

3. Принцип действия лазера

Естественный свет, который мы видим, является также важнейшим источником энергии, благодаря которому существует наша планета: он управляет ростом растений, климатом и погодой. Свет, излучаемый солнцем, перемещается со скоростью около 300 000 км/с и достигает земной поверхности примерно за 8,5 минут, передавая свою энергию в соответствии с различными длинами волн солнечных лучей и веществами, на которые они попадают.

Выбранные естественным образом длины волн света, при поглощении молекулами определенных веществ, возбуждают эти молекулы, заставляя их вибрировать и генерировать тепло. Стальная пластина рядом с прозрачной простой стеклянной пластиной в жаркий солнечный день при полном солнечном свете будет поглощать из световых лучей больше энергии, чем стеклянная пластина. Сталь станет такой горячей, что до нее нельзя будет дотронуться, тогда, как стекло будет ненамного теплее, чем воздух, через который проходили солнечные лучи. Стекло поглощает меньше тепла, потому, что оно прозрачное для большинства длин световых волн, из которых состоят солнечные лучи. Однако результаты этого сравнения могут измениться при применении определенных длин волн искусственного происхождения. Сталь, например, отчасти прозрачна для рентгеновских лучей. Эти искусственные лучи также являются светом, но с намного более короткой длиной волны.

Способность различных длин световых волн отдавать свою энергию в форме тепла при поглощении различными веществами, связанная с тем фактом, что свет может передаваться на большие расстояния, а затем оптически фокусироваться на маленьком пятне и вызывать сильное увеличение плотности энергии (Вт/см^2), побудила ученых и инженеров разработать устройства для выработки специального света, называемого лазерами.

Лазеры вырабатывают коллимированный и когерентный луч света. Этот свет полностью отличается от некогерентного солнечного света. Почти параллельные световые лучи с одной длиной волны, составляющие коллимированный лазерный луч, обладают значительно более высокой плотностью энергии и могут фокусироваться на гораздо меньшем пятне, чем хаотично излучаемые солнечные лучи. Поэтому, благодаря лазеру, достигается гораздо более эффективная плотность энергии.

Слово лазер (laser) является акронимом слов «light amplification by stimulated emission of radiation» (усиление света путем вынужденной эмиссии излучения):

light
amplification
stimulated
emission
radiation

Все лазеры являются оптическими усилителями, которые работают путем накачивания (возбуждения) активной среды, помещенной между двумя зеркалами, одно из которых является полупрозрачным и пропускает часть излучения.

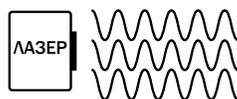
Активная среда – это совокупность специально подобранных атомов, молекул или ионов, которые могут быть в газообразном, жидком или твердом состоянии и которые при возбуждении путем нагнетающего действия будут генерировать лазерное излучение, т.е. испускать излучение в виде световых волн, называемых фотонами. Накачка жидкости и твердых тел осуществляется путем облучения их светом импульсной лампы, а газы накачиваются при помощи электрического разряда.

При описании процесса выработки лазерного света используется термин фотон вместо световой волны, потому, что фотон переносит строго определенное количество энергии в зависимости от длины волны. Из чего бы ни состояла активная среда: атомов, молекул или ионов, миллиарды их поглощают энергию при накачке и сохраняют ее очень короткое случайное время жизни. Когда их время жизни заканчивается, они отдают свою энергию в виде фотонов и возвращаются в свое исходное состояние до следующей накачки. Высвобождение фотонов таким способом называется спонтанным излучением. Высвобожденные фотоны перемещаются во всех направлениях относительно оптической оси лазера. Если фотоны сталкиваются с другими возбужденными атомами, это приводит к преждевременному высвобождению их фотонов и два фотона будут передвигаться вместе в фазе до следующего столкновения, формируя, таким образом, поток фотонов возрастающей плотности. Это преждевременное высвобождение фотонов называется вынужденным излучением. Фотоны, которые не распространяются параллельно оптической оси лазера, быстро теряются из системы. Перед тем, как покинуть лазер через полупрозрачное зеркало фотоны, двигающиеся параллельно оси, проходят значительно более длинный путь за счет отражения от зеркал. Это действие не только усиливает генерацию фотонов за счет вынужденного излучения, что позволяет достичь требуемого уровня мощности, но также и обеспечивает коллимированность и когерентность светового луча, обеспечивающие лазеру его уникальность.

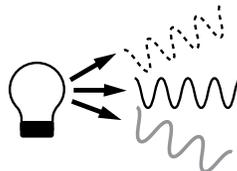
Плотность энергии по всему диаметру выходного лазерного луча не одинакова и зависит от активной среды лазера, ее внутренних размеров, схемы оптической обратной связи и используемой системы накачки. Профиль поперечного сечения лазерного луча, показывающий распределение энергии луча, называется «поперечной электромагнитной волной» (transverse electromagnetic mode – ТЕМ). Может быть разработано множество ТЕМ и каждый тип определяется номером. Чем больше номер, тем сложнее сфокусировать лазерный луч на маленькое пятно для того, чтобы получить высокую плотность энергии. Некоторые лазеры работают в нескольких различных режимах и обычно они называются многорежимными устройствами.

У лазерного света есть три уникальных свойства. Он:

I. *коллимированный* – перемещается в одном направлении с очень маленьким расхождением даже на очень большие расстояния. Обычные световые волны рассеиваются и быстро теряют свою интенсивность.



II. *монохроматичный* – состоит из одного цвета или узкого диапазона цветов. У обычного света очень широкий диапазон длин волн или цветов.



III. *когерентный* – все световые волны перемещаются в фазе вместе как во времени, так и в пространстве. Если сравнить с некогерентным светом электрической лампочки или фонарика, можно увидеть, что обычный свет состоит из смеси частот, не совпадающих друг с другом по фазе и распространяющихся в различных направлениях (рис. 4).

Рис. 4.

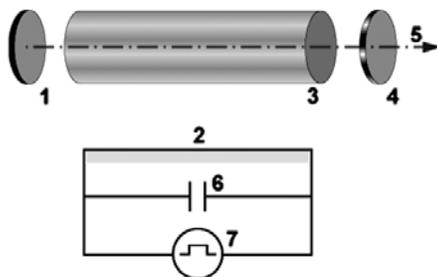
В лазере атомы или молекулы кристалла, такого как рубин или гранат, или газа, жидкости или другого вещества возбуждаются в так называемом лазерном резонаторе, поэтому на более высоком уровне энергии находится больше атомов, чем на низком. Отражающие поверхности с обоих концов резонатора позволяют энергии отражаться назад и вперед, нарастая с каждым проходом.

В рубиновом лазере свет от импульсной лампы, которая называется «лампой накачки», возбуждает молекулы рубинового стержня и излучаемые ими фотоны отражаются вперед и назад между двумя зеркалами до тех пор, пока из резонатора не выйдет когерентный свет (рис. 5).

Если фотоны, чья частота ответственна за разность энергии между возбужденным и основным состоянием, сталкиваются с возбужденными атомами, атомы стимулируются и переходят в более низкое энергетическое состояние, испуская второй фотон с такой же (или пропорциональной) частотой, в такой же фазе и с тем же направлением, что и бомбардирующий фотон (рис. 6).

Рис. 5. Принципиальная схема рубинового лазера

- 1, 4 – отражающие зеркала резонатора (4 - полупрозрачное зеркало);
- 2 – импульсная лампа накачки;
- 3 – лазерное вещество (рубиновый стержень);
- 5 – лазерное излучение;
- 6 – конденсатор;
- 7 – источник питания.



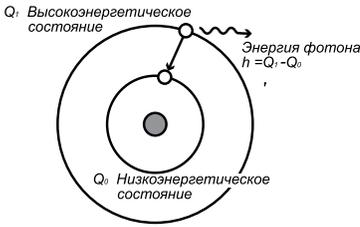


Рис. 6. Излучение радиации от атома при переходе электрона от более высокого к более низкому энергетическому состоянию

Бомбардирующий фотон и излученный фотон могут затем каждый соударяться с другими возбужденными атомами, стимулируя дальнейшее излучение фотонов, с одинаковой частотой и фазой. Этот процесс *вынужденного излучения* приводит к внезапной вспышке когерентного излучения, так как все атомы разряжаются в быстрой цепной реакции.

В 1917 году А. Эйнштейн предположил, что фотоны могут высвободиться из возбужденного атома при взаимодействии со вторым, так же возбужденным атомом, инициируя самостоятельный переход атома в невозбужденное состояние с высвобождением другого фотона. Фотон, высвобожденный из второго атома, будет идентичен по частоте, энергии, направлению и фазе с пусковым фотоном, а пусковой фотон продолжит свой путь неизменным. Там, где был один фотон, теперь есть два. Эти два фотона затем могут продолжить дальше инициировать процесс вынужденного излучения.

Если подходящая среда содержит очень много возбужденных атомов и снятие возбуждения происходит только в результате спонтанного излучения, выходящий свет будет случайным и равномерно распределенным по всем направлениям. Однако процесс вынужденного излучения может вызывать увеличение числа фотонов, перемещающихся в определенном направлении – лавину фотонов.

Предпочтительное направление определяется зеркалами на концах оптического резонатора. Соответственно, число фотонов, перемещающихся вдоль оси двух зеркал, сильно увеличивается и может произойти **УСИЛЕНИЕ СВЕТА ПУТЕМ ВЫНУЖДЕННОЙ ЭМИССИИ ИЗЛУЧЕНИЯ**. Если усиление достаточное, то создается **ЛАЗЕРНЫЙ** луч.