# ПЛАН:

**1.Особенности лазерного излучения.**

**2.Природа лазерного излучения.**

**3.Разновидности лазеров. Газовые лазеры.**Одним из самых замечательных достижений физики второй половины двадцатого века было открытие физических явлений, послуживших основой для создания удивительного прибора оптического квантового генератора, или лазера.

Лазер представляет собой источник монохроматического когерентного света с высокой направленностью светового луча. Само слово “лазер” составлено из первых букв английского словосочетания, означающего ”усиление света в результате вынужденного излучения”.

Действительно, основной физический процесс, определяющий действие лазера, - это вынужденное испускание излучения. Оно происходит при взаимодействии фотона с возбужденным атомом при точном совпадении энергии фотона с энергией возбуждения атома (или молекулы)

В результате этого взаимодействия атом переходит в невозбужденное состояние, а избыток энергии излучается в виде нового фотона с точно такой же энергией, направлением распространения и поляризацией, как и у первичного фотона. Таким образом, следствием данного процесса является наличие уже двух абсолютно идентичных фотонов. При дальнейшем взаимодействии этих фотонов с возбужденными атомами, аналогичными первому атому, может возникнуть “цепная реакция” размножения одинаковых фотонов, “летящих” абсолютно точно в одном направлении, что приведет к появлению узконаправленного светового луча. Для возникновения лавины идентичных фотонов необходима среда, в которой возбужденных атомов было бы больше, чем невозбужденных, поскольку при взаимодействии фотонов с невозбужденными атомами происходило бы поглощение фотонов. Такая среда называется средой с инверсной населенностью уровней энергии.

Итак, кроме вынужденного испускания фотонов возбужденными атомами происходят также процесс самопроизвольного, спонтанного испускания фотонов при переходе возбужденными атомами в невозбужденное состояние и процесс поглощения фотонов при переходе атомов из невозбужденного состояния в возбужденное. Эти три процесса, сопровождающие переходы атомов в возбужденные состояния и обратно, были постулированы А. Эйнштейном в 1916 г.

Если число возбужденных атомов велико и существует инверсная выделенность уровней (в верхнем, возбужденном состоянии атомов больше, чем в нижнем, невозбужденном), то первый же фотон, родившийся в результате спонтанного излучения, вызовет всенарастающую лавину появления идентичных фотонов. Произойдет усиление спонтанного излучения.

На возможность усиления света в среде с инверсной населенностью за счет вынужденного испускания впервые указал в 1939 г. советский физик

В.А. Фабрикант, предложивший создавать инверсную населенность в электрическом разряде в газе.

При одновременном рождении (принципиально это возможно) большого числа спонтанно испущенных фотонов возникнет большое число лавин, каждая из которых будет распространяться в своем направлении, заданном первоначальным фотоном соответствующей лавины. В результате мы получим потоки квантов света, но не сможем получить ни направленного луча, ни высокой монохроматичности, так как каждая лавина инициировалась собственным первоначальным фотоном. Для того чтобы среду с инверсной населенностью можно было использовать для генерации лазерного луча, т. е. направленного луча с высокой монохроматичностью, необходимо “снимать” инверсную населенность с помощью первичных фотонов, уже обладающих одной и той же энергией, совпадающей с энергией данного перехода в атоме. В этом случае мы будем иметь лазерный усилитель света.

Существует, однако, и другой вариант получения лазерного луча, связанный с использованием системы обратной связи. Спонтанно родившиеся фотоны, направление распространения которых не перпендикулярно плоскости зеркал, создадут лавины фотонов, выходящие за пределы среды. В то же время фотоны, направление распространения которых перпендикулярно плоскости зеркал, создадут лавины, многократно усиливающиеся в среде вследствие многократного отражения от зеркал. Если одно из зеркал будет обладать небольшим пропусканием, то через него будет выходить направленный поток фотонов перпендикулярно плоскости зеркал. При правильно подобранном пропускании зеркал, точной их настройке относительно друг друга и относительно продольной оси среды с инверсной населенностью обратная связь может оказаться настолько эффективной, что излучением “вбок” можно будет полностью пренебречь по сравнению с излучением, выходящим через зеркала. На практике это, действительно, удается сделать. Такую схему обратной связи называют оптическим резонатором, и именно этот тип резонатора используют в большинстве существующих лазеров.

В 1955 г. одновременно и независимо Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым в СССР и Ч. Таунсом в США был предложен принцип создания первого в мире генератора квантов электромагнитного излучения на среде с инверсной населенностью, в котором вынужденное испускание в результате использования обратной связи приводило к генерации чрезвычайно монохроматического излучения.

Спустя несколько лет, в 1960 г., американским физиком Т. Мейманом был создан первый действующий квантовый генератор оптического диапазона – лазер, в котором обратная связь осуществлялась с помощью описанного выше оптического резонатора, а инверсная населенность возбуждалась в кристаллах рубина, облучаемых излучением ксеноновой лампы-вспышки. Рубиновый кристалл представляет собой кристалл оксида алюминия АL2О3 с небольшой добавкой = 0,05% хрома. При добавлении атомов хрома прозрачные кристаллы рубина приобретают розовый цвет и поглощают излучение в двух полосах ближней ультрафиолетовой области спектра. Всего кристаллами рубина поглощается около 15% света лампы-вспышки. При поглощении света ионами хрома происходит переход ионов в возбужденное состояние. В результате внутренних процессов возбужденные ионы хрома переходят в основное состояние не сразу, а через два возбужденных уровня. На этих уровнях происходит накопление ионов, и при достаточно мощной вспышке ксеноновой лампы возникает инверсная населенность между промежуточными уровнями и основным уровнем ионов хрома.

Торцы рубинового стержня полируют, покрывают отражающими интерференционными пленками, выдерживая при этом строгую параллельность торцов друг другу.

При возникновении инверсии населенностей уровней ионов хрома в рубине происходит лавинное нарастание числа вынужденно испущеных фотонов, и обратной связи на оптическом резонаторе, образованном зеркалами на торцах рубинового стержня, обеспечивает формирование узконаправленного луча красного света. Длительность лазерного импульс α=0,0001с, немного короче длительности вспышки ксеноновой лампы. Энергия импульса рубинового лазера около 1ДЖ.

С помощью механической системы (вращающееся зеркало) или быстродействующего электрического затвора можно “включить “ обратную связь (настроить одно из зеркал) в момент достижения максимальной инверсии населенностей и, следовательно, максимального усиления активной среды. В этом случае мощность индуцированного излучения будет чрезвычайно велика и инверсия населенности “снимется” вынужденным излучением за очень короткое время.

В этом режиме модулированной добротности резонатора излучается гигантский импульс лазерного излучения. Полная энергия этого импульса останется приблизитепьно на том же уровне, что и в режиме “свободной генерации”, но вследствие сокращения в сотни раз длительности импульса также в сотни раз возрастает мощность излучения, достигая значения =100000000Вт.

Рассмотрим некоторые уникальные свойства лазерного излучения.

При спонтанном излучении атом излучает спектральную линию конечной ширины. При лавинообразном нарастании числа вынужденно испущенных фотонов в среде с инверсной населенностью интенсивность излучения этой лавины будет возрастать прежде всего в центре спектральной линии данного атомного перехода, и в результате этого процесса ширина спектральной линии первоначального спонтанного излучения будет уменьшаться. На практике в специальных условиях удается сделать относительную ширину спектральной линии лазерного излучения в 1\*10000000-1\*100000000 раз меньше, чем ширина самых узких линий спонтанного излучения, наблюдаемых в природе.

Кроме сужения линии излучения в лазере удается получить расходимость луча менее 0,00001 радиана, т.е. на уровне угловых секунд.

Известно, что направленный узкий луч света можно получить в принципе от любого источника, поставив на пути светового потока ряд экранов с маленькими отверстиями, расположенными на одной прямой. Представим себе, что мы взяли нагретое черное тело и с помощью диафрагм получили луч света, из которого посредством призмы или другого спектрального прибора выделили луч с шириной спектра, соответствующей ширине спектра лазерного излучения. Зная мощность лазерного излучения, ширину его спектра и угловую расходимость луча, можно с помощью формулы Планка вычислить температуру воображаемого черного тела, использованного в качестве источника светового луча, эквивалентного лазерному лучу. Этот расчет приведет нас к фантастической цифре: температура черного тела должна быть порядка десятков миллионов градусов! Удивительное свойство лазерного луча - его высокая эффективная температура (даже при относительно малой средней мощности лазерного излучения или малой энергии лазерного импульса) открывает перед исследователями большие возможности, абсолютно неосуществимые без использования лазера.

Лазеры различаются: способом создания в среде инверсной населенности, или, иначе говоря, способом накачки (оптическая накачка, возбуждение электронным ударом, химическая накачка и т. п.); рабочей средой (газы, жидкости, стекла, кристаллы, полупроводники и т.д.); конструкцией резонатора; режимом работы (импульсный, непрерывный). Эти различия определяются многообразием требований к характеристикам лазера в связи с его практическими применениями.

**ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.**

Лазеры нашли широкое применение, и в частности используются в промышленности для различных видов обработки материалов: металлов, бетона, стекла, тканей, кожи и т. п.

Лазерные технологические процессы можно условно разделить на два вида. Первый из них использует возможность чрезвычайно тонкой фокусировки лазерного луча и точного дозирования энергии, как в импульсном, так и в непрерывном режиме. В таких технологических процессах применяют лазеры сравнительно невысокой средней мощности: это газовые лазеры импульсно-периодического действия, лазеры на кристаллах иттрий-алюминиевого граната с примесью неодима. С помощью последних были разработаны технология сверления тонких отверстий (диаметром 1-10 мкм и глубиной до 10-100 мкм) в рубиновых и алмазных камнях для часовой промышленности и технология изготовления фильеров для протяжки тонкой проволоки. Основная область применения маломощных импульсных лазеров связана с резкой и сваркой миниатюрных деталей в микроэлектронике и электровакуумной промышленности, с маркировкой миниатюрных деталей, автоматическим выжиганием цифр, букв, изображений для нужд полиграфической промышленности.

В последние годы в одной из важнейших областей микроэлектроники - фотолитографии, без применения которой практически невозможно изготовление сверхминиатюрных печатных плат, интегральных схем и других элементов микроэлектронной техники, обычные источники света заменяются на лазерные. С помощью лазера на ХеСL (1=308 нм) удается получить разрешение в фотолитографической технике до 0,15-0,2 мкм.

Дальнейший прогресс в субмикронной литографии связан с применением в качестве экспонирующего источника света мягкого рентгеновского излучения из плазмы, создаваемой лазерным лучом. В этом случае предел разрешения, определяемый длиной волны рентгеновского излучения (1=0,01-0,001 мкм), оказывается просто фантастическим.

Второй вид лазерной технологии основан на применении лазеров с большой средней мощностью от 1кВт и выше. Мощные лазеры используют в таких энергоемких технологических процессах, как резка и сварка толстых стальных листов, поверхностная закалка, направление и легирование крупногабаритных деталей, очистка зданий от загрязненных поверхностей, резка мрамора, гранита, раскрой тканей, кожи и других материалов. При лазерной сварке металлов достигается высокое качество шва и не требуется применение вакуумных камер, как при электроннолучевой сварке, а это очень важно в конвейерном производстве.

Мощная лазерная технология нашла применение в машиностроении, автомобильной промышленности, промышленности строительных материалов. Она позволяет не только повысить качество обработки материалов, но и улучшить технико-экономические показатели производственных процессов. Так, скорость лазерной сварки стальных листов толщиной 14 мкм достигает 100м/ч при расходе электроэнергии 10 кВт/ч.

### ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ

## **Газовыми** называются лазеры, в которых активной средой являются газ, смесь нескольких газов или смесь газов с парами металла.

Газовые лазеры представляют собой, пожалуй, наиболее широко используемый в настоящее время тип лазеров и, возможно, в этом отношении они превосходят даже рубиновые лазеры. Газовым лазерам также, по-видимому, посвящена большая часть выполненных исследований. Среди различных типов газовых лазеров всегда можно найти такой, который будет удовлетворять почти любому требованию, предъявляемому к лазеру, за исключением очень большой мощности в видимой области спектра в импульсном режиме. Большие мощности необходимы для многих экспериментов при изучении нелинейных оптических свойств материалов. В настоящее время большие мощности в газовых лазерах не получены по той простой причине, что плотность атомов в них недостаточно велика. Однако почти для всех других целей можно найти конкретный тип газового лазера, который будет превосходить как твердотельные лазеры с оптической накачкой, так и полупроводниковые лазеры. Много усилий было направлено на то, чтобы эти лазеры могли конкурировать с газовыми лазерами, и в ряде случаев был достигнут определенный успех, однако он всегда оказывался на грани возможностей, в то время как газовые лазеры не обнаруживают никаких признаков уменьшения популярности.

Особенности газовых лазеров большей часто обусловлены тем, что они, как правило, являются источниками атомных или молекулярных спектров. Поэтому длины волн переходов точно известны, они определяются атомной структурой и обычно не зависят от условий окружающей среды. Стабильность длины волны генерации при определенных усилиях может быть значительно улучшена по сравнению со стабильностью спонтанного излучения. В настоящее время имеются лазеры с монохроматичностыо, лучшей, чем в любом другом приборе. При соответствующем выборе активной среды может быть осуществлена генерация в любой части спектра, от ультрафиолетовой (~2000А) до далекой инфракрасной области (~ 0,4 мм), частично захватывая микроволновую область. Нет также оснований сомневаться, что в будущем удастся создать лазеры для вакуумной ультрафиолетовой области спектра. Разреженность рабочего газа обеспечивает оптическую однородность среды с низким коэффициентом преломления, что позволяет применять простую математическую теорию для описания структуры мод резонатора и дает уверенность в том, что свойства выходного сигнала близки к теоретическим. Хотя к. п. д. превращения электрической энергии в энергию вынужденного излучения в газовом лазере не может быть таким большим, как в полупроводниковом лазере, однако благодаря простоте управления разрядом газовый лазер оказывается для большинства целей наиболее удобным в работе как один из лабораторных приборов. Что касается большой мощности в непрерывном ре жиме (в противоположность импульсной мощности), то природа газовых лазеров позволяет им в этом отношении превзойти все другие типы лазеров.

Особенностью активной среды, находящейся в газовой фазе, является ее высокая оптическая однородность, что позволяет применять большие оптические длины резонатора и вследствие этого получать высокую направленность и монохроматичность излучения.

Типичный лазер на нейтральных атомах (атомарный) – это газоразрядный гелий-неоновый лазер, в котором используется смесь гелия и неона в соотношении примерно 10:1,5:1 при общем давлении в газоразрядной трубке около 80 Па. Вынужденное излучение создается атомами неона, а атомы гелия участвуют лишь в передачи энергии атомам неона (рис 1.)

При возбуждении газовой смеси электрическим током (постоянным или переменным с частотой около 30 МГц) возникает тлеющий разряд, подобный разряду в рекламной неоновой лампе. В электрическом разряде часть атомов неона переходит с основного уровня Е­1 на долгоживущие возбужденные уровни Е4 и Е5. Инверсия населенностей создается благодаря большей населенности этих уровней по сравнению с короткоживущим уровнем Е3. В чистом неоне созданию инверсии населенности мешает метастабильный уровень Е2, поэтому полезным оказалось введения в рабочую смесь гелия.

E3

E1

E2

E4

E3

E1

E2

E5

Возбуждение при столкновениях с электронами

Резонансная передача возбуждения

Возбуждение при столкновениях с электронами

*Красный свет*

 hν53

*ИК-излучение*

 hν43

*He*

*He*

*Основное состояние*

Рис.1. Схема энергетических уровней гелий-неонового лазера

Под действием электрического разряда часть атомов гелия ионизируется и образуется плазма, содержащая электроны с большой кинетической энергией. Эти электроны, сталкиваясь с атомами гелия, переводят их из основного состояния Е1 на долгоживущие возбужденные уровни Е2 и Е3, которые близки к уровням Е4 и Е5 неона. Поэтому при столкновениях возбужденных атомов гелия с невозбужденными атомами неона возникает высокая вероятность *резонансной передачи возбуждения*, в результате чего атомы неона оказываются на уровнях Е4 и Е5, а атомы гелия возвращаются в основное состояние. Вероятность возбуждения атомов неона до уровней Е2 и Е3­­ за счет столкновений с атомами гелия мала, так как энергия этих состояний существенно отличается от энергии уровней Е2 и Е3­­ гелия. Таким образом, использование вспомогательного газа – гелия дает возможность осуществить дополнительно заселение энергетических уровней неона и получить инверсию населенностей между уровнями Е3 и Е4 , Е5 .

Поскольку уровень Е3 неона является короткоживущим, на переходах Е4→Е3 и Е5→Е3, можно получить непрерывную генерацию. Переходу Е4→Е3 соответствует генерация в ближней инфракрасной области с длиной волны 1,153 мкм, а переходу Е5→Е3 – в красной области видимого спектра с длиной волны 0,6328 мкм. Каждый из уровней Е3, в диапазоне видимого и инфракрасного спектров гелий-неоновый лазер может содержать большое число (~130) спектральных линий. Выделение нужной спектральной линии осуществляется подбором зеркал оптического резонатора, введением в резонатор диспергирующего или селективно поглощающего элемента, постоянного магнита. Между уровнями Е4 и Е­5 неона есть еще один короткоживущий уровень, переход атомов на который с уровня Е5 позволяет получить генерацию на длине волны 3,392 мкм.

В гелий-неоновом лазере рабочая газовая смесь находится в газоразрядной трубке, длина которой может достигать 0,2…1 м. Трубка изготавливается из высококачественного стекла или кварца. Мощность генерации существенно зависит от диаметра трубки. Увеличение диаметра ведет к увеличению рабочей смеси, что способствует возрастанию мощности генерации. Однако с увеличением диаметра трубки уменьшается электронная температура плазмы, что приводит к уменьшению числа электронов, способных возбуждать атомы газов, что в конечном итоге снижает мощность генерации. Для уменьшения потерь торцы газоразрядной трубки закрыты плоскопараллельными пластинками, которые расположены не перпендикулярно к оси трубки, а так, чтобы нормаль к этой пластинке составляла с осью трубки угол iБ=arctg n (n – показатель преломления материала пластинки), называемый *углом Брюстера*. Особенность отражения электромагнитной волны от границы раздела различных сред под углом iБ широко применяется в лазерной технике. Установка выходных окон кювета с активной средой под углом Брюстера однозначно определяет поляризацию лазерного излучения. Для излучения, поляризованного в плоскости падения, потери в резонаторе минимальны. Естественно, именно это линейно-поляризованное излучение устанавливается в лазере и является преобладающим.

Газоразрядная трубка помещена в оптический резонатор, который образован зеркалами с интерференционным покрытием. Зеркала закреплены во фланцах, конструкция которых позволяет поворачивать зеркала в двух взаимно перпендикулярных плоскостях при юстировке путем вращения юстировочных винтов. Возбуждение газовой смеси осуществляется путем подачи высокочастотного напряжения с блока питания на электроды. Блок питания представляет собой высокочастотный генератор, обеспечивающий генерирование электромагнитных колебаний с частотой 30 МГц при помощи в несколько десятков ватт.

Широко распространено питание газовых лазеров постоянным током при напряжении 1000…2000 В, получаемым с помощью стабилизированных выпрямителей. В этом случае газоразрядная трубка подогревным и холодным катодом и анодом. Для зажигания разряда в трубке используется электрод, на который подается импульсное напряжение около 12 кВ. это напряжение получают путем разряда конденсатора емкостью 1…2 мкФ через первичную обмотку импульсного трансформатора.

Достоинством гелий-неоновых лазеров являются когерентность их излучения, малая потребляемая мощность (8…10 Вт) и небольшие размеры. Основные недостатки – невысокий КПД (0,01…0,1 %) и низкая выходная мощность, не превышающая 60 мВт. Эти лазеры могут работать в импульсном режиме, если для возбуждения использовать импульсное напряжение большой амплитуды при длительности в единицы микросекунд. Главные области практического применения гелий-неоновых лазеров – научные исследования и измерительная техника.

Из ионных лазеров наибольшее распространение получил аргоновый лазер непрерывного излучения на длине волны 0,48 мкм. Ионы аргона образуются в кювете в результате ионизации нейтральных атомов Ag II током большой плотности (~103 А/см3).

Инверсия населенностей в таком лазере между верхним (4*p*) и нижним (4s) рабочими уровнями создается таким образом. Уровень 4*p*, имеющий по сравнению с уровнем 4s большее время жизни, заселяются ионами аргона за счет из столкновения с быстрыми электронами в газовом разряде за счет переходов возбужденных ионов из группы расположенных выше уровней 5*p*. В то же время уровень 5*p,* обладающий очень коротким временем жизни, быстро опустошается за счет возвращения ионов в основное состояние. Так как уровни 5*p*, 5s, 4*p* состоят из групп подуровней, генерация может происходить одновременно на нескольких длинах волн: от 0,45 до 0,515.

В настоящие время аргоновые ионные лазеры являются самыми мощными источниками непрерывного когерентного излучения в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра. Широкому распространению мощных аргоновых лазеров мешают их высокая стоимость, сложность, малый КПД (~0,1 %) и большая потребляемая мощность (3…5 кВт).

**КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

Первые расчеты, касающиеся возможности создания лазеров, и первые патенты относились главным образом к газовым лазерам, так как схемы энергетических уровней и условия возбуждения в этом случае более понятны, чем для веществ в твердом состоянии. Однако первым был открыт рубиновый лазер, хотя вскоре был создан и газовый лазер. В конце 1960 г. Джаван, Беннет и Херриотт создали гелий-неоновый лазер, работающий в инфракрасной области на ряде линий в районе 1 мкм. В последующие два года гелий-неоновый лазер был усовершенствован, а также были открыты друг е газовые лазеры, .работающие в инфракрасной области, включая лазеры с использованием других благородных газов и атомарного кислорода. Однако наибольший интерес к газовым лазерам был вызван открытием генерации гелий-неонового лазера на красной линии 6328 А при условиях, лишь незначительно отличавшихся от условий, при которых была получена генерация в первом газовом лазере. Получение генерации в видимой области спектра стимулировало интерес не только к поискам дополнительным переходов такого типа, но и к лазерным применениям, так как при этом были открыты многие новые и неожиданные явления, а лазерный луч получил новые применения в качестве лабораторного инструмента. Два года, последовавшие за открытием генерации на линии 6328 А, были насыщены большим количеством технических усовершенствований, направленных главным образом на достижение большей мощности и большей компактности этого типа лазера. Тем временем продолжались поиски новых длин волн и были открыты многие инфракрасные и несколько новых переходов в видимой области спектра. Наиболее важным из них является открытие Матиасом и импульсных лазерных переходов в молекулярном азоте и в окиси углерода.

Следующим наиболее важным этапом в развитии лазеров было, по-видимому, открытие Беллом в конце 1963г. лазера, работающего на ионах ртути. Хотя лазер на ионах ртути сам по себе не оправдал первоначальных надежд на получение больших мощностей в непрерывном режиме в красной и зеленой областях спектра, это открытие указало новые режимы разряда, при которых могут быть обнаружены лазерные переходы в видимой области спектра. Поиски таких переходов были проведены также среди других ионов. Вскоре было обнаружено, что ионы аргона представляют собой наилучший источник лазерных переходов с большой мощностью в видимой области и что на них может быть получена генерация в непрерывном режиме . В результате дальнейших усовершенствований аргонового лазера в непрерывном режиме была получена наиболее высокая мощность, какая только возможна в видимой области. В результате поисков была открыта генерация на 200 ионных переходах, сосредоточенных главным образом в видимой, а также в ультрафиолетовой частях спектра. Такие поиски, по-видимому, еще не окончены; в журналах по прикладной физике и в технических журналах часто появляются сообщения о генерации на новых длинах волн,

Тем временем .технические усовершенствования лазеров быстро расширялись, в результате чего исчезли многие “колдовские” ухищрения первых конструкций гелий-неоновых и других газовых лазеров. Исследования таких лазеров, начатые Беннетом , продолжались до тех пор, пока не был создан гелий-неоновый лазер, который можно установить на обычном столе с полной уверенностью в том, что лазер будет функционировать так, как это ожидалось при его создании. Аргоновый ионный лазер не исследован столь же хорошо; однако большое число оригинальных работ Гордона Бриджеса и позволяет предвидеть в разумных пределах возможные параметры такого лазера.

На протяжении последнего года появился ряд интересных работ, посвященных газовым лазерам, однако еще слишком рано определять их относительную ценность. Ко всеобщему удивлению наиболее важным достижением явилось открытие Пейтелом генерации вынужденного излучения в СО2 на полосе 1,6 мк с высоким КПД. выходная мощность в этих лазерах может быть доведена до сотен ватт, что обещает открыть целую новую область лазерных применений.**Список использованной литературы:**

Энциклопедический словарь юного физика (гл. редактор Мигдал А.Б.)

Москва “Педагогика” 1991г.

Н.М. Шахмаев, С.Н. Шахмаев, Д.Ш. Шодиев “Физика 11”

Москва “Просвещение” 1993г.

О.Ф.Кабардин “Физика” Москва “Просвещение” 1988г.

”Газовые лазеры” (под. ред. Н.Н. Соболева) Москва “Мир” 1968г.

”Основы лазерной техники” Байбородин Ю. В. 2-е изд., К.:1988, 383с.