**§6 Поглощение.**

**Спонтанное и вынужденное излучение**


В нормальных условиях (при отсутствии внешних воздействий) большая часть электронов в атомах находятся на самом низком невозбужденном уровне *Е*1, т.е. атом обладает минимальным запасом внутренней энергии, остальные уровни *Е*2, *Е*3....*Е*n, соответствующие возбужденным состояниям, обладают минимальной заселенностью электронами или вообще свободны. Если атом находится в основном состоянии с *Е*1, то под действием внешнего излучения может осуществиться вынужденный переход в возбужденное состояние с *Е*2. Вероятность таких переходов пропорциональна плотности излучения, вызывающего эти переходы.

Атом, находясь в возбужденном состоянии 2, может через некоторое время спонтанно самопроизвольно (без внешних воздействий) перейти в состояние с низшей энергией, отдавая избыточную энергию в виде электромагнитного излучения, т.е. испуская фотон.

            Процесс испускания фотона возбужденным атомом без каких-либо внешних воздействий называетсяспонтанным (самопроизвольным) излучением. Чем больше вероятность спонтанных переходов, тем меньше среднее время жизни атома в возбужденном состоянии. Т.к. спонтанные переходы взаимно не связаны, то спонтанное излучение не когерентно.

            Если на атом, находящийся в возбужденном состоянии 2, действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей *h* = *Е*2 - *Е*1, то возникает вынужденный (индуцированный) переход в основное состояние 1 с излучением фотона с той же энергией *h* = *Е*2 - *Е*1. При подобном переходе происходит излучение атомомдополнительно к тому фотону, под действием которого произошел переход. Излучение, происходящее в результате внешнего облучения называется вынужденным. Таким образом, в процесс вынужденного излучения вовлечены два фотона: первичный фотон, вызывающий испускание излучения возбужденным атомом, и вторичный фотон, испущенный атомом. Вторичные фотоны неотличимы от первичных.

            Эйнштейн и Дирак доказали тождественность вынужденного излучения вынуждающему излучению: они имеют одинаковую фазу, частоту, поляризацию и направление распространения.  Вынужденное излучение строго когерентно с вынуждающим излучением.

            Испущенные фотоны, двигаясь в одном направлении и, встречая другие возбужденные атомы, стимулируют дальнейшие индуцированные переходы, и число фотонов растет лавинообразно. Однако наряду с вынужденным излучением будет происходить поглощение. Поэтому для усиления падающего излучения необходимо, чтобы число фотонов в вынужденных излучениях (которое пропорционально заселенности возбужденных состояний) превышало число поглощенных фотонов. В системе атомы находятся в термодинамическом равновесии, поглощение будет преобладать над вынужденным излучением, т.е. падающее излучение при прохождении через вещество будет ослабляться.

            Чтобы среда усиливала падающее на нее излучение необходимо создать неравновесное состояние системы, при котором число атомов в возбужденном состоянии больше, чем в основном. Такие состояния называются состояниями синверсией заселенностей. Процесс создания неравновесного состояния вещества называется накачкой. Накачку можно осуществить оптическими, электрическими и другими способами.

            В средах с инверсной заселенностью вынужденное излучение может превысить поглощение, т.е. падающее излучение при прохождении через среду будет усиливаться (эти среды называются активными). Для этих сред в законе Бугера *I* = *I*0e-*x* , коэффициент поглощения  - отрицателен.

**§7. Лазеры - оптические квантовые генераторы**

В начале 60-х годов был создан квантовый генератор оптического диапазона - лазер “Light Amplificationby Stimulated emission of Radiation” - усиления света путем индуцированного испускания излучения. Свойства лазерного излучения: высокая монохроматичность (предельно высокая световая частота), острая пространственная направленность, огромная спектральная яркость.

           Согласно законам квантовой механики, энергия электрона в атоме не произвольна: она может иметь лишь определенный (дискретный) ряд значений Е1, Е2, Е3... Еn,называемых уровнями энергии. Значения эти различны для разных атомов. Набор дозволенных значений энергии носит название энергетического спектра атома. В нормальных условиях (при отсутствии внешних воздействий) большая часть электронов в атомах пребывает на самом низком возбужденном уровне Е1, т.е. атом обладает минимальным запасом внутренней энергии; остальные уровни Е2, Е3.....Еn соответствуют более высокой энергии атома и называютсявозбужденными.

           При переходе электрона с одного уровня энергии на другой атом может испускать или поглощать электромагнитные волны, частота которых mn= (Еm - Еn)h,

где h - постоянная Планка (h = 6.62 · 10-34 Дж·с);

Еn - конечный, Еm - начальный уровень.

Возбужденный атом может отдать свою некоторую избыточную энергию, полученную от внешнего источника или приобретенную им в результате теплового движения электронов, двумя различными способами.

                        Всякое возбужденное состояние атома неустойчиво, и всегда существует вероятность его самопроизвольного перехода в более низкое энергетическое состояние с испусканием кванта электромагнитного излучения. Такой переход называют спонтанным (самопроизвольным). Он носит нерегулярный, хаотический характер. Все обычные источники дают свет в результате спонтанного испускания.

                        Таков первый механизм испускания (электромагнитного излучения). В рассмотреннойдвухуровневой схеме испускания света никакого усиления излучения добиться не удастся. Поглощенная энергия h выделяется в виде кванта с той же энергией h и можно говорить о термодинамическом равновесии: процессы возбуждения атомов в газе всегда уравновешены обратными процессами испукания.


**§2 Трехуровневая схема**

В атомах вещества при термодинамическом равновесии на каждом последующем возбужденном уровне находится меньше электронов, чем на предыдущем. Если подействовать на систему возбуждающим излучением с частотой, попадающей в резонанс с переходом между уровнями 1 и 3 (схематично 1→3), то атомы будут поглощать это излучение и переходить с уровня 1 на уровень 3. Если интенсивность излучения достаточно велика, то число атомов, перешедших на уровень 3, может быть весьма значительным и мы, нарушив равновесное распределение населенностей уровней, увеличим населенность уровня 3 и уменьшим, следовательно, населенность уровня 1.

                        С верхнего третьего уровня возможны переходы 3→1 и 3→2. Оказалось, что переход 3→1 приводит к испусканию энергии Е3-Е1=h3-1, а переход 3→2 не является излучательным: он ведет к заселению ”сверху” промежуточного уровня 2 (часть энергии электронов при этом переходе отдается веществу, нагревая его). Этот второй уровень называется метастабильным, и на нем в итоге окажется атомов больше, чем на первом. Поскольку атомы на уровень 2 поступают с основного уровня 1 через верхнее состояние 3, а обратно на основной уровень возвращаются с “большим запаздыванием”, то уровень 1 “обедняется”.

          В результате и возникает инверсия, т.е. обратное инверсное распределение населенностей уровней. Инверсия населенностей энергетических уровней создается интенсивным вспомогательным излучением, называемымизлучением накачки и приводит в конечном итоге к индуцированному (вынужденному) размножению фотонов в инверсной среде.

          Как во всяком генераторе, в лазере для получения режима генерации необходима обратная связь. В лазере обратная связь реализуется с помощью зеркал. Усиливающая (активная) среда помещается между двумя зеркалами - плоскими или чаще вогнутыми. Одно зеркало делается сплошным, другое частично прозрачным.

                        “Затравкой” для процесса генерации служит спонтанное испускание фотона. В результате движения этого фотона в среде он порождает лавину фотонов, летящих в том же направлении. Дойдя до полупрозрачного зеркала, лавина частично отразится, а частично пройдет сквозь зеркало наружу. После отражения от правого зеркала волна идет обратно, продолжая усиливаться. Пройдя расстояние *l*, она достигает левого зеркала, отражается и снова устремляется к правому зеркалу.

                        Такие условия создаются только для осевых волн. Кванты других направлений не способны забрать заметную часть запасенной в активной среде энергии.

                        Выходящая из лазера волна имеет почти плоский фронт, высокую степень пространственной и временной когерентности по всему сечению пучка.

                        В лазерах в качестве активной среды применяют различные газы и газовые смеси (газовые лазеры), кристаллы и стекла с примесями определенных ионов (твердотельные лазеры), полупроводники (полупроводниковые лазеры).

                        Способы возбуждения (в системе накачки) зависят от типа активной среды. Это либо способ передачи энергии возбуждения в результате столкновения частиц в плазме газового разряда (газовые лазеры), либо передача энергии облучением активных центров некогерентным светом от специальных источников (оптическая накачка в твердотельных лазерах), либо инжекция неравновесных носителей через р-n - переход, либо возбуждение электронным пучком, либо оптическая накачка(полупроводниковые лазеры).

                        В настоящее время создано чрезвычайно много различных лазеров, дающих излучение в широком диапазоне длин волн (2002·104нм). Лазеры работают с очень короткой длительностью светового импульса   1·10-12с, могут давать и непрерывное излучение. Плотность потока энергии лазерного излучения составляет величину порядка 1010Вт/см2 (интенсивность Солнца составляет всего 7·103 Вт/см2).