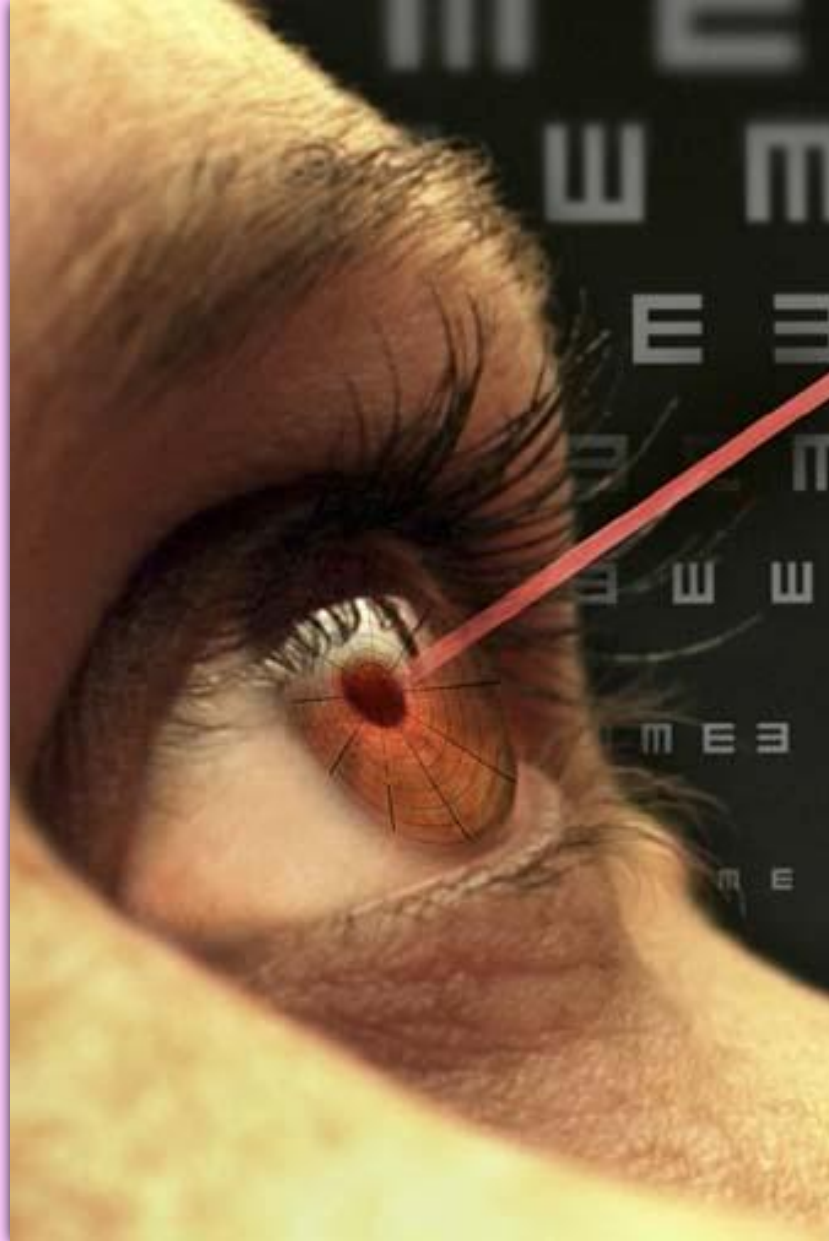
7.Высокая интенсивность лазерного излучения. Благодаря свойствам лазерного излучения (1—6) *можно сфокусировать лазерное излучение до диаметра, сравнимого с длиной волны.* **Это позволяет получать высокие интенсивности излучения в очень локализованной области**



Лазерная медицина в хирургии



Лазер в стоматологии



Лазер в офтальмологии



www.inva-life.ru

Вскрытие отменяется. Лазер победит рак

мозга



Лазеры в медицине

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- .Что такое инверсная населенность уровней и как ее получить?
- .Что называется вынужденным излучением?
- .Какая среда называется активной? Что такое накачка усиливающей среды?
- .Перечислите основные свойства лазерного излучения.
- .Объясните устройство и принцип работы рубинового лазера.
- .Почему лазеры на кристаллах работают в импульсном режиме?
- .Объясните устройство и принцип работы гелий-неонового лазера. В каком режиме работает такой лазер?
- .Как применяется лазерное излучение в медицине?