Спонтанное излучение. Из возбуждённого состояния атом может перейти в основное состояние, которому соответствует более низкий энергетический уровень. При этом происходит излучение.

Спонтанное излучение — это самопроизвольное излучение возбуждённых атомов.

В возбуждённом состоянии атом может находиться примерно. Процесс излучения случаен, поэтому электромагнитные волны, излучаемые различными атомами, некогерентны.

Индуцированное излучение. В 1917 г. Эйнштейн предсказал возможность так называемого индуцированного (вынужденного) излучения света атомами.

Индуцированное излучение — это излучение возбуждённых 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 излучённая 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 под влиянием падающего электромагнитного излучения.

Ещё в 1940 г. советский физик В. А. Фабрикант указал на возможность использования явления вынужденного излучения для усиления электромагнитных волн.

В 1954 г. советские учёные Н. Г. Басов и А. М. Прохоров и независимо от них американский физик Ч. Таунс использовали явление индуцированного излучения для создания микроволнового генератора радиоволн с длиной волны = 1,27 см. Приборы, созданные этими учёными и работающие в диапазоне сантиметровых волн, получили название мазеров.

В 1960 г. в США был создан первый лазер — квантовый генератор волн в видимой части спектра.

Свойства лазерного излучения. Лазерные источники света обладают рядом существенных 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, даёт 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 (случайных) изменений.

3. Лазеры являются самыми мощными источниками света. В узком интервале спектра кратковременно (в течение промежутка времени продолжительностью порядка 10 1:5 с) у некоторых типов лазеров достигается мощность излучения 101' Вт/см2, в то время как мощность излучения Солнца равна только 7 • 103 Вт/см2, причём суммарно по всему спектру. На узкий же интервал ДА. = 10 см (ширина спектральной линии лазера) приходится у Солнца всего 0,2 Вт/см2. Напряжённость электрического поля электромагнитной волне, излучаемой лазером, превышает напряжённость поля внутри атома.

Принцип действия лазеров. В обычных условиях большинство атомов находится в основном состоянии, соответствующем минимальной энергии. Поэтому при обычных температурах вещества не светятся.

При прохождении электромагнитной волны сквозь вещество её энергия поглощается. За счёт поглощённой энергии волны часть атомов возбуждается, т. е. переходит на более высокий энергетический уровень. При этом у светового пучка отнимается энергия, равная разности энергий между уровнями 2 и 1.

На рисунке 11.6, а схематически представлены невозбуждённый атом и электромагнитная волна в виде отрезка синусоиды. Электрон находится на нижнем (основном) уровне. На рисунке 11.6, б изображён возбуждённый атом, поглотивший энергию. Возбуждённый 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.

эта волна будет не ослабляться, а, напротив, усиливаться за счёт индуцированного излучения. Под её воздействием атомы согласованно переходят в основное невозбуждённое состояние, излучая волны, совпадающие по частоте и фазе с падающей волной. На рисунке 11.7, а изображён процесс возбуждения атома падающей волной, а на рисунке 11.7, б схематично показано, что при облучении атом переходит в основное состояние, при этом происходит усиление излучения.

Трёхуровневая система. Существуют различные методы получения среды с возбуждёнными состояниями атомов. В рубиновом лазере для этого используется специальная мощная лампа. Атомы возбуждаются за счёт поглощения света.

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

Усиление излучения будет происходить тогда, когда число переходов, определяющих индуцированное излучение, будет больше числа переходов, ответственных за поглощение.

Выход был найден в использовании трёх энергетических уровней (общее число уровней всегда велико, но речь идёт о «работающих» уровнях). На рисунке 11.8 изображены три энергетических уровня. Существенно, что в отсутствие внешнего воздействия время, в течение которого атомная система находится в различных энергетических состояниях («время жизни»), неодинаково. На уровне 3 система «живёт» очень мало, порядка 1(Г8 с, после чего самопроизвольно переходит в состояние 2 без излучения света. (Энергия при этом передаётся кристаллической решётке.) «Время жизни» в состоянии 2 в 100 ООО раз больше, т. е. составляет около 10 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 «живёт» сравнительно долго. Таким образом и создаётся «перенаселённость» возбуждённого уровня 2 по сравнению с невозбуждённым уровнем 1.

Необходимые энергетические уровни имеются в кристаллах рубина. Рубин — это красный кристалл оксида алюминия А1203 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. Один из торцов рубинового стержня делают зеркальным, а другой — полупрозрачным. Газоразрядная лампа, имеющая форму спирали (рис. 11.9), даёт сине-зелёный свет. Кратковременный импульс тока от батареи конденсаторов ёмкостью в несколько тысяч микрофарад вызывает яркую вспышку лампы, происходит так называемая накачка лазера. Спустя малое время энергетический уровень 2 становится «перенаселённым». 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 возбуждённых ионов хрома и быстро усиливается.

Через полупрозрачный торец выходит мощный кратковременный (длительностью около сотни микросекунд) импульс красного света, обладающий теми феноменальными свойствами, о которых было рассказано в начале параграфа.

Волны, излучаемые атомами, когерентны и совпадают по фазе, происходит сложение амплитуд.

Именно поэтому излучение лазера оказывается очень мощным, отчасти ещё и потому, что вся запасённая энергия выделяется за очень малое время.

Другие типы лазеров. Рубиновый лазер, с которым мы ознакомились, работает в импульсном режиме. Внутри самого кристалла выделяется тепло, поэтому рубиновый лазер надо охлаждать.

Существуют также лазеры непрерывного действия. В 1961 г. был создан газовый лазер, работающий на смеси гелия с неоном. Атомы рабочего вещества в нём возбуждаются электрическим разрядом.

Применяются и полупроводниковые лазеры непрерывного действия. Они созданы впервые в нашей стране. В них энергия для излучения заимствуется от электрического тока.

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

Применение лазеров. Очень перспективно применение лазерного луча для связи, особенно в космическом пространстве, где нет поглощающих свет облаков. Лазеры используются для записи и хранения информации (лазерные диски). Огромная мощность лазерного луча используется для испарения различных материалов в вакууме, для сварки и т. д. С помощью луча лазера проводят хирургические операции: например, «приваривают» отслоившуюся от глазного дна сетчатку; помогают человеку получать объёмные изображения предметов (голограммы), используя когерентность лазерного луча.

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.

Создание лазеров — пример того, как развитие фундаментальной науки (квантовой теории) приводит к гигантскому прогрессу в самых различных областях техники и технологии.