**Индуцированное излучение**

Индуцированное излучение – это излучение возбужденных атомов под действием падающего на них света.

Характерной особенностью этого излучения является то, что возникшая при индуцированном излучении световая волна не отличается от волны, падающей на атом, ни частотой, ни фазой, ни поляризацией; таким образом, падающая и излученная волны являются когерентными.

На языке квантовой теории вынужденное излучение означает переход атома из высшего энергетического состояния в низшее, но не самопроизвольный, как при обычном излучении, а переход под влиянием внешнего воздействия.

**Лазер**

Слово «лазер» образовано сочетанием первых букв слов английского выражения «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» («усиление света при помощи индуцированного излучения»).

Лазер — это устройство, в котором энергия, например тепловая, химическая, электрическая, преобразуется в энергию электромагнитного поля — лазерный луч (определение академика Н.Г. Басова).

При таком преобразовании часть энергии неизбежно теряется, но важно то, что полученная в результате лазерная энергия обладает более высоким качеством. Качество лазерной энергии определяется ее высокой концентрацией и возможностью передачи на значительное расстояние. Лазерный луч можно сфокусировать в крохотное пятнышко диаметром порядка длины световой волны и получить плотность энергии, превышающую уже на сегодняшний день плотность энергии ядерного взрыва. С помощью лазерного излучения уже удалось достичь самых высоких значений температуры, давления, магнитной индукции. Наконец, лазерный луч является самым емким носителем информации и в этой роли — принципиально новым средством ее передачи и обработки.

Первый лазер был создан в 1960 г. в США – квантовый генератор электромагнитных волн в видимом диапазоне спектра.

**Свойства лазерного излучения**

Лазерные источники света обладают рядом преимуществ по сравнению с другими источниками света:

1. Лазеры способны создавать пучки света с очень малым углом расхождения (около 10−5 рад). На Луне такой пучок, испущенный с Земли, дает пятно диаметром 3 км.

2. Свет лазера обладает исключительной монохроматичностью. В отличие от обычных источников света, атомы которых излучают свет независимо друг от друга, в лазерах атомы излучают свет согласованно. Поэтому фаза волны не испытывает нерегулярных изменений.

3. Лазеры являются самыми мощными источниками света. В узком интервале спектра кратковременно (в течение промежутка времени продолжительностью порядка 10^−13 с) у некоторых типов лазеров достигается мощность излучения 10^17  Вт/см2, в то время как мощность излучения Солнца равна только 7⋅10^3  Вт/см2, причем суммарно по всему спектру. На узкий же интервал  Δ*λ*=10^−6 см (ширина спектральной линии лазера) приходится у Солнца всего 0,2  Вт/см2. Напряженность электрического поля в электромагнитной волне, излучаемой лазером, превышает напряженность поля внутри атома.

**Принцип действия лазеров**

В обычных условиях большинство атомов находится в низшем энергетическом состоянии. Поэтому при низких температурах вещества не светятся.

При прохождении электромагнитной волны сквозь вещество ее энергия поглощается. За счет поглощенной энергии волны часть атомов возбуждается, т. е. переходит в более высокое энергетическое состояние. При этом у светового пучка отнимается энергия, равная разности энергий между уровнями 2 и 1:

*hν*=Е2​–Е1​

На рисунке ниже схематически представлены невозбужденный атом и электромагнитная волна в виде отрезка синусоиды. Электрон находится на нижнем уровне:

На рисунке ниже изображен возбужденный атом, поглотивший энергию. Возбужденный атом может отдать свою энергию соседним атомам при столкновении или испустить фотон:

Теперь представим себе, что каким-либо способом мы возбудили большую часть атомов среды. Тогда при прохождении через вещество электромагнитной волны с частотой:

ℎ*V*=*hE*2​−*E*1​​

Эта волна будет не ослабляться, а, напротив, усиливаться за счет индуцированного излучения. Под ее воздействием атомы согласованно переходят в низшие энергетические состояния, излучая волны, совпадающие по частоте и фазе с падающей волной.

На рисунке ниже изображены возбужденный атом и волна:

А на следующем рисунке схематически показано, что атом перешел в основное состояние, а волна усилилась:

**Трехуровневая система**

Существуют различные методы получения среды с возбужденными состояниями атомов. В рубиновом лазере для этого используется специальная мощная лампа. Атомы возбуждаются за счет поглощения света.

Но двух уровней энергии для работы лазера недостаточно. Каким бы мощным ни был свет лампы, число возбужденных атомов не будет больше числа невозбужденных. Ведь свет одновременно и возбуждает атомы, и вызывает в них индуцированные переходы с верхнего уровня на нижний.

Выход был найден в использовании трех энергетических уровней (общее число уровней всегда велико, но речь идет о «работающих» уровнях).

На рисунке ниже изображены три энергетических уровня:

В отсутствие внешнего воздействия время, в течение которого атомная система находится в различных энергетических состояниях («время жизни»), неодинаково. На уровне 3 система «живет» очень мало, порядка 10−810−8 с, после чего самопроизвольно переходит в состояние 2 без излучения света. (Энергия при этом передается кристаллической решетке.)

«Время жизни» в состоянии 2 в 100 000 раз больше, т. е. составляет около 10^−3 с. Переход из состояния 2 в состояние 1 под действием внешней электромагнитной волны сопровождается излучением. Это используется в лазерах. После вспышки мощной лампы система переходит в состояние 3 и спустя промежуток времени около 10^−8 с оказывается в состоянии 2, в котором «живет» сравнительно долго. Таким образом и создается «перенаселенность» возбужденного уровня 2 по сравнению с невозбужденным уровнем 1.

Необходимые энергетические уровни имеются в кристаллах рубина. Рубин — это красный кристалл оксида алюминия  А*l*2​*O*3​ с примесью атомов хрома (около 0,05%). Именно уровни ионов хрома в кристалле обладают требуемыми свойствами.

**Устройство рубинового лазера**

Из кристалла рубина изготовляют стержень с плоскопараллельными торцами. Газоразрядная лампа, имеющая форму спирали, дает сине-зеленый свет:

Кратковременный импульс тока от батареи конденсаторов емкостью в несколько тысяч микрофарад вызывает яркую вспышку лампы. Спустя малое время энергетический уровень 2 становится «перенаселенным». В результате самопроизвольных переходов 2→1 начинают излучаться волны всевозможных направлений. Те из них, которые идут под углом к оси кристалла, выходят из него и не играют в дальнейших процессах никакой роли. Но волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражается от его торцов. Она вызывает индуцированное излучение возбужденных ионов хрома и быстро усиливается.

Один из торцов рубинового стержня делают зеркальным, а другой — полупрозрачным. Через полупрозрачный торец выходит мощный кратковременный (длительностью около сотни микросекунд) импульс красного света.

Волна является когерентной, так как все атомы излучают согласованно, и очень мощной, так как при индуцированном излучении вся запасенная энергия выделяется за очень малое время.

**Другие типы лазеров**

Рубиновый лазер, с которым мы ознакомились, работает в импульсном режиме. Существуют также лазеры непрерывного действия. В газовых лазерах этого типа рабочим веществом является газ. Атомы рабочего вещества возбуждаются электрическим разрядом.

Применяются и полупроводниковые лазеры непрерывного действия. В них энергия для излучения заимствуется от электрического тока.

Созданы очень мощные газодинамические лазеры непрерывного действия на сотни киловатт. В этих лазерах «перенаселенность» верхних энергетических уровней возникает при расширении и адиабатном охлаждении сверхзвуковых газовых потоков, нагретых до нескольких тысяч кельвинов.

**Применение лазеров**

Лазеры используются для записи и хранения информации (лазерные диски). С помощью луча лазера проводят хирургические операции: например, «приваривают» отслоившуюся от глазного дна сетчатку.

Лазеры позволили создать светолокатор, с помощью которого расстояния до предметов измеряются с точностью до нескольких миллиметров. Такая точность недоступна для радиолокаторов.

Возбуждая лазерным излучением атомы или молекулы, можно вызвать между ними химические реакции, которые в обычных условиях не идут.