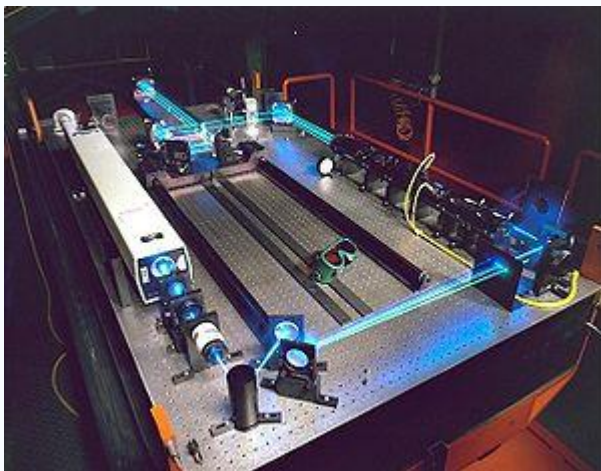


Лазер

Материал из Википедии — свободной энциклопедии



Лазер (лаборатория [NASA](#)).

Ла́зер (англ. *laser*, сокр. от *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — «усиление [света](#) посредством [вынужденного излучения](#)»), **опти́ческий ква́нтовый генера́тор** — устройство, преобразующее [энергию](#) накачки ([световую](#), [электрическую](#), [тепловую](#), [химическую](#) и др.) в энергию [когерентного](#), [монохроматического](#), [поляризованного](#) и узконаправленного потока излучения.

Физической основой работы лазера служит [квантовомеханическое](#) явление [вынужденного \(индуцированного\) излучения](#). [Луч](#) лазера может быть непрерывным, с постоянной [амплитудой](#), или [импульсным](#), достигающим экстремально больших пиковых мощностей. В некоторых схемах рабочий элемент лазера используется в качестве оптического усилителя для излучения от другого источника. Существует большое количество видов лазеров, использующих в качестве рабочей среды все [агрегатные состояния вещества](#). Некоторые типы лазеров, например [лазеры на растворах красителей](#) или полихроматические [твердотельные лазеры](#), могут генерировать целый набор частот ([мод](#) оптического резонатора) в широком спектральном диапазоне. Габариты лазеров разнятся от микроскопических для ряда [полупроводниковых лазеров](#) до размеров футбольного поля для некоторых лазеров на [неодимовом](#) стекле. Уникальные свойства излучения лазеров позволили использовать их в различных отраслях [науки](#) и [техники](#), а также в [быту](#), начиная с чтения и записи [компакт-дисков](#) и заканчивая исследованиями в области [управляемого термоядерного синтеза](#).

Содержание

- [1 Основные даты](#)
- [2 Принцип действия](#)
- [3 Устройство лазера](#)
 - [3.1 Активная среда](#)
 - [3.2 Система накачки](#)
 - [3.3 Оптический резонатор](#)
- [4 Классификация лазеров](#)
- [5 Использование лазеров](#)
- [6 Примечания](#)

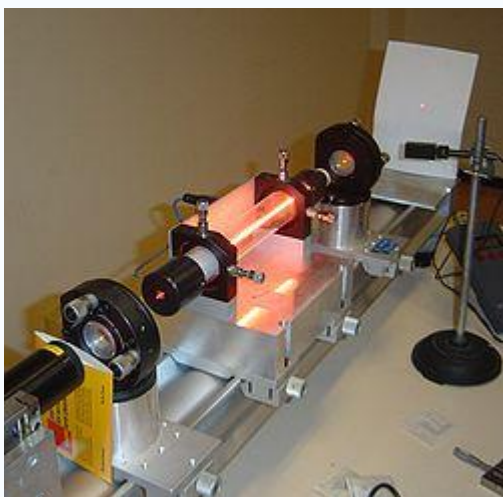
- [7 Литература](#)
- [8 См. также](#)
- [9 Ссылки](#)

Основные даты

- [1916 год](#): [А. Эйнштейн](#) предсказывает существование явления [вынужденного излучения](#) — физической основы работы любого лазера. Строгое теоретическое обоснование в рамках [квантовой механики](#) это явление получило в работах [П. Дирака](#) в [1927—1930](#) гг.^{[1][2]}
- [1928 год](#): экспериментальное подтверждение [Р. Ладенбургом](#) и [Г. Копферманном](#) существования вынужденного излучения. В [1940](#) г. [В. Фабрикантом](#) и [Ф. Бутаевой](#) была предсказана возможность использования вынужденного излучения среды с [инверсией населённостей](#) для усиления [электромагнитного излучения](#)^[3].
- [1950 год](#): [А. Кастлер](#) ([Нобелевская премия по физике 1966 года](#)) предлагает метод [оптической накачки](#) среды для создания в ней инверсной населённости. Реализован на практике в [1952 году](#) [Бросселем](#), Кастлером и Винтером^[4]. До создания квантового генератора оставался один шаг: ввести в среду [положительную обратную связь](#), то есть поместить эту среду в [резонатор](#)^[3].
- [1954 год](#): первый [микроволновой](#) генератор — [мазер](#) на [аммиаке](#) ([Ч. Таунс](#) — [Нобелевская премия по физике 1964 года](#), [Дж. Гордон](#), [Г. Цайгер](#))^[5]. Роль обратной связи играл [объёмный резонатор](#), размеры которого были порядка 12,6 мм ([длина волны](#), излучаемой при переходе аммиака с возбуждённого колебательного [уровня](#) на основной)^[3]. Весомый вклад в изучение принципов квантового усиления и генерации внесли также советские физики [А. Прохоров](#) и [Н. Басов](#) ([Нобелевская премия по физике 1964 г.](#)). Для усиления электромагнитного излучения [оптического диапазона](#) необходимо было создать объёмный резонатор, размеры которого были бы порядка [микрона](#). Из-за связанных с этим технологических трудностей многие учёные в то время считали, что создать генератор видимого излучения невозможно^[6].
- [1960 год](#): [Т. Мейман](#) продемонстрировал работу первого оптического квантового генератора — лазера^[7]. В качестве активной среды использовался [рубин](#) ([оксид алюминия](#) Al_2O_3 с небольшой примесью [хрома](#) Cr), а вместо объёмного резонатора был использован открытый [оптический резонатор](#). Этот лазер работал в импульсном режиме на длине волны в 694,3 [нм](#)^[3]. В декабре того же года был создан [гелий-неоновый лазер](#), излучающий в непрерывном режиме ([А. Джаван](#), [У. Беннет](#), [Д. Хэрриот](#)). Изначально лазер работал в [инфракрасном диапазоне](#), затем был модифицирован для излучения видимого красного света^[6].
- Физика лазеров и по сей день интенсивно развивается. С момента изобретения лазера почти каждый год появлялись всё новые его виды, приспособленные для различных целей^[6]. В [1961](#) г. был создан лазер на [неодимовом](#) стекле, а в течение следующих пяти лет были разработаны [лазерные диоды](#), [лазеры на красителях](#), лазеры на [двуокиси углерода](#), [химические лазеры](#). В [1963](#) г. [Ж. Алфёров](#) и [Г. Кример](#) ([Нобелевская премия по физике 2000 г.](#)) разработали теорию [полупроводниковых гетероструктур](#), на основе которых были созданы многие лазеры^[3].

Принцип действия

Физической основой работы лазера служит явление [вынужденного \(индуцированного\) излучения](#)^[8]. Суть явления состоит в том, что возбуждённый [атом](#) способен излучить [фотон](#) под действием другого фотона без его поглощения, если [энергия](#) последнего равняется разности энергий [уровней](#) атома до и после излучения. При этом излучённый фотон [когерентен](#) фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление [света](#). Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайное направление распространения, [поляризацию](#) и [фазу](#)^{[9][10]}.



[Гелий-неоновый лазер](#). Светящийся луч в центре — это не собственно лазерный луч, а [электрический разряд](#), порождающий свечение, подобно тому, как это происходит в [неоновых лампах](#). Луч проецируется на экран справа в виде светящейся красной точки.

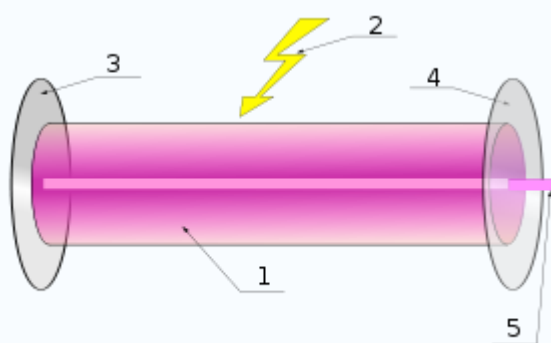
[Вероятность](#) того, что случайный фотон вызовет индуцированное излучение возбуждённого атома в точности равняется вероятности поглощения этого фотона атомом, находящимся в невозбуждённом состоянии^[11]. Поэтому для усиления света необходимо, чтобы возбуждённых атомов в среде было больше, чем невозбуждённых (так называемая [инверсия населённостей](#)). В состоянии [термодинамического равновесия](#) это условие не выполняется, поэтому используются различные системы накачки активной среды лазера ([оптические](#), [электрические](#), [химические](#) и др.)^[12].

Первоисточником генерации является процесс спонтанного излучения, поэтому для обеспечения преобладания поколений фотонов необходимо существование [положительной обратной связи](#), за счёт которой излучённые фотоны вызывают последующие акты индуцированного излучения. Для этого активная среда лазера помещается в [оптический резонатор](#). В простейшем случае он представляет из себя два [зеркала](#), одно из которых полупрозрачное — через него луч лазера частично выходит из резонатора. Отражаясь от зеркал, пучок излучения многократно проходит по резонатору, вызывая в нём индуцированные переходы. Излучение может быть как непрерывным, так и импульсным. При этом, используя различные приборы (вращающиеся [призмы](#), [ячейки Керра](#) и др.) для быстрого выключения и включения обратной связи и уменьшения тем самым периода импульсов, возможно создать условия для генерации излучения очень большой мощности (так называемые [гигантские импульсы](#))^[9]. Этот режим работы лазера называют режимом модулированной [добротности](#).

Генерируемое лазером излучение является [монохроматическим](#) (одной или дискретного набора [длин волн](#)), поскольку вероятность излучения фотона определённой длины волны больше, чем близко расположенной, связанной с уширением спектральной линии, а, соответственно, и вероятность индуцированных переходов на этой [частоте](#) тоже имеет

максимум. Поэтому постепенно в процессе генерации фотоны данной длины волны будут доминировать над всеми остальными фотонами^[12]. Кроме этого, из-за особого расположения зеркал в лазерном луче сохраняются лишь те фотоны, которые распространяются в направлении, параллельном оптической оси резонатора на небольшом расстоянии от неё, остальные фотоны быстро покидают объём резонатора. Таким образом луч лазера имеет очень малый угол расходимости^[13]. Наконец, луч лазера имеет строго определённую поляризацию. Для этого в резонатор вводят различные поляроиды, например, ими могут служить плоские стеклянные пластинки, установленные под углом Брюстера к направлению распространения луча лазера^[14].

Устройство лазера



На схеме обозначены: 1 — активная среда; 2 — энергия накачки лазера; 3 — непрозрачное зеркало; 4 — полупрозрачное зеркало; 5 — лазерный луч.

Все лазеры состоят из трёх основных частей:

- активной (рабочей) среды;
- системы накачки (источник энергии);
- оптического резонатора (может отсутствовать, если лазер работает в режиме усилителя).

Каждая из них обеспечивает для работы лазера выполнение своих определённых функций.

Активная среда

В настоящее время в качестве рабочей среды лазера используются все агрегатные состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное и даже плазма^[15]. В обычном состоянии число атомов, находящихся на возбуждённых энергетических уровнях определяется распределением Больцмана^[16]:

$$N = N_0 \exp(-E/kT),$$

здесь N — число атомов, находящихся в возбуждённом состоянии с энергией E , N_0 — число атомов, находящихся в основном состоянии, k — постоянная Больцмана, T — температура среды. Иными словами таких атомов очень мало, поэтому вероятность того, что фотон, распространяясь по среде вызовет вынужденное излучение также очень мала по сравнению с вероятностью его поглощения. Поэтому электромагнитная волна, проходя по веществу, расходует свою энергию на возбуждение атомов. Интенсивность излучения при этом падает по закону Бугера^[1]:

$$I_l = I_0 \exp(-a_1 l),$$

здесь I_0 — начальная интенсивность, I_l — интенсивность излучения, прошедшего расстояние l в веществе, a_1 — [коэффициент поглощения](#) вещества. Поскольку зависимость [экспоненциальная](#), излучение очень быстро поглощается.

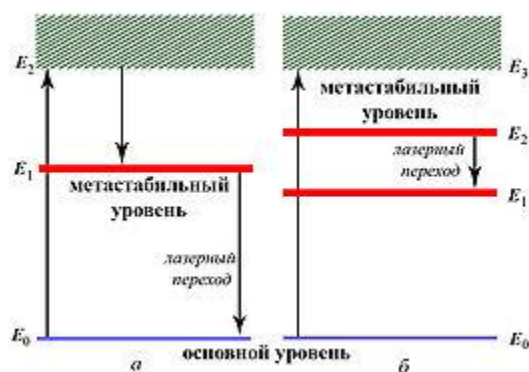
В том случае, когда число возбуждённых атомов больше, чем невозбуждённых (то есть в состоянии инверсии населённостей), ситуация прямо противоположна. Акты вынужденного излучения преобладают над поглощением, и излучение усиливается по закону^[11]:

$$I_l = I_0 \exp(a_2 l),$$

где a_2 — коэффициент квантового усиления. В реальных лазерах усиление происходит до тех пор пока величина поступающей за счёт вынужденного излучения энергии не станет равной величине энергии, теряемой в резонаторе^[17]. Эти потери связаны с [насыщением](#) метастабильного уровня рабочего вещества, после чего энергия накачки идёт только на его разогрев, а также с наличием множества других факторов (рассеяние на неоднородностях среды, поглощение [примесями](#), неидеальностью отражающих зеркал, полезное и нежелательное излучение в окружающую среду и пр.)^[11].

Система накачки

Для создания инверсной населённости среды лазера используются различные механизмы. В [твёрдотельных лазерах](#) она осуществляется за счёт облучения мощными [газоразрядными лампами-вспышками](#), сфокусированным [солнечным](#) излучением (так называемая оптическая накачка) и излучением других лазеров (в частности, полупроводниковых)^{[9][18]}. При этом возможна работа только в импульсном режиме, поскольку требуются очень большие [плотности энергии](#) накачки, вызывающие при длительном воздействии сильный разогрев и разрушение стержня рабочего вещества^[19]. В газовых и жидкостных лазерах (см. [гелий-неоновый лазер](#), [лазер на красителях](#)) используется накачка [электрическим разрядом](#). Такие лазеры работают в непрерывном режиме. Накачка [химических лазеров](#) происходит посредством протекания в их активной среде [химических реакций](#). При этом инверсия населённостей возникает либо непосредственно у продуктов реакции, либо у специально введённых примесей с подходящей структурой энергетических уровней. Накачка [полупроводниковых лазеров](#) происходит под действием сильного прямого [тока](#) через [p-n переход](#), а также пучком [электронов](#). Существуют и другие методы накачки (газодинамические, заключающиеся в резком охлаждении предварительно нагретых [газов](#); [фотодиссоциация](#), частный случай химической накачки и др.)^[17].



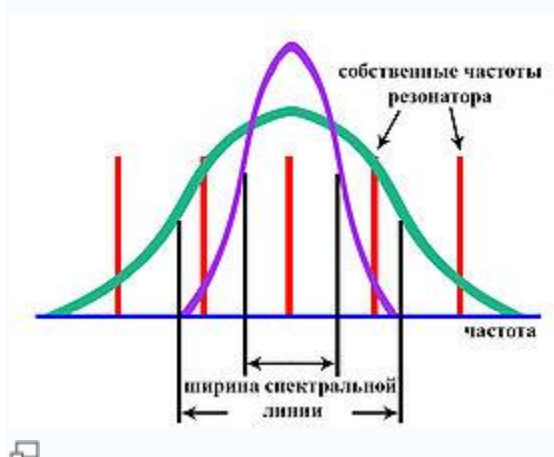
На рисунке: а — трёхуровневая и б — четырехуровневая схемы накачки активной среды лазера.

Классическая трёхуровневая система накачки рабочей среды используется, например, в рубиновом лазере. [Рубин](#) представляет из себя [кристалл корунда](#) Al_2O_3 , [легированный](#) небольшим количеством [ионов хрома](#) Cr^{3+} , которые и являются источником лазерного излучения. Из-за влияния [электрического поля кристаллической решётки](#) корунда внешний энергетический уровень хрома E_2 расщеплён (см. [эффект Штарка](#)). Именно это делает возможным использование немонахроматического излучения в качестве накачки^[9]. При этом атом переходит из основного состояния с энергией E_0 в возбуждённое с энергией около E_2 . В этом состоянии атом может находиться сравнительно недолго (порядка 10^{-8} с), почти сразу происходит безизлучательный переход на уровень E_1 , на котором атом может находиться значительно дольше (до 10^{-3} с), это так называемый [метастабильный уровень](#). Возникает возможность осуществления индуцированного излучения под воздействием других случайных фотонов. Как только атомов, находящихся в метастабильном состоянии становится больше, чем в основном, начинается процесс генерации^{[17][20]}.

Следует отметить, что создать инверсию населённостей атомов хрома Cr с помощью накачки непосредственно с уровня E_0 на уровень E_1 нельзя. Это связано с тем, что если поглощение и вынужденное излучение происходят между двумя уровнями, то оба эти процесса протекают с одинаковой скоростью. Поэтому в данном случае накачка может лишь уравнивать населённости двух уровней, чего недостаточно для возникновения генерации^[9].

В некоторых лазерах, например в неодимовом, активной средой которого является специальный сорт стекла, легированный ионами [неодима](#) Nd^{3+} , используется четырехуровневая схема накачки. Здесь между метастабильным E_2 и основным уровнем E_0 имеется промежуточный — рабочий уровень E_1 . Вынужденное излучение происходит при переходе атома между уровнями E_2 и E_1 . Преимуществом этой схемы является то, что порог генерации достигается, когда населённость метастабильного уровня становится больше населённости рабочего уровня, которая незначительна в состоянии [термодинамического равновесия](#), поскольку последний находится достаточно далеко от основного уровня. Это значительно снижает требования к источнику накачки^[17]. Кроме того, подобная схема позволяет создавать мощные лазеры, работающие в непрерывном режиме, что очень важно для некоторых применений^[15].

Оптический резонатор



В ширину [спектральной линии](#), изображённой на рисунке зелёным цветом, укладывается три [собственных частоты резонатора](#). В этом случае генерируемое лазером излучение будет [трехмодовым](#). Для фиолетовой линии излучение будет чисто [монохроматическим](#).

Зеркала лазера не только обеспечивают существование положительной обратной связи, но и работают как резонатор, усиливая одни генерируемые лазером [моды](#), соответствующие [стоячим волнам](#) данного резонатора^[21], и ослабляя другие^[16]. Если на [оптической длине](#) L резонатора укладывается целое (в смысле «не дробное») число полуволн n :

$$2L = n\lambda,$$

то такие волны, проходя по резонатору не меняют своей фазы и вследствие [интерференции](#) усиливают друг друга. Все остальные, близко расположенные волны, постепенно гасят друг друга. Таким образом спектр [собственных частот](#) оптического резонатора определяется соотношением:

$$\nu_n = \frac{c}{2L}n,$$

здесь c — [скорость света в вакууме](#). Интервалы между соседними частотами резонатора одинаковы и равны:

$$\Delta \nu_r = \frac{c}{2L}.$$

Линии в [спектре излучения](#) в силу различных причин ([доплеровское уширение](#), внешние [электрические](#) и [магнитное](#) поля, [квантовомеханические](#) эффекты и др.) всегда имеют определённую ширину $\Delta \nu_l$. Поэтому могут возникать ситуации, когда на ширину [спектральной линии](#) укладывается несколько собственных частот резонатора. В этом случае излучение лазера будет [многомодовым](#)^[22]. Синхронизация этих мод позволяет добиться того, чтобы излучение представляло собой последовательность коротких и мощных импульсов. Если же $\Delta \nu_l < \Delta \nu_r$, то в излучении лазера будет присутствовать только одна частота, в данном случае резонансные свойства системы зеркал слабо выражены на фоне резонансных свойств спектральной линии^[12].

При более строгом расчёте необходимо учитывать, что усиливаются волны, распространяющиеся не только параллельно оптической оси резонатора, но и под малым углом φ к ней. Условие усиления тогда принимает вид^[16]:

$$2L \cos \varphi = n\lambda.$$

Это приводит к тому, что [интенсивность](#) пучка лучей лазера различна в разных точках [плоскости](#), перпендикулярной этому пучку. Здесь наблюдается система светлых пятен, разделённых тёмными узловыми линиями. Для устранения этих нежелательных эффектов используют различные [диафрагмы](#), рассеивающие нити, а также применяют различные схемы оптических резонаторов^[23].

Классификация лазеров

- [Твердотельные лазеры](#) на [люминесцирующих твёрдых средах](#) ([диэлектрические кристаллы](#) и [стёкла](#)). В качестве [активаторов](#) обычно используются [ионы редкоземельных элементов](#) или ионы группы [железа](#) Fe. Накачка оптическая и от

- [полупроводниковых лазеров](#), осуществляется по трёх- или четырехуровневой схеме. Современные твердотельные лазеры способны работать в импульсном, непрерывном и квазинепрерывном режимах^[18].
- [Полупроводниковые лазеры](#). Формально также являются твердотельными, но традиционно выделяются в отдельную группу, поскольку имеют иной механизм накачки (инжекция избыточных [носителей заряда](#) через [p-n переход](#) или [гетеропереход](#), [электрической пробой](#) в сильном поле, бомбардировка быстрыми [электронами](#)), а квантовые переходы происходят между разрешёнными [энергетическими зонами](#), а не между дискретными [уровнями энергии](#). Полупроводниковые лазеры — наиболее употребительный в быту вид лазеров^[24]. Кроме этого применяются в [спектроскопии](#), в системах накачки других лазеров, а также в [медицине](#) (см. [фотодинамическая терапия](#)^[25]).
 - [Лазеры на красителях](#). Тип лазеров, использующий в качестве активной среды [раствор](#) флюоресцирующих с образованием широких [спектров органических красителей](#). Лазерные переходы осуществляются между различными колебательными подуровнями первого возбуждённого и основного синглетных электронных состояний. Накачка оптическая, могут работать в непрерывном и импульсном режимах. Основной особенностью является возможность перестройки длины волны излучения в широком диапазоне. Применяются в спектроскопических исследованиях^[26].
 - [Газовые лазеры](#) — лазеры, активной средой которых является смесь [газов](#) и [паров](#). Отличаются высокой мощностью, монохроматичностью, а также узкой направленностью излучения. Работают в непрерывном и импульсном режимах. В зависимости от системы накачки газовые лазеры разделяют на газоразрядные лазеры, газовые лазеры с оптическим возбуждением и возбуждением заряженными частицами (например, [лазеры с ядерной накачкой](#)^[27], в начале 80-х проводились испытания систем противоракетной обороны на их основе^[28], однако, без особого успеха^[29]), [газодинамические](#) и [химические](#) лазеры. По типу лазерных переходов различают газовые лазеры на атомных переходах, ионные лазеры, молекулярные лазеры на электронных, колебательных и вращательных переходах молекул и [эксимерные лазеры](#)^[30].
 - [Газодинамические лазеры](#) — газовые лазеры с тепловой накачкой, инверсия населённостей в которых создаётся между возбуждёнными колебательно-вращательными уровнями гетероядерных молекул путём [адиабатического расширения](#) движущейся с высокой [скоростью](#) газовой смеси (чаще N_2+CO_2+He или $N_2+CO_2+H_2O$, рабочее вещество — CO_2)^[31].
 - [Эксимерные лазеры](#) — разновидность газовых лазеров, работающих на энергетических переходах [эксимерных молекул](#) ([димерах благородных газов](#), а также их [моногалогенидов](#)), способных существовать лишь некоторое время в возбуждённом состоянии. Накачка осуществляется пропусканием через газовую смесь пучка электронов, под действием которых атомы переходят в возбуждённое состояние с образованием эксимеров, фактически представляющих из себя среду с [инверсией населённостей](#). Эксимерные лазеры отличаются высокими энергетическими характеристикам, малым разбросом длины волны генерации и возможности её плавной перестройки в широком диапазоне^[32].
 - [Химические лазеры](#) — разновидность лазеров, источником энергии для которых служат [химические реакции](#) между компонентами рабочей среды (смеси газов). Лазерные переходы происходят между возбуждёнными колебательно-вращательными и основными уровнями составных молекул продуктов реакции. Для осуществления химических реакций в среде необходимо постоянное присутствие [свободных радикалов](#), для чего используются различные способы воздействия на молекулы для их [диссоциации](#). Отличаются широким спектром

генерации в ближней [ИК-области](#), большой мощностью непрерывного и импульсного излучения^[33].

- [Лазеры на свободных электронах](#) — лазеры, активной средой которых является поток свободных [электронов](#), колеблющихся во внешнем [электромагнитном поле](#) (за счёт чего осуществляется излучение) и распространяющихся с [релятивистской](#) скоростью в направлении излучения. Основной особенностью является возможность плавной широкодиапазонной перестройки частоты генерации. Различают [убитроны](#) и [скаттроны](#), накачка первых осуществляется в пространственно-периодическом статическом поле [ондулятора](#), вторых — мощным полем электромагнитной волны. Существуют также лазеры на циклотронном резонансе и [строфотроны](#), основанные на тормозном излучении электронов, а также [флиматроны](#), использующие эффект [черенковского](#) и [переходного излучений](#). Поскольку каждый электрон излучает до 10^8 фотонов, лазеры на свободных электронах являются, по сути, классическими приборами и описываются законами [классической электродинамики](#)^[34].
- [Квантовые каскадные лазеры](#) — полупроводниковые лазеры, которые излучают в среднем и дальнем [инфракрасном диапазоне](#)^[35]. В отличие от обычных полупроводниковых лазеров, которые излучают посредством вынужденных переходов между разрешенными [электронными](#) и [дырочными](#) уровнями, разделенными [запрещенной зоной полупроводника](#), излучение квантовых каскадных лазеров возникает при переходе электронов между слоями [гетероструктуры](#) полупроводника и состоит из двух типов лучей, причем вторичный луч обладает весьма необычными свойствами и не требует больших затрат энергии^[36].
- Другие виды лазеров, развитие принципов которых на данный момент является приоритетной задачей исследований ([рентгеновские лазеры](#)^[37], [гамма-лазеры](#)^[38] и др.).

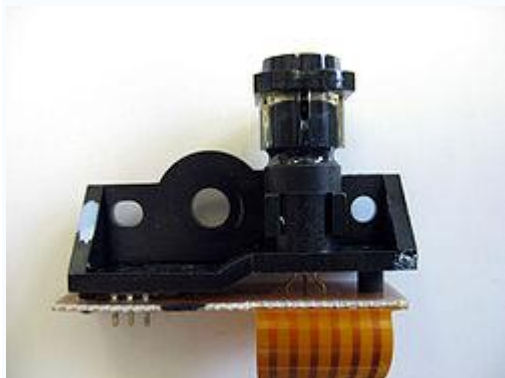
Использование лазеров



Лазерное сопровождение музыкальных произведений ([лазерное шоу](#)).

С момента своего изобретения лазеры зарекомендовали себя как «готовые решения ещё не известных проблем»^[39]. В силу уникальных свойств излучения лазеров, они широко применяются во многих отраслях [науки](#) и [техники](#), а также в [быту](#) (проигрыватели [компакт-дисков](#), [лазерные принтеры](#), считыватели [штрих-кодов](#), [лазерные указки](#) и пр.). В [промышленности](#) лазеры используются для [резки](#), [сварки](#) и [пайки](#) деталей из различных материалов. Высокая [температура](#) излучения позволяет сваривать материалы, которые невозможно сварить обычными способами (к примеру, [керамику](#) и [металл](#)). Луч лазера может быть сфокусирован в точку диаметром порядка [микрона](#), что позволяет использовать его в [микроэлектронике](#) (так называемое [лазерное скрайбирование](#))^[40]. Лазеры используются для получения поверхностных покрытий материалов (лазерное

[легирование](#), лазерная [наплавка](#), [вакуумно-лазерное напыление](#)) с целью повышения их [износостойкости](#). Широкое применение получила также лазерная [маркировка](#) промышленных образцов и [гравировка](#) изделий из различных материалов^[41]. При лазерной обработке материалов на них не оказывается [механическое](#) воздействие, поэтому возникают лишь незначительные [деформации](#). Кроме того весь технологический процесс может быть полностью автоматизирован. Лазерная обработка потому характеризуется высокой точностью и производительностью.



[Полупроводниковый лазер](#), применяемый в узле генерации изображения [принтера Hewlett-Packard](#).

Лазеры применяются в [голографии](#) для создания самих голограмм и получения голографического объёмного изображения. Некоторые лазеры, например [лазеры на красителях](#), способны генерировать [монохроматический свет](#) практически любой длины волны, при этом импульсы излучения могут достигать 10^{-16} с, а следовательно и огромных [мощностей](#) (так называемые [гигантские импульсы](#)). Эти свойства используются в [спектроскопии](#), а также при изучении [нелинейных оптических эффектов](#). С использованием лазера удалось измерить расстояние до [Луны](#) с точностью до нескольких [сантиметров](#). [Лазерная локация](#) космических объектов уточнила значение [астрономической постоянной](#) и способствовала уточнению систем [космической навигации](#), расширила представления о строении [атмосферы](#) и поверхности планет [Солнечной системы](#)^[17]. Сверхкороткие импульсы лазерного излучения используются в [лазерной химии](#) для запуска и анализа [химических реакций](#). Здесь лазерное излучение позволяет обеспечить точную локализацию, дозированность, абсолютную стерильность и высокую скорость ввода энергии в систему^[42]. В настоящее время разрабатываются различные системы лазерного охлаждения^[43], рассматриваются возможности осуществления с помощью лазеров [управляемого термоядерного синтеза](#). Лазеры используются и в военных целях, например, в качестве средств наведения и [прицеливания](#). Рассматриваются варианты создания на основе мощных лазеров боевых систем защиты воздушного, морского и наземного базирования^{[44][45]}.



[Револьвер](#), оснащённый [лазерным целеуказателем](#).

В медицине лазеры применяются как бескровные [скальпели](#), используются при лечении [офтальмологических](#) заболеваний ([катаракта](#), [отслоение сетчатки](#), [лазерная коррекция зрения](#) и др.). Широкое применение получили также в [косметологии](#) (лазерная [эпиляция](#), лечение сосудистых и пигментных дефектов кожи, лазерный [пилинг](#), удаление [татуировок](#) и [пигментных пятен](#))^[46]. В настоящее время бурно развивается так называемая лазерная связь. Известно, что чем выше [несущая частота канала связи](#), тем больше его [пропускная способность](#)^[1]. Поэтому [радиосвязь](#) стремится переходить на всё более короткие длины волн. Длина [световой волны](#) в среднем на шесть порядков меньше длины волны [радиодиапазона](#), поэтому посредством лазерного излучения возможна передача гораздо большего объёма [информации](#). Лазерная связь осуществляется как по открытым, так и по закрытым световодным структурам, например, по [оптическому волокну](#). Свет за счёт явления [полного внутреннего отражения](#) может распространяться по нему на большие расстояния, практически не ослабляясь^[47].

Примечания

1. ↑ ^{1 2 3 4 5} [С. Транковский ЛАЗЕР \(оптический квантовый генератор\)](#). Krugosvet.ru. Проверено 28 июля 2009.
2. ↑ [Dirac P. A. M.](#) (1927). "The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation". **114**: 243–265. (англ.)
3. ↑ ^{1 2 3 4 5} [Алексей Левин Квантовый светоч: История одного из самых важных изобретений XX века – лазера](#). Ropmech.ru (2006-06-01). Проверено 28 июля 2009.
4. ↑ [Ivar Waller The Nobel Prize in Physics 1966: Presentation Speech](#) (англ.). Elsevier Publishing Company (1972). Проверено 20 июля 2009.
5. ↑ [Nikitas Чудесное изобретение XX века - Лазер](#). Lasers.org.ru (2008-09-07). Проверено 28 июля 2009.
6. ↑ ^{1 2 3} [François Balembois et Sébastien Forget Laser : Fundamentals // Some important dates](#) (англ.). Prn1.univ-lemans.fr. Проверено 28 июля 2009.
7. ↑ [Maiman, T.H.](#) (1960). "Stimulated optical radiation in ruby". *Nature* **187** (4736): 493–494. DOI:10.1038/187493a0.
8. ↑ [Сивухин Д. В.](#) Общий курс физики. Оптика. — М.: [Наука](#), 1985. — Т. 4. — С. 704–706. — 735 с.
9. ↑ ^{1 2 3 4 5} [А. Н. Ораевский Лазер // под. ред. М. Е. Жаботинского Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия.](#) — М.: [Советская энциклопедия](#), 1969. — С. 89-118.
10. ↑ [Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс 3 - излучение, волны, кванты; 4 - кинетика, теплота, звук // Фейнмановские лекции по физике.](#) — 3-е изд. — М.: Мир, 1976. — Т. 1. — С. 311-315. — 496 с.
11. ↑ [Einstein A.](#) (1916). "Strahlungs-emission und -absorption nach der Quantentheorie". *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **18**: 318. (нем.)
12. ↑ ^{1 2 3} [А. Н. Ораевский Лазер // под. ред. А. М. Прохорова Физическая энциклопедия.](#) — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 2.
13. ↑ [François Balembois et Sébastien Forget Laser : Fundamentals // Spatial characteristics of the emitted laser beam](#) (англ.). Prn1.univ-lemans.fr. Проверено 30 июля 2009.
14. ↑ [Редкин Ю. Н.](#) Часть 5. Физика атома, твёрдого тела и атомного ядра // Курс общей физики. — Киров: ВятГГУ, 2006. — С. 57. — 152 с.
15. ↑ ^{1 2} [Сивухин Д. В.](#) Общий курс физики. — Издание 2-е. — М.: [Наука](#), 1985. — Т. IV. Оптика. — С. 714-721. — 735 с.
16. ↑ ^{1 2 3} [Сивухин Д. В.](#) Общий курс физики. — Издание 2-е. — М.: [Наука](#), 1985. — Т. IV. Оптика. — С. 703-714. — 735 с.

17. ↑ ^{1 2 3 4 5} [М. Е. Жаботинский](#) [Лазер \(оптический квантовый генератор\)](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физический энциклопедический словарь](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1984. — С. 337-340.
18. ↑ ^{1 2} [И. А. Щербakov](#) [Твердотельный лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 5.
19. ↑ [А. В. Францессон](#) [Накачка](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 3.
20. ↑ [François Balembois et Sébastien Forget](#) [Laser : Fundamentals // Spectroscopic systems used to create a laser](#) (англ.). Prn1.univ-lemans.fr. Проверено 28 июля 2009.
21. ↑ [Сивухин Д. В.](#) [Общий курс физики. Электричество](#). — М.: [Наука](#), 1985. — Т. 3. — С. 624-627. — 713 с.
22. ↑ [François Balembois et Sébastien Forget](#) [Laser : Fundamentals // Operating conditions for the cavity](#) (англ.). Prn1.univ-lemans.fr. Проверено 31 июля 2009.
23. ↑ [В. П. Быков](#) [Оптический резонатор](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 3.
24. ↑ [Елисеев П. Г.](#) [Полупроводниковый лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 4.
25. ↑ [Лазерная установка для фотодинамической терапии](#). БИОСПЕК. Проверено 10 августа 2009.
26. ↑ [А. Н. Рубинов](#) [Лазеры на красителях](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 2.
27. ↑ [С. И. Яковленко](#) [Лазер с ядерной накачкой](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 2.
28. ↑ Necht, Jeff (May 2008). "The history of the x-ray laser". *Optics and Photonics News* **19** (5): 26–33. (англ.)
29. ↑ [United States Nuclear Tests 1945-1992](#) (англ.) (pdf). United States Department of Energy. Проверено 16 августа 2009.
30. ↑ [Г. Г. Петраш](#) [Газовый лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 1.
31. ↑ [А. С. Бирюков](#) [Газодинамический лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 1.
32. ↑ [А. В. Елецкий](#) [Эксимерный лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 5.
33. ↑ [А. В. Елецкий](#) [Химический лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 5.
34. ↑ [В. Л. Братман, Н. С. Гинзбург](#) [Лазеры на свободных электронах](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 2.
35. ↑ Faist, Jerome; Federico Capasso, Deborah L. Sivco, Carlo Sirtori, Albert L. Hutchinson, and Alfred Y. Cho (April 1994). "Quantum Cascade Laser" (abstract). *Science* **264** (5158): 553–556. DOI:10.1126/science.264.5158.553. PMID 17732739. Проверено 2007-02-18. (англ.)
36. ↑ Kazarinov, R.F; Suris, R.A. (April 1971). "Possibility of amplification of electromagnetic waves in a semiconductor with a superlattice". *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov* **5** (4): 797–800. (англ.)
37. ↑ [А. В. Андреев](#) [Рентгеновский лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 4.
38. ↑ [А. В. Андреев](#) [Гамма-лазер](#) // под. ред. [А. М. Прохорова](#) [Физическая энциклопедия](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1988. — Т. 1.
39. ↑ [Charles H. Townes](#) [The first laser](#) // [A Century of Nature: Twenty-One Discoveries that Changed Science and the World](#). — University of Chicago Press, 2003. — С. 107–112. — ISBN 0-226-28413-1 (англ.)

40. ↑ [Лазерная резка и прошивка отверстий](#). Laser-reserv.ru. Проверено 6 августа 2009.
41. ↑ [А. Найдёнов А что ещё можно сделать из натурального дерева с помощью лазера?](#). I-laser.ru (2008-01-24). Проверено 7 августа 2009.
42. ↑ [Н. В. Карлов Лазерная химия // под. ред. А. М. Прохорова](#) Физический энциклопедический словарь. — М.: [Советская энциклопедия](#), 1984. — С. 340-341.
43. ↑ [Лазерное охлаждение и пленение нейтральных атомов](#). Институт спектроскопии РАН. Проверено 6 августа 2009.
44. ↑ [В. Саков Боевой 100-кВт лазер Northrop Grumman. Почти портативный](#). 3dnews.ru (2009-03-21). Проверено 7 августа 2009.
45. ↑ [Pae, Peter Northrop Advance Brings Era Of The Laser Gun Closer \(англ.\) // Los Angeles Times](#). — 2009-03-19. — С. В2.
46. ↑ [Лазеры для хирургии и косметологии](#). Medlaser.ru. Проверено 7 августа 2009.
47. ↑ [А. В. Иевский, М. Ф. Стельмах Оптическая связь // под. ред. А. М. Прохорова](#) Большая советская энциклопедия. — М.: [Советская энциклопедия](#), 1977.

Литература

- [Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения](#). — М.: Радио и связь, 1981. — 440 с.
- [Кондиленко И.И., Коротков П.А., Хижняк А.И. Физика лазеров](#). — Киев: Вища школа, 1984. — 232 с.
- [Звелто О. Принципы лазеров](#). — М.: Мир, 1990. — 559 с. — ISBN 5-03-001053-X
- [Бруннер В. Справочник по лазерной технике: Пер. с нем.](#). — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 544 с. — ISBN 5-283-02480-6
- [Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия под. ред. М. Е. Жаботинского](#). — М.: [Советская энциклопедия](#), 1969. — 500 с.
- [Тарасов Л. В. Лазеры. Действительность и надежды](#). — М.: [Наука](#), 1985. — Т. 42. — 176 с. — (Библиотечка "Квант").
- [William T. Silfvast Laser Fundamentals](#). — New York: Cambridge University Press, 1996. — ISBN 0-521-55617-1 (англ.)

См. также

- [Виды лазеров](#)
- [Вынужденное излучение](#)
- [Квантовая оптика](#)
- [Квантовая электроника](#)
- [Лазерный гироскоп](#)
- [Лазерная указка](#)
- [Лазерный целеуказатель](#)
- [Мазер](#)
- [Применение лазеров](#)
- [Устройство лазера](#)
- [Безопасность лазеров](#)
- [Фотон](#)
- [Фотоника](#)

Ссылки

- [Квантовый светоч: история одного из самых важных изобретений XX века — лазера](#)

- [Лазерные технологии: новости, статьи, научные публикации и т. д.](#)
- [Sam's Laser FAQ: A Practical Guide to Lasers for Experimenters and Hobbyists](#) (англ.)
- [Sources. Laser: Fundamentals \(François BALEMBOIS — et Sébastien FORGET\)](#) (англ.)
- [Мощный лазер своими руками за один вечер](#)

Источник — [«http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80»](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80)

Категории: [Лазеры](#) | [Лазерная физика](#) | [Электромагнетизм](#) | [Электромагнитное излучение](#) | [Физические приборы](#) | [Источники света](#) | [Квантовая оптика](#) | [Квантовая электроника](#) | [Электромагнитное оружие](#)