ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

 ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

 УНИВЕРСИТЕТ»

 (ГОУВПО «ВГТУ»)

 ВЕЧЕРНЕГО И ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

 факультет

Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

 КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Теоретические основы прогрессивных технологий»

Тема: «Лазерное излучение и его применение»

Выполнил студент группы ЭК-091 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Бородкин А.Н.

 Подпись, дата

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Селиванов В.Ф.

 Подпись, дата

Члены комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Подпись, дата

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Подпись, дата

Нормоконтроллер \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Подпись, дата

Защищена\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Оценка\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Дата

 2010

План.

Введение. 3

1.Свойства лазерного излучения. 8

2. Принцип действия лазера.

3. Классификация лазеров.

4. Характеристики лазерного излучения.

5. Виды лазеров.

 5.1 Твердотельный лазер.

 5.2 Газовый лазер.

 5.4 Полупроводниковый лазер.

 5.5 Химический лазер.

 5.6 Ультрафиолетовый лазер.

 5.7 Лазер на свободных электронах.

 5.8 Лазер на иттрий-алюминиевом гранате (ИАГ).

 5.9 Апротонный жидкостный лазер.

 5.10 Лазер на парах меди.

 5.11 Газодинамический лазер**.**

 6. Применение лазеров.

 6.1 Лазеры в медицине.

 6.2 Лазеры в информационных технологиях.

 6.3 Применение лазеров в военном деле.

 6.4 Лазеры в промышленности. Обработка материалов и сварка.

 Заключение.

Введение.

В 1964 г. на церемонии вручения Нобелевской премии в Стокгольме акад. А. М. Прохоров сказал: «Квантовая электроника возникла в конце 1954 и начале 1955 г., фундаментом квантовой электроники сле­дует считать явление индуцированного излучения, предсказанное А. Эйнштейном в 1917 г.».

Сущность этого явления заключается в том, что возбужденные ато­мы под воздействием внешнего излучения переходят в состояние с меньшей энергией, излучая при этом электромагнитные волны.

Однако только много лет спустя появилась мысль использовать это явление практически. В авторском свидетельстве СССР № 123209 от 18.06.51 г., выданном В. А. Фабриканту и его сотрудникам, записано: «Способ усиления электромагнитных излучений (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радио диапазонов волн), отличающийся тем, что усиливаемое излучение пропускают через среду, в которой с по­мощью вспомогательного излучения или другим путем создают избы­точную по сравнению с равновесной концентрацию атомов других частиц или их систем на верхних энергетических уровнях, соответст­вующих возбужденным состояниям». Эта формулировка практически охватывает все, что можно представить себе под термином «кванто­вое усиление».

Явление вынужденного излучения легло в основу современной кван­товой электроники и лазерной техники. Несколько позднее (1953 г.) Дж. Вебером был предложен квантовый усилитель.

В 1956 г. Н. Бломберген теоретически разработал вопрос о парамаг­нитном твердотельном усилителе по схеме трех уровней, а в 1957 г. Г. Сковил построил такой усилитель. Однако все квантовые устройст­ва, разработанные к 1960 г., охватывали СВЧ-диапазон радиоволн и назывались *мазерами.*

Первый молекулярный генератор (мазер) был разработан в 1954 г. в Физическом институте АН СССР им. П. Н. Лебедева в Москве Н. Г. Басовым, А. М. Прохоровым и одновременно и независимо Ч. Таунсом, Д. Гордоном и X. Цайгером в Колумбийском универси­тете в Нью-Йорке. Это событие официально принято считать началом становления квантовой электроники как науки.

Теория мазера была развита Н. Г. Басовым, А. М. Прохоровым и оказала значительное влияние на последующие работы в этой области

Следующий этап развития квантовой электроники связан с перене­сением ее принципов в оптический диапазон электромагнитных волн. В 1958 г. Ч. Таунс, А. Л. Шавлов и А. М. Прохоров показали возможность использования явлении вынужденного усиления в поле опти­ческих излучений. О значении, которое придается этим исследованиям, можно судить по тем фактам, что в 1959 г. советским ученым Н. Г. Ба­сову и А. М. Прохорову была присуждена Ленинская премия, а в 1964 г. они же и американский ученый Ч. Таунс удостоились присуждения Нобелевской премии по физике и за фундаментальные труды в области квантовой электроники.

Первый действующий лазер на рубиновом стержне был создан Т. Майманом в 1960 г., а 13.06.61 г. ему был выдан патент № 3353115. Это открытие дало толчок бурному развитию лазерной техники. Эле­менты лазера Маймана лежат в основе всех современных лазеров. Про­роческими оказались и его слова, что когда будет решена задача уп­равления лучом лазеров и обеспечен приемлемый к. п. д., применения лазеров будут ограничены лишь воображением и изобретательностью инженеров.

А. Джаван построил первый газовый лазер, работающий на смеси неона и гелия, в котором инфракрасное когерентное излучение испус­кали атомы неона. На основании спектроскопических исследований он предположил, что электрический разряд в смеси неона и гелия должен создать инверсии населенностей уровней, и, несмотря на скептицизм ученых, знакомых с его работой, упорно искал экспериментальное подтверждение лазерного эффекта в газах. В конце 1960 г. его усилия увенчались успехом.

Создание первых лазеров ускорило развитие новой области физи­ки — *нелинейной оптики,* изучающей нелинейные оптические эффекты при воздействии на среды мощного вынужденного излучения. Значи­тельный вклад в исследование нелинейных оптических явлений внесли ученые-физики С. И. Вавилов, С. А. Ахманов, Г. С. Горелик, Р. В. Хохлов, Н. Бломберген, Д. Джордмэйн, Р. Терхьюн и др.

После получения излучения в видимой области на длине волны Я0 = = 0,6328 мкм генерация была получена более чем на 460 различных переходах между уровнями нейтральных атомов 34 химических эле­ментов.

Первый молекулярный лазер был создан Р. Пателем в 1964 г. Этот лазер имел к. п. д. примерно 10 % и значительную мощность (около 10 Вт). Разработке первого полупроводникового инжекционного лазе­ра на арсениде галлия (Р. Холл, 1962 г.) предшествовали теоретиче­ские исследования полупроводниковых монокристаллов, выполненные Н. Г. Басовым, Б. М. Вулом и Ю. М. Поповым (1958—1961 гг.). По­следующие два года были насыщены техническими усовершенствования­ми и изобретениями, направленными главным образом на увеличение мощности, компактности, долговечности лазеров.

С этого момента началось практическое использование лазерного излучения. В многочисленных практических применениях и приборах лазерный луч можно рассматривать как оптический сигнал с уникаль­ными свойствами. Среди приборов с использованием лазеров следует назвать прежде всего лазерные дальномеры и измерители скорости,, квантовые гироскопы, голографические приборы. Честь изобретения и создания в 1934—1936 гг. первого светодальномера, прибора для измерения расстояния по времени прохождения его световыми волнами, принадлежит акад. А. А. Лебедеву. Появление лазеров позволило создать более помехозащищенные прецизионные системы измерения расстояния. Первым в дальномерах был применен полупроводниковый лазер на арсениде галлия с модулированным излу­чением.

В 1913 г. французский физик М. Саньяк, проводя опыты с целью проверки гипотезы ньютоновского «эфира», открыл вихревой оптичес­кий эффект. Суть его состоит в получении частоты сдвига бегущей ин­терференционной картины в результате сложения направленных на­встречу друг другу излучений от источника, размещенного на вращаю­щемся основании. В 1962 г. А. Розенталь и У. Мапек предложили для измерения скорости вращения Земли использовать датчик угловой ско­рости, основанный на эффекте Саньяка, с лазером в качестве источни­ка бегущей волны. Это была принципиальная схема квантового гиро­скопа.

В 1948 г. Д. Габор, занимаясь улучшением качества изображения в электронных микроскопах, открыл новый метод восстановления амп­литуды и фазы световых волн. Восстановление цветных трехмерных изображений, дающих полное ощущение объемности,— одна из самых ярких и чудесных возможностей голографии. Можно с уверенностью сказать, что свое второе рождение голография получила в 1962—1963 гг., когда и Ю. Н. Денисюк (СССР), и Э. Лейт, Ю. Упатниекс (США) применили для нее лазеры и методы лазерной техники.

Современный этап в развитии квантовой электроники и лазерной техники характеризуется внедрением лазерной технологии в промыш­ленное производство, исследованиями лазерного термоядерного син­теза и разработкой устройств когерентной и интегральной оптики. Интегрально-оптические устройства генерации, распространения, уси­ления, преобразования и детектирования лазерного излучения в тон­копленочных волноводных структурах — реальность сегодняшнего дня.

Квантовые приборы, устройства и системы в основном можно класси­фицировать следующим образом:

квантовые стандарты длины, частоты и времени;

квантовые усилители оптического (лазерные усилители) и СВЧ-диапазона длин волн (молекулярные, парамагнитные и т. д.);

лазеры;

преобразователи частоты лазерного излучения;

лазерные модуляционные устройства;

лазерные системы (лидары, гирометры, лазерные доплеровские из­мерители угловой скорости, системы оптической связи, вычислители и т. д.); лазерные технологические методы и оборудование для обработки материалов, запись и отображение информации, лазерные интеграль­но-оптические устройства и т. д.

Наиболее обширным классом квантовых приборов являются лазеры, которые в основном классифицируют по трем признакам: ре­жиму работы, типу активной среды и способу накачки.

По режиму работы лазеры делят на генераторы *непрерывного* из­лучения (одно-, многомодовые и одночастотные) и лазеры *импульсного* излучения (режимы свободной генерации, модуляции добротности ре­зонатора и моноимпульсный).

В качестве активных элементов для лазеров в настоящее время ис­пользуют множество веществ. По активной среде лазеры разделяются на четыре группы: *твердотельные* лазеры (на активированных стеклах, ионных кристаллах, флюоритах, активированных редкоземельными элементами), *газовые* лазеры (атомарные, молекулярные, газодинами­ческие, ионные, на парах металлов, химические, плазменные и т. д.), *жидкостные* лазеры (на растворе неорганических соединений, органи­ческих соединений), *полупроводниковые* лазеры (инжекционные, гетероструктурные, с распределенной обратной связью и т. д.).

Для создания инверсии населенностей в активной среде применяют различные методы возбуждения (накачки). По этому признаку лазеры разделяются на лазеры с *оптической* накачкой, лазеры с *химической* накачкой, *газоразрядные* лазеры, лазеры с *электронной* накачкой, на­качкой *рентгеновскими* лучами, *плазменным* шнуром, *ядерной* накачкой т. д.

На сегодняшний день лазеры являются неотъемлемой частью нашей жизни. Вот небольшой пример применения лазеров.

По данным фирмы Gartner Dataquest в апреле 2002 года был продан миллиардный персональный компьютер (ПК) и уже в 2007 году была пройдена вторая миллиардная отметка. Таким образом, если продажа первого миллиарда ПК заняла 21 год, то второго – всего 5 и, судя по темпам роста развивающихся рынков, их потребление нарастает. Соответственно, увеличивается и производство ПК, делая их одним из самых продаваемых и доходных в мире высокотехнологических продуктов. Очевидно, что с точно такой же, а может быть и несколько большей, скоростью растет и потребление деталей и элементов ПК.

Современный компьютер, его технические параметры определяются в первую очередь возможностями его электронных систем. В состав каждого современного компьютера входит несколько электронных интегральных микросхем, которые в современном исполнении чаще всего представляют собой не что иное как полупроводниковый кристалл (например, кремния, германия, арсенида галлия) или пленку, в которых выполнены все элементы и межэлементные соединения этих схем. От качества обработки полупроводниковых подложек и от точности изготовления микроэлементов зависят технические параметры ПК, включая их быстродействие, а от производительности технологии – конкурентоспособность производителя.

Уже много лет при изготовлении микросхем используются, в основном, литографические процессы. Наиболее известные из них – электронно-лучевая литография и фотолитография. Для изделий сложной структуры с элементами очень малого размера (в основном, в микроэлектронике) сегодня основным методом является фотолитография (**ФОТОЛИТОГРАФИЯ -** способ формирования рельефного покрытия заданной конфигурации с помощью лазера).

Так же практически в каждом компьютере имеется дисковод [DVD-ROM](http://ru.wikipedia.org/wiki/DVD-ROM)/R/RW, DVD-RAM, который предназначен для считывания или записи данных с CD/DVD накопителей. Данные с диска читаются при помощи лазерного луча с [длиной волны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B) 780 нм.

1.Свойства лазерного излучения.

 Свет - [электромагнитное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), испускаемое нагретым или находящимся в возбуждённом состоянии [веществом](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), воспринимаемое человеческим [глазом](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B7). Под светом понимают не только [видимый свет](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82) (с длиной волны λ ≈ 380—760 [нм](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80)), но и примыкающие к нему широкие области [спектра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80).

 В физике рассматривается либо как [электромагнитная волна](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0), [скорость](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0) распространения в [вакууме](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC) которой постоянна, либо как поток [фотонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD): частиц, обладающих определённой [энергией](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) и нулевой массой покоя.

Характеристики света: цвет, определяемый длиной волны; яркость — поток, посылаемый в данном направлении единицей видимой поверхности в единичном [телесном угле](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB); освещённость — физическая величина, численно равная [световому потоку](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA), падающему на единицу поверхности; световая отдача (для источников света).

Излучение обычных источников света происходит за счет электрон­ных переходов в атомах, молекулах и комплексных средах, например в твердых телах, или за счет вращательно-колебательных переходов в сложных молекулах (углеводороды, красители).

Излучение лазера отличается от излучения обычных источников света следующими характеристиками:

высокой спектральной плотностью энергии;

монохроматичностью;

высокой временной и пространственной когерентностью;

высокой стабильностью интенсивности лазерного излучения в ста­ционарном режиме:

возможностью генерации очень коротких световых импульсов.

 Спектральная плотность излучения — характеристика [спектра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80) [излучения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), равная отношению [интенсивности](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (плотности потока) излучения в узком [частотном](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0) интервале к величине этого интервала.

Монохроматическое излучение (от греч. μόνο — один, χρώμα — цвет) — [электромагнитное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), обладающее очень малым разбросом частот, в идеале — одной [длиной волны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%8B).

 Когерентность (от лат. Cohaerens - находящийся в связи) - коррелированное протекание во времени и в пространстве нескольких случайных колебательных или волновых процессов, позволяющее получить при их сложении чёткую интерференционную картину. Первоначально понятие когерентности возникло в оптике, однако оно относится к волновым полям любой природы: электромагнитным волнам произвольного диапазона, упругим волнам, волнам в плазме, квантовомеханическим волнам амплитуды вероятностей и т.д. Когерентность лазерного излучения - атомы (ионы, молекулы) активного вещества лазера испускают вынужденное излучение, вызванное пролетом постороннего фотона, «в такт», с одинаковыми фазами, равными фазе первичного, вынуждающего излучения.

Итак, лазерное излучение – излучение с высокой энергией, малой расходимостью, одинаковым направлением, одинаковой частотой.

Устройство, преобразующее энергию ([световую](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82), [электрическую](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), [тепловую](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D1%8B), [химическую](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F) и др.) в лазерное излучение - называется оптическим квантовым генератором.

2. Принцип действия лазера.

Физической основой действия лазера любого типа служит явление вынужденного, или индуцированного излучения, которое может происходить, если частица рабочей среды лазера (атом, молекула или ион) находится в возбуждённом состоянии, т.е. имеет избыток энергии по сравнению с энергией основного (нормального) состояния. Вынужденное излучение – это электромагнитное излучение (в частности, свет), испускаемое энергетически возбуждёнными частицами под воздействием внешнего излучения той же частоты, что и частота испускаемого излучения. Подобные явления описываются законами квантовой механики, при этом надо иметь в виду, что любое электромагнитное излучение состоит из квантов (порций), называемых также фотонами.

Энергетические процессы, происходящие в рабочей среде лазера, можно представить следующим образом. Пусть среди допустимых состояний атома рабочей среды существуют два с разными значениями энергии *Е*1 и *Е*2>*Е*1, причём между ними возможен квантовый излучательный переход, рис. 1. Когда возбуждённый атом из состояния с энергией *Е*2 переходит в состояние с меньшей энергией *Е*1, то избыток энергии Δ*Е* = *Е*2 – *Е*1 испускается в виде фотона с энергией *h*ν, где *h* – постоянная Планка, ν – частота излучения. Из равенства Δ*Е* = *h*ν следует, что испускаемый фотон имеет частоту ν = Δ*Е*/*h*.

Квантовые переходы между уровнями *Е*2 и *Е*1 с испусканием фотонов могут происходить как самопроизвольно, так и под воздействием поля распространяющейся в среде электромагнитной (световой) волны с той же частотой ν. Возникающее в первом случае излучение называется спонтанным, или самопроизвольным; второй же случай отвечает вынужденному излучению, о котором говорилось выше. Вынужденное излучение когерентно с исходной волной, т.е. обе волны совпадают по частоте, фазе и направлению распространения, рис. 1а. При спонтанном излучении фотоны испускаются в произвольных направлениях и когерентность между волнами отсутствует, рис. 1б.


### Рис. 1. Возникновение индуцированного (а) и спонтанного (б) излучений и поглощения (в) в рабочей среде: *Е*1 и *Е*2 – энергетические уровни атомов среды; пустые и закрашенные кружочки – атомы на нижнем и верхнем уровнях энергии; волнистыми линиями со стрелками изображены фотоны

Столкновения фотонов световой волны с атомами среды, находящимися на низших энергетических уровнях, может сопровождаться также поглощением фотона и переходом атомов в возбуждённое состояние с большей энергией, рис. 1в. При вынужденном излучении энергия воздействующей световой волны увеличивается, а при поглощении она уменьшается. Поэтому изменение интенсивности света, проходящего через среду, зависит от того, какой из двух процессов преобладает.

Если бы рабочая среда лазера находилась в термодинамически равновесном состоянии, то распределение атомов по энергиям определялось бы статистикой Больцмана. Соответствующее распределение Больцмана, которое даёт число атомов *N*(*Е*), обладающих энергией *Е*, имеет вид

, (1)

где *Т* – абсолютная температура, *k* – постоянная Больцмана, *А* – нормировочная константа, *e* = 2,718… – основание натуральных логарифмов. Число атомов *N*(*Е*), обладающих энергией *Е*, часто называют населённостью энергетического уровня *Е*.

Как видно из (1), населённость энергетических уровней уменьшается с ростом их энергии. Поэтому в термодинамически равновесной среде процессы поглощения фотонов из распространяющейся световой волны будут преобладать над процессами их индуцированного излучения, так что интенсивность прошедшего через среду света будет уменьшаться. Однако посредством внешнего воздействия, называемого накачкой, можно создать в среде так называемую инверсную населённость уровней, при которой некоторые уровни с большей энергией будут заселены атомами более плотно, чем уровни с меньшей энергией. Другими словами, инверсная населённость уровней означает, что *N*(*Е*2) > *N*(*Е*1) при *Е*2 > *Е*1.

Среда с инверсной населённостью уровней называется активной. Она термодинамически неравновесна и стремится перейти в равновесное состояние путем излучения избытка энергии. При пропускании света с частотой ν = Δ*Е*/*h* через такую активную среду в ней будет происходить как индуцированное излучение, если энергия фотонов *h*ν совпадает с разностью энергий Δ*Е* двух инверсно населённых уровней (рис. 1а), так и поглощение энергии света (рис. 1в). Но так как *N*(*Е*2) > *N*(*Е*1), то число индуцированных переходов с испусканием фотонов становится больше поглощательных переходов, и энергия световой волны возрастает по сравнению с энергией исходной волны. Другими словами, происходит усиление света. На этом основан принцип действия лазеров.

Для усиления генерации света лазер снабжен также оптическим резонатором, рис. 2. Он создается двумя зеркалами, одно из которых имеет большой коэффициент отражения, а второе полупрозрачно. Зеркала обеспечивают многократное отражение и прохождение излучения через активную среду, что приводит к увеличению числа фотонов, испущенных возбуждёнными атомами, и усилению индуцированного когерентного излучения. В результате возникает лавина фотонов, движущихся вдоль оси резонатора и частично выходящих в виде узкого пучка света через полупрозрачное зеркало. Фотоны, испущенные по другим направлениям, выходят из активной среды, не испытав многократного отражения от зеркал.


### Рис. 2. Схема формирования направленного излучения лазера с помощью резонатора: 1 и 2 – непрозрачное и полупрозрачное зеркала, 3 – активная среда. Сплошные стрелки показывают движение фотонов вдоль оси резонатора ОО, пунктирные – под углом к этой оси

Помимо отражательных свойств, оптический резонатор, подобно механическим резонаторам, например, трубам и декам музыкальных инструментов, обладает резонансными свойствами. Электромагнитные волны могут возбуждаться в нём эффективно только при условии, что их частоты совпадают с собственными частотами резонатора. Наиболее благоприятные условия для лазерной генерации возникают в том случае, когда частота ν = Δ*Е*/*h*, отвечающая квантовому переходу атомов активной среды, и одна из собственных частот резонатора совпадают. В этом случае в резонаторе создается стоячая световая волна, и при данной мощности накачки лазер излучает свет наибольшей интенсивности. При расстройке между указанными частотами генерируемая мощность уменьшается, а при большой расстройке генерация света может вовсе исчезнуть.

Чтобы увеличить число атомов, участвующих почти одновременно в усилении светового потока, необходимо задержать начало генерации, чтобы накопить как можно больше возбужденных атомов, создающих инверсную заселенность, для чего надо поднять порог генерации лазера и уменьшить добротность. Порогом генерации называют предельное число атомов, способных находиться в возбужденном состоянии. Это можно сделать посредством увеличения потерь светового потока. Например, можно нарушить параллельность зеркал, что резко уменьшит добротность системы. Если при такой ситуации начать накачку, то даже при значительной инверсии заселенности уровней генерация не начинается, поскольку порог генерации высок. Поворот зеркала до параллельного другому зеркалу положения повышает добротность системы и тем самым понижает порог генерации. Когда добротность системы обеспечит начало генерации, инверсная заселенность уровней будет весьма значительной. Поэтому мощность излучения лазера сильно увеличивается. Такой способ управления генерацией лазера называется методом модулированной добротности.

Продолжительность импульса излучения зависит от того, в течение какого времени вследствие излучения инверсная заселенность изменится настолько, что система выйдет из условия генерации. Продолжительность зависит от многих факторов, но обычно составляет 10-7 —10-8 с. Очень распространено модулирование добротности с помощью вращающейся призмы. При определенном положении она обеспечивает полное отражение падающего вдоль оси резонатора луча в обратном направлении. Частота вращения призмы составляет десятки или сотни герц. Импульсы лазерного излучения имеют такую же частоту.

Более частое повторение импульсов может быть достигнуто модуляцией добротности с помощью ячейки Керра (быстродействующий модулятор света). Ячейку Керра и поляризатор помещают в резонатор. Поляризатор обеспечивает генерацию лишь излучения определенной поляризации, а ячейка Керра ориентирована так, чтобы при наложении на нее напряжения не проходил свет с этой поляризацией. При накачке лазера напряжение с ячейки Керра снимается в такой момент времени, чтобы начавшаяся при этом генерация была наиболее сильной.

Ячейка Керра — устройство, основанное на [эффекте Керра](http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/293876) — явлении возникновения под действием электрического поля в оптически [изотропных](http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/937326) средах [двойного лучепреломления](http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/293907). Отличается высоким быстродействием (10 − 9 ÷ 10 − 12 секунды). Состоит из среды с Керровской нелинейностью (например CS2 — [сероулеродом](http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/149687)) помещённой между обкладок конденсатора. При прохождении мощного импульса электрического тока через ячейку оптические свойства среды меняются так, что свет меняет направление поляризации при прохождении ячейки

Применительно к лазерным технологиям используется термин гигантский импульс. Таковым называют импульс, обладающей очень большой энергией при сверхмалой длительности.

Сама по себе идея создания гигантского импульса проста при использовании оптического затвора - специального устройства, которое по сигналу может переходить из открытого состояния в закрытое и наоборот. В открытом состоянии затвор пропускает через себя лазерное излучение, в закрытом - поглощает или отклоняет его в другую сторону. При создании гигантского импульса затвор переводят в закрытое состояние еще до того, как начнется высвечивание энергии накачки. Затем, по мере поглощения энергии активные центры (атомы, участвующие в генерации) переходят в массовом порядке на долгоживущий верхний уровень. Генерация в лазере пока не осуществляется, ведь затвор закрыт. В результате на рассматриваемом уровне накапливается чрезвычайно большое число активных центров - создается очень сильная инверсная заселенность уровней. В определенный момент затвор переключают в открытое состояние. В некотором отношении это похоже на то, если бы высокая плотина, создававшая огромный перепад уровней воды, вдруг неожиданно исчезла. Происходит быстрое и очень бурное высвечивание активных центров, в результате чего и рождается короткий и мощный лазерный импульс - гигантский импульс. Его длительность составляет 10-8 с., а максимальная мощность 108 Вт.

3. Классификация лазеров.

Принять различать два типа лазеров: усилители и генераторы. На выходе усилителя появляется лазер­ное излучение, когда на его вход (а сам он уже находит­ся в возбужденном состоянии) поступает незначительный сигнал на частоте перехода. Именно этот сигнал стиму­лирует возбужденные частицы к отдаче энергии. Проис­ходит лавинообразное усиление. Таким образом — на входе слабое излучение, на выходе — усиленное.

С генератором дело обстоит иначе. На его вход излучение на частоте перехода уже не подают, а возбуж­дают и, более того, перевозбуждают активное вещество. Причем если активное вещество находится в перевозбуж­денном состоянии, то существенно растет вероятность самопроизвольного перехода одной или нескольких час­тиц с верхнего уровня на нижний. Это приводит к воз­никновению стимулированного излучения.

Второй подход к классификации лазеров связан с фи­зическим состоянием активного вещества. С этой точки зрения лазеры бывают твердотельными (например, рубиновый, стеклянный или сапфировый), газовыми (например, гелий-неоновый, аргоновый и т. п.), жидкостными, если в качестве активного, вещества исполь­зуется полупроводниковый переход, то лазер называют полупроводниковым.

Третий подход к классификации связан со способом возбуждения активного вещества. Различают следующие лазеры: с возбуждением за счет оптического излучения, с возбуждением потоком электронов, с возбуждением солнечной энергией, с возбуждением за счет энергий взрывающихся проволочек, с возбуждением химической энергией, с возбуждением с помощью ядерного излуче­ния (последние привлекают сейчас пристальное внима­ние зарубежных военных специалистов). Различают так­же лазеры по характеру излучаемой энергии и ее спект­ральному составу. Если энергия излучается импульсно, то говорят об импульсных лазерах, если непрерывно, то лазер называют лазером с непрерывным излу­чением. Есть лазеры и со смешанным режимом рабо­ты, например полупроводниковые. Если излучение лазе­ра сосредоточено в узком интервале длин волн, то лазер называют монохроматичным, если в широком интервале, то говорят о широкополосном лазере.

Еще один вид классификации основан на использова­нии понятия выходной мощности. Лазеры, у которых непрерывная (средняя) выходная мощность более 106 Вт, называют высокомощными. При выходной мощнос­ти в диапазоне Ю5...103Вт имеем лазеры средней мощ­ности. Если же выходная мощность менее 10-3 Вт, то говорят о маломощных лазерах.

В зависимости от конструкции открытого зеркального резонатора различают лазеры с постоянной доброт­ностью и ла­зеры с модулированной добротностью — у такого лазера одно из зеркал может быть размещено в частности, на оси электродвигателя, который вращает это зеркало. В данном случае добротность резонатора периодически меняется от нулевого до максимального значения. Такой лазер называют лазером с Q-модуляцией.

4. Характеристики лазерного излучения.

Одной из характеристик лазеров является длина волны излучаемой энергии. Диапазон волн лазерного излучения простирается от рентгеновского участка до дальнего инфракрасного, т. е. от 10-3 до 102 мкм. За об­ластью 100 мкм лежит, образно говоря, «целина». Но она простирается только до миллиметрового участка, который осваивается радистами. Этот неосвоенный участок непре­рывно сужается, и есть надежда, что его освоение завер­шится в ближайшее время. Доля, приходящаяся на раз­личные типы генераторов, неодинакова. Наибо­лее широкий диапазон у газовых квантовых генераторов.

Другой важной характеристикой лазеров является энергия импульса. Она измеряется в джоулях и наибольшей величины достигает у твердотельных гене­раторов - порядка 103 Дж. Третьей характеристикой яв­ляется мощность. Энергия в единицу времени и дает мощность. Газовые генераторы, которые излучают не­прерывно, имеют мощность от 10-3 до 102 Вт. Милливаттную мощность имеют генераторы, использующие в качестве активной среды гелий-неоновую смесь. Мощность порядка 100 Вт имеют генераторы на С02. С твердотельными генераторами разговор о мощности имеет особый смысл. К примеру, если взять излучаемую энергию в 1 Дж, сосредоточенную в интервале времени в одну секунду, то мощность составит 1 Вт. Но длитель­ность излучения генератора на рубине составляет 10-4 с, следовательно, мощность составляет 10000 Вт, т. е. 10 кВт. Если же длительность импульса уменьшена с помощью оптического затвора до 10-6 с, мощность состав­ляет 106 Вт, т. е. мегаватт. Это не предел! Можно увеличить энергию в импульсе до 103 Дж и сократить его длительность до 10-9 с и тогда мощность достигнет 1012 Вт. А это очень большая мощность. Известно, что когда на металл приходится интенсивность луча, дости­гающая 105 Вт/см2, то начинается плавление металла, при интенсивности 107 Вт/см2 — кипение металла, а при 109 Вт/см2 лазерное излучение начинает сильно ионизи­ровать пары вещества, превращая их в плазму.

Еще одной важной характеристикой лазера является расходимость лазерного луча. Наиболее узкий луч имеют газовые лазеры. Он составляет величину в не­сколько угловых минут. Расходимость луча твердотель­ных лазеров около 1...3 угловых градусов. Полупровод­никовые лазеры имеют лепестковый раскрыв излучения: в одной плоскости около одного градуса, в другой — около 10...15 угловых градусов.

Следующей важной характеристикой лазера является диапазон длин волн, в котором сосредоточено из­лучение, т. е. монохроматичность. У газовых лазеров монохроматичность очень высокая, она составляет 10-10, т. е. значительно выше, чем у газоразрядных ламп, кото­рые раньше использовались как стандарты частоты. Твердотельные лазеры и особенно полупроводниковые имеют в своем излучении значительный диапазон частот, т. е. не отличаются высокой монохроматичностью.

Очень важной характеристикой лазеров является
коэффициент полезного действия. У твердо­
тельных он составляет от 1 до 3,5%, У газовых 1…15%, у полупроводниковых 40...60%. Вместе с тем принима­ются всяческие меры для повышения кпд лазеров, ибо низкий кпд приводит к необходимости охлаждения ла­зеров до температуры 4...77 К, а это сразу усложняет конструкцию аппаратуры.

5. Виды лазеров.

5.1 Твердотельный лазер.

Функцио­нальная схема такого лазера приведена на рисунке:

 Блок поджига

 Излучающая головка Пульт управления

 Выпрямительный

 Блок конденсаторов блок

 Он состоит из пяти блоков: излучающей головки, блока кон­денсаторов, выпрямительного блока, блока поджига, пульта управления. Излучающая головка преобразует электрическую энергию сначала в световую, а затем и в монохроматическое лазерное излучение. Блок кон­денсаторов обеспечивает накопление энергии, а выпря­мительный блок служит для преобразования переменного тока в постоянный, которым и заряжаются конденса­торы. Блок поджига вырабатывает очень высокое напря­жение, которым осуществляется первоначальный пробой газа в лампах-вспышках. Поскольку первый лазер был сделан при использовании в качестве активного вещест­ва рубинового стержня, то рассмотрим его устрой­ство. Излучающая головка рубинового лазера состояла из держателя рубина, осевой втулки, двух ламп накачки и цилиндрического рефлектора. Держатели рубина смен­ные и предназначены под рубиновые стержни различных размеров и диаметров.

 Используемый в приборе рубин представлял собой окись алюминия, в которой часть атомов алюминия заме­щена атомами хрома. Количеством хрома определяется цвет рубина, так, бледно-розовый рубин содержит 0,05% хрома, красный – 0,5%. Производят такой искусственный рубин следующим образом. В печах при высокой темпе­ратуре выращивают заготовки, называемые булями. Булям придают форму стержня. Торцевые поверхности стержня обрабатывают с высокой точностью и затем полируют. При обработке торцевых поверхностей их де­лают параллельными с точностью около 9...19 угловых секунд и покрывают серебряным или диэлектрическим слоем с высоким коэффициентом отражения. Чистота поверхности соответствует 12-му классу. Этот стержень помещают между двумя лампами-вспышками, которые, в свою очередь, находятся в цилиндрическом рефлекторе. Таким образом осуществляется распределение светового потока от ламп-вспышек на рубиновом стержне. Внут­ренняя поверхность рефлектора покрыта окисью магния, имеющей коэффициент отражения 0,9 – это обеспечивает увеличение кпд излучающей головки.

5.2 Газовый лазер.

Для таких лазеров в качестве активного вещества ис­пользуют либо смесь газов, либо вещество, находящееся в парообразном состоянии. Газовая среда облегчает полу­чение непрерывного стимулированного излучения, по­скольку для перевода вещества в возбужденное состояние требуется меньшая энергия. Впервые в качестве активного вещества применялась смесь гелия и неона. Атом гелия в процессе газового разряда возбуждается электронами тока и переходит с основного уровня 1 на уровень 2. При столкновении атомов гелия с атомами неона последние также возбуждаются и совершают пере­ход на один из четырех верхних подуровней. В связи с тем, что перераспределение энергии при столк­новении двух частиц происходит с минимальным изме­нением общей внутренней энергии, то атомы неона пере­ходят в основном именно па уровень 2, а не на уровень 3 или 4. Вследствие этого создается перенаселенность верхнего уровня 2. При переходе атомов неона с уровня 2 на один из подуровней 3 и с уровня 3 на уровень 4 про­исходит излучение. Поскольку уровень 2 состоит из че­тырех, а уровень 3 – из десяти подуровней, то теоретиче­ски имеются более тридцати возможных переходов. Однако только пять переходов дают стимулированное излучение, которое сосредоточено на длинах волн: 1,118; 1,153; 1,160; 1,199; 1,207 мкм.

E, э-В

 He+ Ne+

25

20 2

19 3

 4

 0 He Ne

 1 1

Схема энергетических уровней гелий-неоновой смеси.

5.3 Жидкостный лазер.

В этих лазерах рабочей средой служат жидкие диэле­ктрики с примесными рабочими атомами. Оказалось, что, растворяя редкоземельные элементы в некоторых жид­костях. можно получить структуру энергетических уровней, очень сходную со структурой уровней примесных атомов в твердых диэлектриках. Поэтому принцип работы жидкостных лазеров тот же, что и твердотельных. Преимущества жидкостных лазеров очевидны: во-первых. не нужно ни варить стекло высокого качества, ни растить були для кристаллов. Во-вторых, жидкостью можно за­полнять любой объем, а это облегчает охлаждение ак­тивного вещества путем циркуляции самой жидкости в приборе.

Разработан метод получения жидких активных ве­ществ с примесями гадолиния, неодима и самария. При экспериментах по получению стимулированного излуче­ния жидкое вещество помещали в резонатор со сфери­ческими зеркалами, подобный тем, которые использу­ют в газовых лазерах. Если лазер работал в импульсном режиме, то в специальном охлаждении жидкого вещества не было необходимости. Если же прибор работал в не­прерывном режиме, то активное вещество заставляли циркулировать по охлаждающей и рабочей системам.

Был создан и исследован жидкостный лазер с актив­ным веществом, которое излучало в диапазоне 0,5...0,58 мкм (зеленая часть спектра). Это излучение хорошо проникает в воду на большие глубины, поэтому такие генераторы представляют интерес для создания подвод­ных локаторов.

5.4 Полупроводниковый лазер.

В создании полупроводникового лазера приоритет принадлежит советским ученым.

Принцип работы полупроводникового лазера может быть объяснен следующим образом. Согласно квантовой теории электроны в полупроводнике могут занимать две широкие энергетические полосы. Нижняя пред­ставляет собой валентную зону, а верхняя – зону прово­димости. В нормальном чистом полупроводнике при низкой температуре все электроны связаны и занимают энергетический уровень, расположенный в пределах валентной зоны. Если на полупроводник подействовать электрическим током или световыми импульсами, то часть электронов перейдет в зону проводимости. В ре­зультате перехода в валентной зоне окажутся свободные места, которые в физике называют «дырками». Эти дыр­ки играют роль положительного заряда. Произойдёт перераспределение электронов между уровнями валентной зоны и зоны проводимости, и можно говорить, в определенном смысле, о перенаселенности верхней энергетической зоны.

5.5 Химический лазер.

Химическим лазерам приписывают практическое ис­пользование в самом ближайшем будущем. Они работают без электрического питания. Для этого потоки химических реагентов должны перемещаться и реагировать. Инверсия населенностей уровней энергии возникает при возбуждении энергией, выделяющейся в химической ре­акции. Для химического лазера имеется принципиальная возможность работы без внешнего источника электриче­ской энергии. Вся необходимая энергия может быть по­лучена за счет химической реакции. В одном из наи­более перспективных химических лазеров основные про­цессы могут быть представлены следующей серией ре­акций:

F + H2 → HF\* + Н;

H + F2 → HF\* *+*  F;

HF\* → HF + hν.

В первой реакции для инициирования необходим сво­бодный атом фтора. Одной из постоянных проблем хими­ческих лазеров является разработка методов эффектив­ного получения таких свободных атомов. Возбужденная молекула HF (обозначаемая HF\*), возникающая при такой реакции, может находиться в возбужденном сос­тоянии, являющемся верхним уровнем лазерного пере­хода. Третья реакция выражает переход в нижнее лазер­ное состояние, которое не заселяется при химической реакции. Оно сопровождается испусканием квантов све­товой энергии hv. Таким образом, инверсия населенно­стей возникает автоматически всякий раз после того, как протекает химическая реакция, и в качестве конечного продукта возникают молекулы в возбужденном состоя­нии. Для инициирования реакции, т. е. для первоначаль­ного создания свободных атомов, может потребоваться электрическая энергия, но как только реакция началась, образуются свободные атомы и эти реакции будут непре­рывно продолжаться. Наиболее хорошо разработанными лазерами являются лазеры на фтористом водороде, рабо­тающие на многих длинах волн, расположенных в диапа­зоне 2,6...3,6 мкм, а также лазер на окиси углерода, генерирующий на длинах волн около 5 мкм. Химические лазеры, работающие в непрерывном режиме, дают выход­ную мощность около нескольких киловатт. Они работают без электрического питания, используя смешение вте­кающих химических компонентов. Такой лазер похож на работающий реактивный двигатель, поскольку рабочая химическая смесь со сверхзвуковой скоростью прокачивается через резонатор, а энергия, выделяющаяся при химической реакции, из резонатора с помощью зеркал выводится и направляется в требуемом направлении.

Йодный лазер относится к фотодиссационным ла­зерам, так как в нем используется эндотермический процесс, в отличие от химических лазеров (действие которых основано на использовании экзотермических химических реакций).

5.6 Ультрафиолетовый лазер.

До этого были рассмотрены лазеры, излучающие в видимом и инфракрасном диапа­зонах электромагнитного спектра. Важное значение имеют ультрафиолетовый и рентгеновский участки диапа­зона спектра частот. Однако первый освоен крайне слабо. Создана часть приборов на аргоне, криптоне и азоте. Они излучают в диапазоне волн 0,29...0,33 мкм и имеют очень незначительную мощность. Лишь работы последнего вре­мени показали, что могут быть созданы и лазеры вы­сокой мощности. Для этого пригодны так называе­мые эксимерные лазеры на аргоне, криптоне и ксеноне. На практике эксимерный лазер представляет собой газовую камеру высокого дав­ления (до десятков атмосфер). Внутри камеры установ­лены зеркала с диэлектрическими покрытиями. Возбуж­дение осуществляется импульсным пучком быстрых электронов, которые вводятся в газ. В некоторых экспе­риментах использовались импульсы тока 70 кА электро­нов с энергией 1 МэВ.

5.7 Лазер на свободных электронах.

Принцип действия такого лазера основан на преобразовании энергии спектрального пучка релятиви­стских электронов в магнитном поле в излучение в опти­ческом диапазоне волн.

Схема лазера на свободных электронах:

1-зеркало; 2-пучок; 3-луч лазера; 4-знакопеременное магнитное поле; 5-ускоритель электронов.

Из рисунка видно, что ускори­телем электронов является устройство, выполненное в виде тороида, вокруг которого располагаются магнитные катушки. Магнитное поле, создаваемое этими катушками, управляется по определенному закону, обеспечивающему ускорение электронов от одного оборота к другому. Это позволяет получить очень высокие скорости электронов. Выбрасываемые из тороида электроны попадают в уст­ройство, называемое линейным ускорителем. Оно образовано магнитами с чередующимися полюсами. Это устройство напоминает резонатор. В нем образуется оп­тическое излучение, которое и выводится наружу. По­скольку процесс преобразования энергии электронов в оптическое излучение осуществляется непосредственно, то такой лазер обладает высоким кпд и может работать в режиме повторяющихся импульсов. Другим, очень важ­ным преимуществом лазера на свободных электронах, как утверждается, является возможность перестройки длины волны излучения, что особенно важно для обеспе­чения более эффективного прохождения излучения в ат­мосфере. Первые экспериментальные установки были слишком громоздкими. Ряд последующих образцов позволил зарубежным специалистам высказать мнение, что в будущем лазеры на свободных электронах найдут применение в системах оружия, размещаемого на космических и авиационных летательных аппаратах

5.8 Лазер на иттрий-алюминиевом гранате (ИАГ).

Этот лазер получил широкое распространение, благо­даря низкому порогу генерации и высокой теплопроводности активного элемента, что позволяет получать гене­рацию при большой частоте повторения импульсов и в непрерывном режиме.

Длина волны излучения лазера равна 1,064 мкм, мак­симальная длина активного элемента около 150 мм, энергия в одиночном импульсе до 30 Дж, длительность импульсов около 10 нс, а предельная частота повторе­ния – 500, кпд около 1 %.

5.9 Апротонный жидкостный лазер.

Свое название этот лазер получил потому, что в не­органических растворителях с активными лазерными ионами отсутствует водород. Именно отсутствие групп атомов с высококолебательными частотами и позволяет осуществить в них эффективную лазерную генерацию Nd3+ по четырехуровневой схеме с поглощением света накачки собственными полосами поглощения неоди­ма.

Эти лазеры имеют в своей основе токсичные и вязкие жидкости, которые к тому еще и агрессивны, что значи­тельно сужает выбор возможных конструкционных мате­риалов (кварц, стекло, тефлон) и вынуждает производить тщательную герметизацию кювет. Весьма сложной задачей является конструирование узлов прокачки рабо­чей жидкости.

Длина волны генерации составляет 1,056; 1,0525 мкм. Лазеры могут работать как в режиме свободной генера­ции, так и в моноимпульсном режиме, причем для них характерен режим самомодуляции добротности, проявляющийся при малых значениях добротности резонатора.

5.10 Лазер на парах меди.

Одним из достижении лазерной техники является по­лучение стимулированного излучения от среды, образо­ванной парами меди. Эти пары являются следствием газового разряда в гелии при большой частоте повторения импульсов и значительной средней мощности, обес­печивающей получение высокой температуры в газораз­рядной трубке – около 1600 °К. Излучение сосредо­точено на волнах 0,51 и 0,58 мкм. Кроме высокого коэффициента усиления, такие лазеры дают кпд, дохо­дящий до 1%. Средняя мощность лазера достигает 50Вт.

В связи с большим коэффициентом усиления и малой длительностью существования инверсии населенности для получения достаточно малой расходимости луча эффективно применение неустойчивых резонаторов.

5.11 Газодинамический лазер**.**

Нагретая до высокой температуры (1000—2000 К) смесь CO2 и N2 при истечении с большой скоростью через расширяющееся сопло сильно охлаждается. Верхний и нижний энергетический уровни при этом термоизолируются с различной скоростью, в результате чего образуется инверсная заселенность. Следовательно, образовав на выходе из сопла оптический резонатор, можно за счет этой инверсной заселенности генерировать лазерное излучение. Действующие на этом принципе лазеры называются газодинамическими. Они позволяют получать очень большие мощности излучения в непрерывном режиме.

6. Применение лазеров.

6.1 Лазеры в медицине.

Свойством лазерного луча сверлить и сваривать раз­личные материалы заинтересовались не только инжене­ры, но и медики. Они решили использовать его в каче­стве скальпеля. По сравнению с обычным такой скаль­пель обладает целым рядом достоинств:

во-первых, лазерный скальпель отличается постоянст­вом режущих свойств, надежностью в работе;

во-вторых, лазерный луч рассекает ткань на расстоя­нии, не оказывая на нее какого-либо механического дав­ления;

в-третьих, лазерный скальпель имеет абсолютную сте­рильность, поскольку с тканью взаимодействует только излучение, причем в области рассечения возникает вы­сокая температура;

в-четвертых, лазерный луч производит почти бескров­ный разрез, поскольку с рассечением тканей коагулируют края раны, как бы «заваривая» мелкие сосуды;

в-пятых, лазерный луч позволяет хирургу хорошо видеть оперируемый участок, в то время как скальпель за­гораживает рабочее поле.

Кроме того, рана от лазерного скальпеля (как пока­зали клинические наблюдения) почти не болит и отно­сительно скоро заживляется. Все это привело к тому, что лазерный скальпель был применен на внутренних органах грудной и брюшной полостей. Им делают операции на желудке, пищеводе, кишечнике, почках, печени, селезен­ке, сердце, делают кожно-пластические операции. Широ­ко используют в офтальмологии при лечении глазных болезней. Исторически сложилось так, что окулисты первые обратили внимание на возможность использова­ния лазера и внедрили **его** в клиническую практику.

Также лазеры применяются для лечения заболеваний слизистой оболочки рта, для сращивания костей после переломов, для ле­чения заболевания вен, приводящего к трофическим яз­вам, для лечения послеожоговых ран.

Трудно переоценить значение применения лазерной терапии при лечении многочисленных онкологических заболеваний, вызванных неконтролируемым делением видоизменённых клеток. Точно фокусируя луч лазера на скоплении раковых клеток, можно полностью уничтожить эти скопления, не повреждая здоровые клетки.

Разнообразные лазерные зонды широко используются при диагностике заболеваний различных внутренних органов, особенно в тех случаях, когда применение других методов невозможно или сильно затруднено.

Есть пример лечения ишемической болезни сердца с помощью лазера. Несмотря на значительные успехи современной медицины, ишемическая болезнь сердца остается одной из основных причин смертности взрослого населения ведущих стран мира. Ишемическая болезнь сердца — ухудшение кровоснабжения мышцы левого желудочка сердца (миокарда) — является одной из основных причин смертности населения индустриально развитых стран. По данным ВОЗ, надолго этого заболевания приходится до 60% смертельных исходов от всех видов сердечно­сосудистых заболеваний. До последнего времени единственным радикальным средством лечения ишемической болезни сердца являлась операция аорто-коронарного шунтирования (АКШ) — вве­дение обходных путей для коронарной артерии (байпасная хирургия), а также транслюминальная баллонная ангиопластика.

С середины 90-х годов в клинической практике получает распространение принципиально новый метод лечения ишемической болезни сердца — так называемая лазерная реваскуляризация миокарда (ТМЛР). В процессе такой операции в толще сердечной мышцы левого желудочка с помощью мощного лазерного излучения создаются каналы, открывающиеся в полость сердца. Эти каналы способствуют восстановлению кровообращения в ишемизированных зонах миокарда и предотвращают развитие инфаркта миокарда.

Процедура TMЛР предусматривает формиро­вание в миокарде (типичная толщина около 20 мм) до нескольких десятков каналов диаметром от 0,3 до 1,0 мм. Канал формируется в мышце работающего сердца за один мощный лазерный импульс. В этом случае импульс синхронизируется с R-зубцом электрокардиограммы пациента и может продол-жаться до T-зубца, что составляет около 150 мс, т.е. время воздействия излучения ограничено.

Во-первых, в этот момент времени левый желудочек сердца полностью наполнен кровью, которой поглощается часть прошедшего через канал излучения, что предохраняет от повреждения внутренние структуры сердца. Во-вторых, сводится к минимуму риск возникновения наведенной аритмии вследствие ударного воздействия лазерного импульса. Вероятность этого, по данным исследова­телей Texas Heart Institute, составляет для эксимерного лазера 67%, Ho:YAG - 55% и С02 лазера - 3%.

По сравнению с традиционной техникой аорто-коронарного шунтирования метод ТМЛР более прост в исполнении и существенно дешевле. Операция происходит на работающем сердце без использования аппарата искусственного кровообращения, относи­тельно малотравматична, а время непосредственно "Лазерной “ части не превышает, как правило, 30 мин.

6.2 Лазеры в информационных технологиях.

Поскольку лазерное излучение является электромагнитной волной, логично было бы предположить, что лазерный луч можно использовать для передачи информации примерно так же как мы передаём информацию с помощью радиоволн. С теоретической точки зрения никаких препятствий этому нет. Но на практике такая передача информации сталкивается с существенными трудностями. Эти трудности связаны с особенностями распространения света в атмосфере. Такое распространение, как известно, в значительной степени зависит от атмосферных помех: тумана, наличия пыли, атмосферных осадков и т.п. Не смотря на то, что лазерное излучение обладает совершенно уникальными свойствами, оно так же не лишено этих недостатков.

Одним из решений проблемы нейтрализации влияния атмосферных помех на распространение лазерного луча стало использование волоконно-оптических линий. Основу таких линий составляют тончайшие стеклянные трубочки (оптические волокна), уложенные в специальную непрозрачную оболочку. Конфигурация оптических волокон рассчитывается таким образом, чтобы при прохождении по ним лазерного луча возникал эффект полного отражения, что практически полностью исключает потери информации при её передаче. Волоконно-оптические линии обладают огромной пропускной способностью. По одной нитке такой линии можно одновременно передавать в несколько раз больше телефонных разговоров, чем по целому многожильному кабелю, составленному из традиционных медных проводов. Кроме того на распространение лазерного луча по волоконно-оптическим линиям не оказывают влияние практически никакие помехи. В настоящее время волоконно-оптические линии используются при передаче сигналов кабельного телевидения высокого качества, а так же для обмена информацией между компьютерами через интернет по выделенным линиям. Существуют уже и телефонные линии, построенные с использованием оптических волокон.

С появлением полупроводниковых лазеров появилась возможность использования их для записи и чтения информации на информационных носителях – лазерных компакт-дисках. Лазерный диск представляет собой круглую пластинку, изготовленную из алюминия, покрытую прозрачным пластмассовым защитным слоем. В начале изготавливается так называемый мастер-диск, на который с помощью луча лазера наносится информация в двоичном представлении. Лазерный импульс возникает только тогда, когда через записывающее устройство проходит логическая единица. В момент прохождения логического нуля импульс не возникает. В результате в некоторых местах поверхности диска, которые теперь соответствуют логическим единицам в массиве информации, алюминий испаряется. Мастер-диск служит матрицей, с которой печатаются многочисленные копии, причём на копии в тех местах, где на мастер-диске были светоотражающие участки, возникают выемки, рассеивающие свет, а в тех местах, где на мастер-диске были выемки, на копии остаются светоотражающие островки. Чтение информации с компакт-диска осуществляется так же лазером, только значительно меньшей мощности. Луч лазера направляется на вращающийся с большой скоростью диск под некоторым углом. Частота лазерных импульсов синхронизирована со скоростью вращения диска. Луч лазера, попадая на светоотражающий островок, отражается от него и улавливается фотоэлементом. В результате в электрической цепи считывающего устройства возникает ток и сигнал воспринимается как логическая единица. Если же луч лазера попадает на рассеивающую свет выемку, то отраженный луч проходит мимо фотоэлемента и электрического тока в цепи считывающего устройства не возникает. В этом случае сигнал интерпретируется как логический ноль. В настоящее время лазерные компакт-диски широко используются как для хранения компьютерной информации, так и для хранения и распространения музыкальных программ, предназначенных для воспроизведения на лазерных проигрывателях.

6.3 Применение лазеров в военном деле.

Лазерной локацией называют область оптикоэлектроники, занимающегося обнаружением и определением местоположения различных объектов при помощи электромагнитных волн оптического диапазона, излучаемого лазерами. Объектами лазерной локации могут быть танки, корабли, ракеты, спутники, промышленные и военные сооружения.

Лазерная дальнометрия является одной из первых областей практического применения лазеров в зарубежной военной технике. Первые опыты относятся к 1961 году, а сейчас лазерные дальномеры используются и в наземной военной технике(артиллерийские, таковые) , и в авиации (дальномеры, высотомеры, целеуказатели) , и на флоте. Эта техника прошла боевые испытания во Вьетнаме и на Ближнем Востоке. В настоящее время ряд дальномеров принят на вооружение во многих армиях мира.

Задача определения расстояния между дальномером и целью сводится к измерению соответствующего интервала времени между зондирующим сигналом и сигналом, отражения от цели.

Лазерные системы наведения управляемых ракет позволили перейти на сверхзвуковые скорости. Составной частью бортового оборудования ПТУР стала оптическая полуактивная головка самонаведения (ГСН). Подсвет танка лазерным целеуказателем формировал на цели световое пятно-мишень. На него наводилась ракета.

Для наведения бомбы на цель используется устройство, излучающее лазерный луч. Отражённый от цели луч принимается головкой наведения бомбы, которая отправляет сигнал системе управления бомбой, корректируя траекторию падения. Как правило, бомбы с лазерным наведением не имеют двигателей и оснащены только [оперением](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%28%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%29) для улучшения планирующих свойств. Существуют ракеты с лазерным наведением ([AS.30](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=AS.30&action=edit&redlink=1), модификации [AGM-65](http://ru.wikipedia.org/wiki/AGM-65)), которые благодаря наличию двигателя имеют бо́льшую дальность полёта и лучшую манёвренность. Однако некоторые бомбы с лазерным наведением оснащаются [ракетным двигателем](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) (например, американская [AGM-123](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=AGM-123&action=edit&redlink=1)).

В настоящее время производятся комплекты, включающие головку наведения и оперение. Эти комплекты могут быть установлены на обычные бомбы, делая возможным их наведение по лазерному лучу. Превращение таким образом обычных бомб в высокоточные обходится дешевле, чем изготовление бомб с лазерным наведением.

Многие страны мира разрабатывают оружие, в котором основным действующим элементом будет лазерный луч. В США в 2007 г. была испытана так называемая "лазерной пушки" воздушного базирования, которую предполагается использовать для противоракетной обороны страны. "Лазерная пушка" создает луч излучения, который может быть сфокусирован на пространстве размером с баскетбольный мяч. Этот луч имеет очень высокую температуру и может прошить насквозь ракету, которая находится на расстоянии в сотни километров от лазерной пушки.

Датчики «лазерной пушки» сумели обнаружить, захватить и осуществить сопровождение высокоскоростной цели, вертикально набирающей высоту. Датчики, в частности, реагировали на тепловое излучение раскаленного выхлопа реактивного двигателя истребителя F-16.

«Как отметил глава Агентства генерал-лейтенант Генри Оберинг, испытание, проведенное 1 мая, стало важным шагом в реализации программы создания лазерного элемента противоракетного щита. Предполагается, что "лазерная пушка" на Boeing сможет поражать баллистические ракеты на разгонном участке их траекторий полета».

Уничтожать баллистические ракеты будет высокоэнергетический химический лазер мегаваттного класса. Его наземные испытания прошли в декабре 2005 года. Лазер преодолел 10-секундный порог продолжительности работы, который необходим для разрушения ракет.

Лазерный целеуказатель (ЛЦУ) — портативное устройство, генерирующее [лазерное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80) в видимом или инфракрасном диапазоне [спектра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80). Совместно с оптическим прицелом используется для ускорения и облегчения прицеливания на коротких и средних дистанциях стрельбы.

Лазерный луч формирует на цели яркую точку, соответствующую месту попадания [пули](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D0%BB%D1%8F), как если бы та двигалась прямолинейно, а не по баллистической траектории. Как правило, на дистанциях стрельбы от 50 до 300 метров (в зависимости от типа оружия) пуля движется практически прямолинейно, что позволяет с достаточно малой погрешностью приравнять место нахождения создаваемой ЛЦУ светящейся точки к месту попадания пули. Лазерными целеуказателями комплектуется служебное стрелковое оружие, так же охотничье оружие и арбалеты.

6.4 Лазеры в промышленности. Обработка материалов и сварка.

Обработка материалов с помощью лазеров полу­чила название лазерной технологии. Вот что говорил об этом направлении академик Н. Г. Басов: «Лазерный луч — это уникальный тепловой источник, способный на­греть облучаемый участок детали до высоких температур за столь малое время, в течение которого тепло не ус­певает «растрескаться». Нагреваемый участок может быть при этом размягчен, рекристаллизован, расплавлен, наконец, его можно испарить. Дозируя тепловые нагруз­ки путем регулирования мощности и продолжительности лазерного облучения, можно обеспечить практически лю­бой температурный режим и реализовать различные виды термообработки. Лазерный нагрев используется для по­верхностной закалки и легирования металлов, для плав­ления при сварке, для плавления и испарения с выбросом паров при резке и сверлении» [13].

Как же проходят физические процессы при этом?

Если направить на металл лазерный луч и изменять его мощность, то при значении облученности в 105 Вт/см2 начнется плавление. Вблизи поверхности под световым пятном возникает область расплавленного металла. По­верхность расплава начнет перемещаться вглубь метал­ла по мере поглощения световой энергии. Площадь рас­плава будет расти, теплота начнет более интенсивно проникать в глубину. В конце концов установится неиз­менная поверхность расплава. Увеличим мощность лазе­ра, пусть облученность достигнет 107 Вт/см2. В этом слу­чае вместе с плавлением будет происходить кипение металла и его испарение. На поверхности образуется лун­ка, которая начнет изменяться в размерах. Еще увели­чим мощность лазера — пусть облученность достигнет Ю9 Вт/см2. В этом случае свет начнет ионизировать пары вещества, превращая их в плазму. Известно, что плазма интенсивно поглощает свет, поэтому доступ энергии к металлу прекратится.

В импульсном режиме работы лазера картина будет несколько иная. Если облученности достаточно, чтобы материал не только плавился, но и кипел, а длительность импульса мала - около 10-7 с, то в металле поглотится значительная часть энергии. Но за короткое время тепло не проникнет внутрь, поверхность расплава не увеличится и начнется интенсивное испарение. Следовательно, в дан­ном случае основная часть энергии тратится на испаре­ние, а не на плавление.

Таким образом, могут быть предложены следующие рекомендации по использованию лазеров для обработки металлов. Для сварки желательны импульсы порядка 10-2..10-4с, а для пробивания отверстий — 10-5... 10-6с при требуемой облученности, которая для каждого материала должна быть определенной.

Например, для того чтобы сделать отверстие в сталь­ной пластине толщиной в 1 мм лучом лазера, необходи­мо иметь длительность импульса 10-3 с и энергию около 0,5 Дж. В результате получим отверстие 0,1...0,2 мм. Чтобы получить отверстие в стальной пластине толщи­ной в 5 мм, нужен импульс с энергией от 20 до 100 Дж.

Очень существенного эффекта можно достигнуть при обработке сверхтвердых сплавов и таких материалов, как рубиновые камни, алмазы и т. п. В камне при толщине заголовки 0,5...1 мм отверстие пробивается серией им­пульсов, имеющих энергию 0,1...0,5 Дж при длительнос­ти 10-4 с. Это обеспечивает производительность в 1000 раз большую, чем при механическом сверлении от­верстий.

И, наконец, лазеры дают принципиально новый эф­фект при обработке материалов, отличающихся повы­шенной хрупкостью, таких как подложки микросхем, изготавливаемые из глиноземной керамики. Из-за высо­кой хрупкости механическое сверление отверстий в ней выполняют, как правило, «на сыром материале». Обжи­гает керамику уже после сверления. При этом происхо­дит некоторая деформация изделия, искажается взаимное расположение высверленных отверстий. Использование лазерного метода обработки снимает эту проблему, при­чем можно получать отверстия диаметром всего в 10 мкм.

Лазерным лучом можно резать любой материал: ткань, дерево, резину, пластмассу, керамику, стекло, лис­ты металла. И не просто резать, а получать аккуратные разрезы по сложным профилям. Для резки используются лазеры, дающие высокую последовательность импульсов, либо генерирующие энергию непрерывно. Требуемая мощность в этом случае зависит от материала и толщины заготовки. Так, например, для резки досок толщиной 50 мм применялся газовый лазер на СО2 мощностью 200 Вт, при этом ширина разреза составляла 0,7 мм. Для резки фанеры толщиной 25 мм необходима была мощность 8 кВт, скорость резания 1,5 м/мин. Для резки стекла толщиной 10 мм требовалась мощность 20 кВт.

Интересный эффект можно получить, если использо­вать «газолазерную резку», т. е. в процессе резки обду­вать металл струей кислорода. Тогда значительная часть энергии, затрачиваемая на процесс резания, получается за счет экзотермических реакций, в которые вступает ме­талл и кислород. При этом использование струи кисло­рода не только снижает требование к мощности, но и увеличивает скорость и глубину резания, а также, позво­ляет получить высококачественную кромку разреза, по­скольку струя кислорода уносит из зоны резания расплав и продукты сгорания металла.

 При резке металлов используется поддув кис­лорода, при резке неметаллов - поддув аргона,

|  |
| --- |
| Параметры газолазерной резки |
| Материал | Толщина, мм | Скорость, см/с | Мощность, Вт |
| Резина | 2,0 | 3,2 | 100,0 |
| Керамика | 6,3 | 1,0 | 850,0 |
| Фанера | 6,3 | 3,8 | 850,0 |
| Древесина твердая | 5,0 | 7,5 | 850,0 |
| Плексиглас | 30,0 | 0,5 | 850,0 |
| Мягкая сталь | 80,0 | 1,5 | 400,0 |
| Нержавеющая сталь | 5,0 | 1,2 | 850,0 |
| Титан | 3,8 | 4,2 | 250,0 |
| Нимоник 90 | 3,8 | 0,6 | 250,0 |
| Алюминий | 3,8 | 0,4 | 300,0 |

В авиационной промышленности налажено автома­тизированное резание листов титана, стали, алюминия. С помощью лазера на С02 мощностью 3 кВт лист титана при толщине в 5 мм разрезается со скоростью 3,5 м/мин, а при толщине в 50 мм - со скоростью 0,5 м/мин. Отме­чается, что использование кислородной струи даст умень­шение мощности лазера до 100...300Вт при достижении того же эффекта.

|  |
| --- |
| Параметры резки материалов лазером на С02 |
| Материал | Толщина, мм | Скорость резания м/мин | Ширина реза, мм | Мощность,кВт |
| Алюминий | 12,00 | 2,00 | 2,00 | 10,00 |
| Сталь: |   |
| углеродистая  | 6,25 | 2,00 | 1,00 | 15,00 |
| нержавеющая | 5,00 | 1,25 | 2,00 | 20,00 |
| Композиты: |   |
|  бор, углерод  | 8,00 | 1,65 | 1,00 | 15,00 |
| стеклопластик | 12,50 | 5,60 | 0,60 | 20,00 |
| Фанера | 25,00 | 1,50 | 1,50 | 8,00 |
| Плексиглас | 25,00 | 1,50 | 1,50 | 8,00 |
| Стекло | 9,00 | 1,50 | 1,00 | 10,00 |
| Бетон | 40,00 | 0,05 | 6,20 | 8,00 |

Можно сформулировать основные достоинства, кото­рые имеет лазерная обработка материалов:

во-первых, большое разнообразие процессов обработ­ки самых различных видов материалов (и даже таких, которые не поддаются механической обработке);

во-вторых, высокая скорость выполнения операций по обработке (иногда в 1000 раз большая, чем при меха­нической) ;

в-третьих, высокое качество обработки (гладкость сре­зов, прочность сварных швов, чистота обработки и др.);

в-четвертых, возможность высокоточной прецизион­ной обработки (изготовление фильер в алмазе, необхо­димых для волочения проволоки, изготовление отверстий в рубиновых камнях, необходимых для изготовления ча­совых механизмов и др.);

в-пятых, селективность воздействия на отдельные участки обрабатываемой поверхности и возможность дистанционной обработки (в том числе и поверхностей, расположенных за стеклянной перегородкой);

в-шестых, сравнительная легкость автоматизации опе­раций, способствующая существенному повышению про­изводительности труда.

Эти достоинства лазерной технологии, рассмотренные учеными еще на заре развития лазерной техники или предсказанные ими, привели *к* созданию целого ряда ла­зерных установок, которые широко используются в про­мышленности.

Особенности лазерной сварки. Можно отметить два этапа в развитии лазерной сварки. Сначала появилась точечная сварка. Для нее использовались рубиновые лазеры и лазеры на стекле с неодимом. Примерами при­менения точечной сварки служит соединение никелевого контакта с клеммой из никелевого сплава в основании транзистора, приваривание тонких медных проводов друг к другу или к клеммам, взаимное соединение микро­электронных компонентов.

Шовная сварка возникла с появлением газовых ла­зеров на С02, мощность которых составляла 100 Вт. Она использовалась для герметизации корпусов приборов, приваривания наконечников к лопастям газовых турбин, приварки режущих кромок из закаленной стали к полот­нам металлорежущих пил.

Дальнейшее развитие лазерной техники, позволившее получать выходную мощность 1...10 кВт, дало возможность осуществлять автоматическую сварку кузовов ав­томобилей, сварку листов титана на судостроительных верфях, сварку газопроводов, сварку карданных валов автомобилей. Результаты испытаний показали, что проч­ность сварных соединений достигает уровня прочности свариваемого материала. Из данных, полученных в лабо­ратории лазерной обработки Автозавода имени Лихаче­ва, следует, что скорость электродуговой сварки состав­ляет 15 м/ч, а скорость лазерной сварки 100 м/ч. Более того, если при электродуговой сварке необходимо выпол­нить 6-8 проходов, то при лазерной сварке хороший шов получается при одном проходе. Да и ширина шва лазерной сварки имеет более аккуратный вид — всего 6 мм, в отличие от электродуговой — 20 мм.

Помимо того есть еще и другие направления исполь­зования лазерного луча. К ним относятся: лазерная за­калка, лазерное остекловывание, поверхностное упроче­ние металлов, маркировка изделий, скрайбирование, лазерное легирование, лазерная металлургия.

Созданные в последние годы непрерывно генерирую­щие лазеры с мощностью до 6000 Вт открывают новые возможности при использовании их для решения ряда технических задач.

Заключение.

Лазеры прочно и навсегда вошли в нашу жизнь. Лазерные технологии дают человечеству неограниченные возможности. Они применяются практически во всех областях науки. С помощью лазеров проводят стыковку космических кораблей, сажают самолеты, стимулируют посевной материал в сельском хозяйстве, зондируют поля, лазерные шоу – неотъемлемая часть выступлений артистов и цирковых представлений. Уже продаются лазерные уровни и указки. Умельцы из пишущего привода от компьютера делают домашние лазеры, способные резать пенопласт, зажигать спички и прожигать отверстия в тонкой фанере.

Возможно, скоро мы увидим ручную лазерную пилу, которой будем пилить деревья. Или хозяйки будут резать хлеб лазерным ножом.

Сейчас невозможно представить себе жизнь и науку без лазерной техники.

Список литературы.

1. Орлов В. А. Лазеры в военной технике, Воениздат 1986 г.

2. Федоров Б. Ф. “Лазерные приборы и системы летательных аппаратов, “Машиностроение 1988 г.

3.Брюннер В., Юнге К. Справочник по лазерной технике. / Под ред. А.П. Напартовича. М., Энергоатомиздат, 1991 г.

4.Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники, ГОЛОВНОЕ издательство издательского объединения «Выща школа», Киев 1988 г.