ХV Региональный конкурс молодых исследователей «Ступень в науку»

Секция: **Физика.Астрономия**

Тема: **«Лазеры и их применение. Влияние лазерного излучения на всхожесть семян гороха»**

Автор работы:

**Сланова Камилла Джамболатовна**

Место выполнения работы:

**МБОУ СОШ № 1им.**

**Заслуженного учителя РФ А.А.Агаева**

**с.Камбилеевское, 8 класс**

Научный руководитель:

**Рыжкова Александра Андреевна,**

учитель физики

Владикавказ, 2017-2018

**Оглавление**

1. Введение ………………………………………………………………………………………….3
2. История лазера……………………………………………………………………………………6
3. Теоретические сведения………………………………………………………………………….8
4. Принцип действия и устройство лазера. Свойства лазерного излучения …………………...10
5. Способы возбуждения активных средств ……………………………………………………...12
6. Модовая структура излучения лазера …………………………………………………………14
7. Режимы работы лазера …………………………………………………………………………..15
8. Разновидности лазеров ..………………… …………………………………………………… 17
9. Лазерная технология промышленного разделывания сельскохозяйственных культур …….20
10. Заключение……………………………………………………………………………………….22
11. Список использованной литературы…………….……………………………………………..23
12. Приложение………………………………………………………………………………………24

**ВВЕДЕНИЕ**

Лазер представляет собой источник монохроматического когерентного света с высокой направленностью светового луча.

Лазер – это генератор электромагнитного изучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

Излучение лазера это по сути дела поток летящих практически параллельно одинаковых фотонов. Такое излучение обладает рядом очень важных особенностей. 1 особенность – очень малая расходимость лазерного излучения. Если например, диаметр лазерного пучка 1 см., а длинна волны 5\*10-3 см, то угол расходимости составляет всего лишь 5\*10-5рад или 0,003°.

Вторая особенность лазерного излучения – высокая монохроматичность, т.е. излучение имеет одну единственную частоту и соответствующую ей одну – единственную длину волны. Это объясняется тем, что у всех фотонов в лазерном пучке одинаковая энергия.

Третья особенность лазерного излучения состоит в том, что можно в широких пределах управлять длительностью излучения от сколь угодно длительных до сверх коротких (10-14-10-15с) импульсных вспышек. Импульсы света такой малой длительности имеют в пространстве ничтожно малую длину и огромную мощность. Современные лазеры излучают в одном импульсе энергию до нескольких тысяч джоулей. Это соответствует мощности, во много раз большей, чем у крупнейших электростанций.

За счет наличия уникальных выходных параметров, лазеры широко используются в самых разных областях науки и техники: в физике и химии, в биологии и медицине, голографии и оптической обработке и записи информации, оптической связи, для протекания процесса термоядерного синтеза, промышленной технологии, для измерения и контроля в военных целях и еще в целом ряде областей.

Лазерный луч может проникать через вещества, непрозрачные для обычного света. При этом возможно явление самофокусировки. Иногда наблюдается увеличение частоты лазерного излучения в два три раза, если оно проходит через некоторые вещества, например, инфракрасное излучение, становиться зеленным, частота которого в два раза выше. Такое явление называют генерацией гармоник. Оно объясняется тем, что при взаимодействии лазерного излучения с атомами вещества возможно объединение двух, трех или более квантов в один.

Лазерное излучение способно управлять движением атомов. Взаимодействие лазерного излучения с атомами вещества вызывает появление в секторе этого вещества новых линий, по которым можно судить о некоторых ране неизвестных свойствах вещества, т.е. лазеры привели к развитию нового направления в спектроскопии – нелинейной спектроскопии.

Важная область применения лазерного излучения – связь. Для лазерной связи характерно высокая направленность и огромный диапазон частот.

На применении лазерного излучения основана голография – область науки и техники, занимающаяся получением объемных изображений, а так же оптической обработкой информации и ее хранением. Исключительно важно применение лазерного излучения в медицине и биологии. В биологии лазер используют главным образом для диагностических целей:

- флуоресценция, вызванная действием сверх коротких лазерных импульсов в молекулах ДНК.

- резонансное комбинационное рассеяние для изучение биомолекул, таких, как гемоглобин или родопсин.

- фотокорреляционная спектроскопия для получения информации о структуре и степени агрегации различных биомолекул.

В биологии лазеры используют так же для создания необратимых изменений в данной биомолекуле. В медицине лазеры применяются в хирургии и офтальмологии. Развиваются также и некоторые диагностические методы с помощью лазера.

Необходимо использование лазеров в промышленной технологии. Благодаря большой степени интенсивности, получаемой в фокальном пятне лазерного пучка большой мощности, лазеры нашли многочисленные применения и при обработке материалов: сварке, резке, сверлении, поверхностной закалке и легировании. При воздействии лазерного излучения на материалы, облучаемый участок вначале нагревается, плавиться и испаряется. Дозируя тепловые нагрузки, можно достигать практически любого теплового режима нагреваемого участка, который в последствии и определяет вид технологической обработке.

Лазеры нашли широкое применение для измерения и контроля. Высокая направленность излучения лазера позволяет использовать их в качестве идеального инструмента для прямой эталонной линии при установке и выравнивании деталей в самолетостроении, гражданском строительстве. Для этих целей применяют обычно **He-Ne** лазер низкой мощностью **≈1мВт** достигаемая на практике точность установки 5 мкм на расстоянии пять метров.

Лазеры широко используют для измерения расстояний с помощью интерферометрических методов. В качестве источника света применяется стабилизированный по чистоте **He-Ne** – лазер.

Телеметрический метод с амплитудной модуляцией используется для вычисления больших расстояний. В этом случае лазерный пучок модулируется по амплитуде, и расстояние измеряется по разности фаз между испущенным и отраженным пучком. Расстояние от земли до луны определено с точностью до 20см. Высокая степень монохроматичности позволяет применять лазеры для определения скорости, как жидкостей, так и твердых тел с помощью доплеровской спектроскопии. Текущая жидкость или движущееся тело освещается лазером, а рассеянное излучение, частота которого сдвигается вследствие эффекта Доплера, регистрируется с помощью детектора биения между рассеянным и исходным световыми пучками. При этом сдвиг частоты всегда пропорционален скорости.

Другая область, в которой нашли применение такие свойства лазеров как направленность и монохроматичность, - это измерение концентрации различных загрязнений в атмосфере. Лазерный способ позволяет быстро и автоматически получить необходимые данные. Существующую системы назвали лидар. При взаимодействии лазерного излучения с атмосферными загрязнениями происходит упругое рассеяние, комбинационное рассеяние, флуоресценция и поглощение. Каждое из этих явлений используется для обнаружения и измерения концентрации большого числа различных атмосферных загрязнений (SO2, NO2,NO и др.). Для этих целей применяются как рубиновый, так и неодимовый лазер с удвоителем чистоты, лазеры на красителях.

Лазеры широко применяют в сельском хозяйстве в виде информационных технологий и технологий управления функциональной активностью живых организмов.

Информационные технологии, основанные на использовании лазеров для получения информации о живых организмах в среде их обитания. Типовые направления их использования:

- лидарные устройства для оценки физиологического состояния посевов и отдельных растений.

- лазерное зондирование почвы, воды и воздуха на предмет выявления техногенных загрязнений. Дистанционная экологическая оценка территорий.

- лазерная локация агроценозов и лесов, определение структуры и топологии посевов, таксация насаждений. Регистрация высоты растений, плотность биомассы, их функционального состояния с целью оптимизации процессов возделывания и уборки урожая.

Технологии управления функциональной активностью живых организмов основаны на стимулирующем действии низкоинтенсивного света определенных спектральных диапазонов. Наибольший биологический эффект оказывает лазерное излучение, обладающее высокой когерентностью. Кратковременное облучение (единицы секунд или минут) возбуждает специфические белки – хромопротеиды (криптохром, фитохром и др.) фоторегуляторных систем клетки. В результате возрастает функциональная активность всего организма, что может проявляться в повышении регенерационной способности, устойчивости продуктивности. Таким образом, не изменяя наследственной программы сельскохозяйственных растений и животных, удается более полно использовать их генетический потенциал.

**ИСТОРИЯ ЛАЗЕРА**

В 1918г. за открытие элементарной порции – энергии кванта – Макс Планк был награжден нобелевской премией. Планк работал с абсолютно черным телом, объектом, поглощающим все длины волн подающего на него света. Он пытался объяснить, почему абсолютно черное тело излучает не равномерно на разных длинах волн.

В своей очень важной работе опубликованной в 1900 году, Планк привел выражение, связывающее частоту электромагнитного излучения и энергию кванта, постулируя при этом, что энергия может излучаться или поглощаться дискретно, даже если эти порции энергии достаточно малы. Его теория вдохновила на дальнейшие исследования в этой области многих прогрессивных ученных того времени, и в частности таких как Альберт Эйнштейн. В 1905г. тот опубликовал свой знаменитый доклад о фотоэффекте, в котором, утверждал, что энергия, которую сообщает электронам в фотоматериале подающий свет, также дискретна, и наименую единицу этой дискретности он назвал фотоном. В 1917 году Эйнштейн выдвинул теорию, вынужденного излучения согласно которой, кроме процессов спонтанного поглощения и излучения света существует возможность вынужденного (или стимулированного) излучения, когда можно «заставить» электроны излучить свет определенной длины волны одновременно.

26 апреля 1951 года Чарльзу Таунсу из Колумбийского университета, пришла в голову идея о создании лазера (microwave amplification by stimulated emission of radiation) – прибора, усиливающего микроволновые колебания с помощью явления вынужденного излучения. В 1954 году этот первый мазер был продемонстрирован Таунсом, Гербертом Цайгером и выпускником Колумбийского университета Джеймсом Гордоном. Мазер излучал на длине волны 1см и генерировал мощность около 10 нВт.

Наши соотечественники Николай Басов и Александр Прохоров ученные физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева в Москве, в 1955году предложили трехуровневый метод накачки мазера. Молекулы с помощью излучения накачки переходят на третий (верхний) уровень, время жизни молекул на данном уровне кратковременно. Затем молекулы релаксируют на метастабильный (промежуточный) уровень и впоследствии испучают энергию, которая равна разности между промежуточным и основным уровнями.

16 мая 1960 года физик из Калифорнии Теодор Мейман создает первый лазер на рубине. Кристалл рубина был 1 см в диаметре и около 2 см в длину. Боковые грани стержня были покрыты серебром для создания резонатора типа Фабри – Перо. В качестве источника накачки использовалась лампа вспышка. 7 июня была созвана пресс-конференция, во время которой действия рубинового лазера было представлено общественности. В ноябре 1960 года учеными IBM был продемонстрирован твердотельный лазер, работающий по 4-х уровневой схеме накачки. Первый газовый (гелий-неоновый) лазер, излучающий в ИК области спектра на длине волны 1,15 мкм, создали Али Яван, Вильям Беннет и Дональд Херриот из Bell Labs в декабре 1960г. На коммерческом рынке лазеры появились с начала 1961 г. Далее история лазеров развивалась стремительными темпами. Появились лазеры, использующие в качестве активного элемента самые разнообразные как жидкие, так твердотельные и газообразные вещества. Лазер на неодиме появляется октябре 1961 года в American Optical Co. Его изобретатель – Элиас Снитцер. В декабре этого же года в США провели первую операцию на сетчатке с использованием рубинового лазера. Полупроводниковый лазер на галлий – арсениде изобрели сотрудники GE, IBM, MIT` s Lincoln Laboratory. Это устройство, превращающее электрический ток непосредственно в ИК излучения.

Всем известные **Ga As P** – светодиоды, излучающие в красном диапазоне, появились в 1961 г. благодаря Нику Холоньяку мл. Сегодня это основа для красных LED, используемых CD, DVD – плеерах, сотовых телефонах. Лазер на иттрий – алюминиевом гранате (YAG) появился в июне 1962 г. в 1963 году разрабатываются принципы лазеров с синхронизацией мод. В современном мире без них трудно представить оптическую связь и фемтосекундные лазеры. В 1962 г. Герберт Кромер из университета Калифорнии и команда ученных под руководством университета Жореса Алфёрова из института им. А.Ф. Иоффе в Санкт-Петербурге предложили использовать гетероструктуры в работе полупроводниковых лазеров. В 2000 году оба ученых получили за это Нобелевскую премию.

В марте 1964 г. благодаря Вильяму Бриджесу из США появляется аргоновой лазер. КПД его был низок, зато излучал он на нескольких длинах волн, в том числе УФ диапазоне. В 1964 г. Таунс, Басов и Прохоров были удостоены Нобелевской премии за труд в области квантовой электроники, в результате которого были созданы колебательные системы и усилители, работающие на мазер – лазерном принципе. В том же году создали СО2 лазер, который и сейчас используется в промышленности и медицине.

В 1966 г. создан лазер на красителях, накачка которого осуществлялась рубиновым лазером. За изобретение «накачки» лазеров и мазеров Нобелевской премии в 1966 году был удостоен французский физик Альфред Кастлер. В 1970 г. в ФИАН СССР им. Лебедева Басов, Данилевич и Попов изобрели эксимерный лазер. В 1972 г. был изобретен лазер на квантовой яме.

1976 г. создали лазер на свободных электронах. Вместо активной среды этот лазер использует пучок электронов, разгоняемый до больших скоростей и пропускаемый через поперечное магнитное поле для получения когерентного излучения.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Атомные и молекулярные среды занимают важную роль для фундаментального понимания физики лазеров, в особенности таких лазеров как атомные и молекулярные газовые лазеры или лазеры на красителях.

Согласно современному представлению, полная энергия атомных систем представляет собой систему следующих составляющих:

1. Электронной энергии **Ее,**обусловленной движением электронов вокруг ядер;
2. Колебательной энергией **Еv**, связанной с колебанием ядер;
3. Вращательной энергией **Еr**, обусловленной вращением атомной системы.

Квантовые представления атомных систем впервые были сформированы Нильсом Бором в 1913 г. в двух постулатах.

Первый постулат – атомная система является устойчивой лишь в определенных, стационарных энергетических состояниях, соответствующих некоторой дискретной последовательности значений энергии системы.

Второй постулат – электромагнитное излучение, связанное с переходом атомной системы из стационарного состояния с энергией **Еy**в стационарное состояние с энергией **Е1**является монохроматическим и его частота v определяется соотношением **E1-Ey=hv.** Где **h** – постоянная Планка.

Согласно Планку, любое излучение состоит из отдельных квантов. Вследствие этого энергия излучения всегда равно энергии целого числа квантов. Однако энергия отдельного кванта зависит от частоты. **E=hv**

Квантование энергии означает, что излучение представляет собой поток частиц. Эти частицы называют фотонами, однако они не являются частицами в смысле классической физики. По аналогии между энергиями стационарных состояний и потенциальной энергией тела, поднятого на различные высоты, на **рисунке № 1** изображена простейшая диаграмма уровней энергии, образующих дискретную последовательность.

Каждому предполагаемому переходу между дискретными уровнями энергии соотносится определенная спектральная линия, определяемая в спектре значением частоты монохроматического излучения. Частоты спектральных линий обозначены как ν**12,ν13,ν23,** и т.д.

Из основного соотношения **Ei – Ey=hν** вытекает, что между частотами различных спектральных линий должны выполняться соотношения типа **νik=νij+νjk**

Весьма существенным является направление переходов между энергетическими состояниями. Переход с некоторого нижнего уровня, на какой либо верхний уровень соответствует увеличению энергии атомной системы, т.е. поглощению фотона. Такой процесс называется поглощением. Переход с некоторого верхнего уровня, на какой – либо нижний уровень соответствует уменьшению ее энергии, т.е. испусканию фотона. Такой процесс называют излучением. Различают два типа излучения – спонтанное и вынужденное излучение. Рассмотрим в некоторой среде два энергетических уровня 1 и 2 с энергиями **Е1 и Е2 (Е1 < Е2).** Этими уровнями могут быть любые два уровня из неограниченного набора уровней свойственных данной среде. Предположим, что атом первоначально находиться на уровне 1.пусть на вещество падает электромагнитная волна с частотой **ν**, определяемая выражением

В таком случае существует конечная вероятность того, что атом перейдет на верхний уровень 2. Разность энергий **Е1 - Е2**, необходимая для того, чтобы атом совершил переход, берется из энергии падающей электромагнитной волны. В этом заключается процесс поглощения.

А теперь предположим, что атом первоначально находился в соответствующем уровню 2. Поскольку **Е1 < Е2**, атом будет стремиться перейти на уровень 1. Следовательно, из атома должна выделиться соответствующая разность энергии **E2-E1**. Когда эта энергия выделятся в виде электромагнитной волны, процесс называют спонтанным излучением.

При вынужденном излучении, атом первоначально также находится на верхнем уровне 2 и на вещество падает электромагнитная волна с частотой V. Поскольку частоты падающей волны и излучения равны друг другу, имеется конечная вероятность того, что падающая волна вызовет переход атома с уровня 2 на уровень 1. При этом разность энергий **ΔЕ = Е2 – Е1** выделится в виде электромагнитной волны, которая добавится к падающей.

В случае спонтанного излучения атом испускает электромагнитную волну, фаза которой не имеет определенной связи с фазой волны, излученной другим атомом. Испущенная волна может иметь любое направление распространения. В случае вынужденного излучения, излучение любого атома добавляется к падающей волне в той же фазе, и распространяются в направлении падающей волны. Схематически процесс поглощения, спонтанного излучения, вынужденного излучения показан на **рисунке №2**

Каждый отдельный переход определяется, наряду с частотой перехода, распределением интенсивности перехода. Интенсивности перехода зависят от вероятности отдельных переходов и от числа атомных систем в различных стационарных состояниях – от наполненности различных уровней энергий.

**12 N1**

Где **N1** – число атомов в единице объема, которые в данный момент времени находятся на уровне 1.

**W12** – вероятность поглощения, или коэффициент Эйнштейна.

**= - AN ; = - W21N2 ;**

Где **N2** - число атомов, в единице объема которые в данный момент находятся на уровне 2.

Это так называемые скоростные уравнения для спонтанного и вынужденного излучения, где **А и W21**- это вероятность спонтанного излучения и вероятность вынужденного излучения.

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ЛАЗЕРА**.

Лазерное излучение основано на эффекте увеличения интенсивности спонтанного излучения за счет индуцированного внешнего электромагнитного поля, т.е. создания инверсии населенностей при котором происходит вынужденное излучение. Само слово «laser» представляет собой аббревиатуру фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», которая переводится как «усиление света за счет вынужденного испускания излучения». Лазер, оптическая схема которого приведена на **рисунке №3** состоит из трех компонентов:

1. Активный элемент (АЭ), который усиливает падающую электромагнитную волну
2. Система накачки, которая селективно накачивает энергию в активную среду, чтобы заселить выбранные энергетические уровни и достичь инверсной населенности.
3. Оптический резонатор, состоящий из двух расположенных друг против друга зеркал (**М1 и М2)** и накапливающий часть индуцированного излучения, сконцентрированного в нескольких модах резонатора.

Усиление электромагнитной волны в среде возможно только при условии, что **N2 ˃ N1** где **N2 , N1 -** число атомов в единице объема, которые в данный момент времени находятся на уровне 1 и 2.

Преобладание индуцированных процессов показано тем, чтобы или показатель усиления вещества, через которое проходит свет, был достаточно большим, или обеспечивался многократный проход фотонов лазерного излучения через усиливающую среду. Среда, в которой создана инверсия населенностей, называется активной средой (АС). Увеличение коэффициента усиления АС для получения интенсивного излучения можно достичь увеличением его длины. Хотя это технически ограничено. По этой причине для получения многократного прохода луча в АС ее помещают в резонатор, состоящий из двух параллельных зеркал. Возникшее вынужденное излучение после многократного отражения внутри резонатора усиливается до такой степени, пока коэффициент усиления **G** не компенсирует потери излучения, которые обусловлены коэффициентами отражения **R** и пропускания **Т** зеркал. В результате получается пороговое условие генерации лазера: **GRT ˃1**

Главная проблема получения инверсии населенностей в АЭ состоит в том, что при термодинамическом равновесии нижний уровень заполнен больше, чем верхние, поглощение преобладает над вынужденным излучением. Под воздействием внешнего поля осуществляется больше переходов 1→2, чем 2→1. Для энергетической системы из двух уровней действие сильного электромагнитного поля приводит только лишь, к выравниванию числа частиц **N1 = N2** между уровнями. Такой эффект называется двухуровневым насыщением.

Поэтому, использовав только два уровня, невозможно создать инверсию населенностей. Для создания инверсии населенностей необходимо из множества всевозможных энергетических уровней выбрать не менее трех энергетических уровней.

В случае трехуровневого лазера энергетическую диаграмму составляют три множества энергетических состояний данного вещества. При этом имеется только лишь одна полоса поглощения накачки, а два других составляют основной и верхний уровни, что видно из **рисунке №4**

**Свойства лазерного излучения.**

Главными свойствами лазерных пучков является спектральная ширина (модовая структура); монохроматичность; когерентность (пространственная и временная); расходимость; яркость (выходная мощность).

Монохромное излучение – электромагнитное излучение, обладающее очень малым разбросом частот, в идеале – одной частотой. Монохромантичность лазерного излучения определяется двумя обстоятельствами:

* Усиление электромагнитной волны обусловлено спектральными свойствами активной среды.
* Строгая частота излучения лазера возможна только на резонансных частотах, определяемых геометрическими и спектральными параметрами резонатора.

Когерентность нескольких колебательных или волновых процессов – согласованность этих процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Для электромагнитной волны существуют понятия пространственной и временной когерентности. Если разность фаз для любых точек волнового фронта в любой момент времени **t** остается неизменной, то данная волна является полностью пространственно когерентной.

Если в данной точке пространства на интервале времени **Δt** фаза волны остается не изменой, то существует временная когерентность на интервале **Δt**. Если **Δt** не ограничена, то имеет место полная временная когерентность.

Исторически понятие когерентности света возникло в связи с явлением интерференции, когерентность определялась как способность света давать интерференционную картину.

**СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АКТИВНЫХ СРЕД**

Процесс, благодаря которому атомы переводятся из нижнего энергетического уровня в верхний уровень, называется накачкой. Процесс накачки можно производить различными способами:

- оптическим; - электрическим; - химическим; - газодинамическим; - электронным пучком; - рентгеновским излучением

При оптической накачке излучение мощного источника света поглощается активной средой и переводит атомы активной среды на верхний уровень. Этот способ отлично подходит для твердотельных (например, для рубинового или неодимового) или жидкостных (например, на красителе) лазеров.

**На рисунке №5** представлены три наиболее используемые схемы накачки: во всех трех случаях активная среда имеет вид цилиндрического стержня, как это обычно встречается на практике.

Изображенная на **рисунке №5а** лампа имеет форму спирали, при этом свет попадает в активную среду либо непосредственно, либо после отражения от зеркальной цилиндрической поверхности. Такая конфигурация использовалась при создании первого рубинового лазера и до сих пор иногда применяется для импульсных лазеров.

Изображенная на **рисунке №5б** лампа имеет форму цилиндра (линейная лампа) радиус и длина которого приблизительно те же, что и у активного стрежня. Лампа размещается вдоль одной из фокальных осей **F1**зеркально отражающего эпилептического цилиндра, а лазерный стержень располагается вдоль другой фокальной оси **F2**. Хорошо известное свойство эллипса состоит в том, что луч **F1 P1**, выходящий из первого фокуса **F1**, проходит после отражения от эллиптической поверхности через второй фокус **F2 (PF2).**

На **рисунке №5в** изображен пример так называемой конфигурации с плотной упаковкой. Лазерный стержень и линейная лампа располагаются как можно ближе друг к другу и плотно окружаются цилиндрическим отражателем. Эффективность конфигурации с плотной упаковкой обычно не намного ниже, чем в случае эллиптического цилиндра.

Электрическая накачка является одним из эффективных способов создания инверсии населенностей в активных средах, в особенности для газовых и полупроводниках. Инверсия населенностей в газовой среде создается пропусканием через нее постоянного, высокочастотного или импульсного тока.

Влияние внешнего электрического поля на газовую среду приводит к образованию в ней ионов и свободных электронов с дополнительной кинетической энергией. При этом положительно заряженные ионы при наличии огромной массы движутся медленнее, чем свободные электроны. В следствие этого, свободные электроны чаще сталкиваются с нейтральными атомами, при этом передают им свою дополнительную энергию, переводя их в возбужденное состояние.

При возбуждении атомов способом электрической накачки возможны следующие процессы.

1. В газе, состоящем из одного сорта частиц, возбуждение осуществляется лишь электронным ударом согласно формуле.

**е + А → А\* + е**

где **А** и **А\*** молекула в нормальном и возбужденном состоянии, соответственно **е** – свободный электрон. Такой процесс, называется столкновением первого рода.

1. В смеси газа, состоящей из двух компонентов, при электрическом возбуждении осуществляется процесс резонансной передачи энергии. На **рисунке №6** показана схема такого процесса, называемого столкновением второго рода.

Предположим, что частица **В** находится в основном состоянии, а частица **А** – в возбужденном благодаря электронному удару. Примем так же, что разность энергий **ΔЕ** между переходами **А → А\*** и **В →В\***меньше, чем **кТ**. Тогда можно утверждать, что выполняется переход

**А\*+В↔А+В\*±ΔЕ**

Таким образом, после столкновения частиц **А** окажутся в основном состоянии, а частицы **В** – в возбужденном состоянии. Разность энергий **ΔЕ** в зависимости от своего знака либо добавляется, либо вычитается от энергии поступательного движения.

**МОДОВАЯ СТРУКТУРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА**

Роль свойств активной среды и методов ее возбуждения велика, несмотря на это на многие характеристики генерируемого излучения огромное воздействие оказывают и свойства резонансной системы, в которую эта среда помещена. Пока нет резонатора, активная среда может лишь усиливать проходящее через нее излучение в хаотичном направлении. Основная функция оптического резонатора заключается в том, что часть усиленного излучения обратно отправляется в активную среду вновь для усиления и т.д. Многократное пропускание через активную среду с инверсной населенностью излучения в резонаторе возрастает до уровня, когда усиление за счет индуцированного излучения превышает потери внутри резонаторе. Таким образом, резонатор в лазере выполняет функцию положительной обратной связи.

Одним из первых оптических резонаторов являлся обычный интерферометр Фабри – Перо, состоящий из двух плоскопараллельных зеркал. Одно из зеркал является полностью непрозрачным, а второе полупрозрачным, сквозь которое производится вывод лазерного излучения. Обычно оптические резонаторы имеют размеры, гораздо превышающие длину волны лазерного излучения.

В оптическом резонаторе интерференция падающей и отраженной волны приводит к возникновению стоячей волны с удвоенной амплитудой, при этом происходит пространственное перераспределение напряженностей электрического и магнитного полей. Такие распределения выглядят как типы колебаний или моды оптического резонатора. Для разных мод принято обозначение типа **ТЕМmng** как сокращенное название для волн с напряженностью поперечного электрического и магнитного полей. При этом **m** и **n**  показывают распределение интенсивностей на поперечном сечении лазерного пучка, **g** показывает число максимумов напряженности поля на оси лазера.

На **рисунке №7** показана модовая структура излучения в резонаторе

Где **М1** –непрозрачное зеркало

**М2** – полупрозрачное зеркало

Из условия резонанса следует, что на длине резонатора должно укладываться целое число полуволн: **L = nλ/2**

Где **L** – длина резонатора; **n = 1,2,3,…** - целое число; **λ** – длина волны лазерного излучения.

Частота аксиальной моды вычислять как **Vn =c/λn =nc/2L**

Параллельно оптической оси могут распространяться небольшое количество мод с низкими потерями энергии. Все остальные моды резонатора соответствуют волнам, которые практиченски полностью затухают после единного прохождения через резонатор. Поэтому конструктивно оптические резонаторы выполняются в виде открытых резонаторов.

Выходные параметры лазерного излучения обусловлены геометрической конструкцией оптического резонатора. Самые широко применяемые лазерные резонаторы имеют либо плоские, либо сферические зеркала, расположенные на некотором расстоянии друг от друга.

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛАЗЕРА.**

Лазерные источники могут работать в одном из двух режимов:

- непрерывном или стационарном режиме

- импульсном или нестационарном режиме

Режим работы лазера зависит, в первую очередь режимом работы источника накачки. При анализе скоростных уравнений четырехуровневого и трехуровневого лазеров следует, что

**N1/τ1=N2/ τ21** (1)

где **N1**и **N2**– населенность основного и возбужденного уровней соответственно;

**τ21** - время жизни перехода 2→1

**τ1** - время жизни частиц на первом уровне.

Генерация лазера осуществляется, при уровне когда выполняется неравенство **N1 ˃ N2**

Из уравнения (1) следует, что при выполнении неравенства **τ21 ˃ τ1** лазер работает в непрерывном режиме.

Режим непрерывной генерации достигается только в том случае, если время жизни верхнего лазерного уровня больше времени жизни нижнего лазерного уровня. Если это условие не выполняется, лазер работает в режиме самопрерывания генерации – тогда длительность импульса накачки меньше времени жизни возбужденного состояния, т.е. лазер работает в импульсном режиме.

Работа лазера возможна в импульсном режиме, если **τ1 ≥ τ21**

Для достижения такого условия на практике помимо импульсного источника накачки пользуются методом модуляции добротности резонатора. Такой метод позволяет получить лазерную генерацию в виде коротких импульсов **(≤10-8с)** с высокой пиковой мощностью **(≥108ВТ).**

Заметим, что лазерная генерация начинается по достижению порогового значения инверсии населенности, благодаря чему предотвращается ее дальнейший рост. Отсюда следует, что в нормальном режиме работы лазера усиление за один проход в резонаторе не может намного превысить уровень потерь за время одного прохода.

Предположим теперь, что внутри резонатора установлен непрозрачный экран. Действие экрана заключается в исключении условий возникновений лазерной генерации, тогда инверсная населенность может достигнуть очень больших значений, значительно превышающих обычный пороговый уровень. Если теперь быстро убрать экран, то инверсная населенность в активной среде лазера значительно превысит порог, т.е. усиление в активной среде будет существенно выше уровня потерь. Такой метод получил название режима модуляции добротности резонатора.

Модуляторы добротности, в которых используются управляющие устройства являются активными. Такими устройствами являются:

- оптика-механические затворы

- акустооптические затворы

-электрооптические затворы

Из разных механических затворов больше всего распространенным считается способ модуляции добротности, в котором применяется вращение одного из зеркал резонатора вокруг перпендикулярной оси. В таком случае высокая добротность достигается в то время, когда вращающееся зеркало приходит в положение, в котором оно параллельно второму зеркалу резонатора. Для того чтобы снизить требования к юстировке, вместо зеркала устанавливают 90 градусную призму, у которой ребро прямого угла перпендикулярно оси вращения.

На **рисунке №8** приведена оптическая схема такого оптико–механического модулятора добротности с вращающейся призмой.

Модуляторы добротности, для управления параметров, для которых не требуются дополнительные устройства, называются пассивными.

Принцип действия пассивных модуляторов основан на эффекте насыщения поглощения на длине волны лазерного излучения. В качестве пассивного модулятора применяются разные поглощающие материалы в газовом, жидкостном или твердом агрегатных состояниях.

Если поместить насыщающий поглотитель в резонатор лазера, то в начальный момент времени происходит линейное поглощение падающего света. Вследствие большого поглощения, лазерная генерация отсутствует. В момент времени, когда интенсивность падающего света становится сравнимой с интенсивностью поглощения, происходит насыщение поглотителя и он начинает просветляться. После просветления инверсия населенностей значительно превышает потери в резонаторе лазера и на выходе лазера появляется излучение в виде короткого **(≈20мс)** и интенсивного **(≈106вт)** светового импульса.

Чтоб получить лазерные импульсы сверхкороткой длительности **(≈10-14с)** и очень высокой пиковой мощности **(≈1010вт)** используют – метод синхронизации мод.

Синхронизация мод – это такой процесс, при котором амплитуды и разности фаз произвольных мод резонатора остаются постоянными, т.е. синхронизованными.

**РАЗНОВИДНОСТИ ЛАЗЕРОВ**

**Рубиновый лазер**

Такой вид лазера был первым, на котором была осуществлена генерация (Т.Х.Майман, июнь 1960г.) и который все еще используется. Рубин, сотни лет общеизвестный как природный драгоценный камень, представляет собой кристалл **Al2O3**(корунд), в котором ряд ионов **Аl3+**замещены ионами **Gr3+**.Кристаллы рубина, используемые в лазерах в качестве активной среды, как правило получают путем выращивания из расплава смеси **Al2O3**и небольшой части **Gr2О3**. Без добавления **Gr2О3**формирующийся кристалл становиться бесцветным, и необходимо добавить совсем немного **Gr2О3**, чтобы кристалл приобрел розовый оттенок (розовый рубин) вследствии наличия у ионов **Gr3+**зеленой и фиолетовой полос поглощения. Заметим что, в природных драгоценных камнях концентрация **Gr3+**приблизительно на порядок больше, чем в искусственных, что придает им насыщенную красную окраску.

Энергетические уровни рубина образуются за счет трех электронов во внутренней **3d** оболочке иона **Gr3+**, находящихся под действием октаэдрического поля решетки **Al2O3**. На **рисунке №9** приведены основные уровни, представляющие интерес для лазерной генерации.

Верхний индекс слева от каждой буквы указывает на мультиплетность состояния.

Рубин имеет две основные полосы поглощения. **4F1**и **4F2**, причем наиболее интенсивное поглощение на эти полосы из основного состояния **4А2** происходит на длине волны соответственно **0,55мкм** (зеленая) и **0,42 мкм** (фиолетовая). Эти полосы связанны очень быстрой релаксацией с состоянием **2Ā**, так и **Ē**. Однако время релаксации в основное состояние как уровня **2Ā**, так и **Ē** довольно большое, поскольку оба перехода запрещены электродипольно, так и по спину.

На уровне **Ē** накапливается большая доля энергии накачки, следовательно, этот уровень хорошо подходит на роль верхнего лазерного уровня. Действительно, лазерная генерация в рубине имеет место на переходе **Ē →4А2** (линия R1) c длиной волны **λ1=694,3нм** (красная).

Главным минусом рубинового лазера является трехуровневый механизм его работы, что ограничивает выходные энергетические параметры.

**Неодимовые лазеры.**

Эффективность лазерной генерации принципиально выше у активных сред для которых возможна реализация четырехуровневой схемы. Более подходящими материалами для активных сред оказались ионы редкоземельных элементов, незаполненная **4f**- оболочка в которых расположена ближе к ядру и экранируется **5s и 5р** – оболочками, поэтому расположение уровней слабо зависит от типа матрицы. Неодимовые лазеры являются самыми популярными из твердотельных лазеров. В этих лазерах активной средой обычно является кристалл. **Y3Al5O12**. Сокращенно называемый **YAG**.

**(YAG – yttrium aluminum garhet, иттрий – алюминиевый гранат)**

В кристалле **YAG** часть ионов **Y3+** замещена ионами **Nd3+**. Иногда так же используется фосфатное или силикатное стекло, легированное ионами **Nd3+.** Энергетическая схема неодимого лазера представлена на **рисунке №10**

Накачка переводит ионы **Nd3+** из основного состояния **4I9/2**в две основные узкие полосы поглощения **4F9/2** и **4F7/2** ,расположенные на длинах волн **0,8 и 0,73мкм**. Эти полосы связаны быстрой **(≈10-7c)** безызлучательной релаксацией с уровнем **4F3/2** , откуда идет релаксация на нижние уровни **4I9/2**, **4I11/2, 4I13/2**. Из ниже лежащих уровней наиболее интенсивным является переход **4F3/2 → 4I11/2**. Кроме того, уровень **4I11/2**связан быстрой **(≈10-9с)** релаксацией с основным **4I9/2**уровнем.

Таким образом, на уровне **4F3/2** накапливается большая часть энергии накачки и его можно считать верхним лазерным уровнем, а уровень **4I11/2**в хорошем приближении можно считать пустым, следовательно он является нижним лазерным уровнем. Из энергетической схемы видно, что как верхний **4F3/2** уровень, так и нижний **4I11/2**уровень расщеплены на подуровни. Это означает, что лазерную генерацию можно получить на многих переходах между отдельными состояниями этих подуровней **4F3/2 → 4I11/2**.

**Гелий – неоновый лазер.**

Наиболее широко распространенным газовым лазером на инертных атомах является гелий – неоновый лазер. Генерация осуществляется на переходах атома неона, а гели добавляется для существенного повышения эффективности накачки за счет резонансной передачи энергии возбуждения. **Не\* +** **Ne → Не + Ne\*** (**рисунок № 11**). Поскольку метастабильные уровни **23S1**и **21S0**гелия близки к **4s** и **5s** уровням неона, а также учитывая тот факт что переходы **S→S** запрещены, следовательно создается благоприятное условие для резонансной передачи энергии от возбужденного атома **Не** к уровням **4s и 5s Ne**.

Время жизни метастабильных уровней **23S1**и **21S0**гелия составляет **≈ 1мс**, поэтому они хорошо накапливают энергию при возбуждении электронным ударом, и таким образом они подходят на роль верхнего уровня лазерных переходов. Для генерации гелий-неонового лазера роль верхних уровней выполняют **4s** и **5s**, а нижними уровнями являются **3р** и **4р** уровни. Генерация может возникать на длинах волн **λ= 3391нм (5s →4р), λ=632,8нм (5s →3р).**

Конструктивно гелий – неоновый лазер изготавливают в форме стеклянной трубки с кольцеобразным анодом и большим катодом (**рисунок № 12**). На большей части длинны трубки, разряд заключен в капилляр, окруженный газовой смесью и гелия и неона в пропорции 5:1. Энергия накачки подается на анод и катод напряжением около 1000-5000 вольт. Резонатор такого лазера обычно состоит из двух зеркал – полностью непрозрачного с одной стороны колбы и второго, пропускающего через себя около 1% падающего излучения на выходной стороне устройства.

Гелий – неоновые лазеры компактны. типичный размер резонатора – от 15см до 2м., их выходная мощность варьируется от 1 до 100 мВт.

**Полупроводниковые лазеры.**

В классической физике лазеров исследуются активные среды, характеризующиеся наличием относительно узких дискретных энергетических уровней. Инверсия населенностей в этом случае создается между верхним дискретным и нижележащими энергетическими уровнями. Отличительной особенностью полупроводниковых лазеров является инверсия на переходах между состояниями в широких электронных энергетических зонах полупроводникового кристалла. Энергетическую диаграмму полупроводников можно представить в виде зонной структуры.

На **рисунке №13а** показаны валентная зона полупроводника **V**, зона проводимости **С** и ширина запрещенной зоны **Eg**. Если предположить для простоты, что полупроводник находится при температуре **Т=0 K**, то валентная зона будет пуста. Под воздействием внешнего поля (например, энергии накачки) электроны переходят в зону проводимости. Внутри этой зоны электроны за очень короткое время **(≈10-10с)** переходят на ее самый нижний уровень, а все электроны вблизи максимума валентной зоны так же перейдут на самые нижние из незанятых уровней, оставляя верхнюю часть свободными, т.е. заполненными «дырками». Таким образом, между валентной зоной и зоной проводимости возникает инверсия населенностей **рисунке №13б** при переходе электронов из зоны проводимости в валентную зону (рекомбинация) испускается фотон. Если такой полупроводник поместить в резонатор и обеспечить определенное пороговое условие, то вынужденное рекомбинационное излучение приведет к лазерной генерации в полупроводнике. Полупроводниковые лазеры по способу накачки можно поделить на четыре типа: а)Инжекционные, с накачкой электрическим потокам (**рисунок №14**); б)лазеры с оптической накачкой; в)лазеры с электронной накачкой пучком быстрых электронов; г)лазеры с накачкой пробоем в электрическом поле.

Важным отличием инжекционных лазеров является электропроводимость полупроводника, позволяющая осуществлять накачку электрическим током и тем самым непосредственно преобразовать электрическую энергию в лазерное излучение. Рассмотрим принцип устройства инжекционного лазера. В нем имеется n-p переход, образованный двумя выраженными примесными полупроводниками, у которых концентрация и донорных, и акцепторных примесей составляет **1018-1019см-3**. Грани, перпендикулярные плоскости n-p перехода, отполированы и служат в качестве зеркал оптического резонатора. На такой лазер подается прямое напряжение, под действием которого понижается потенциальный барьер в n-p переходе и происходит инжекция электронов и дырок. В области перехода начинается интенсивная рекомбинация носителей заряда, при которой электроны переходят из зоны проводимости в валентную зону и возникает лазерное излучение. Для инжекционных лазеров применяют главным образом арсенид галлия **GaAs.** Излучение имеет длину волн 0,8-0,9мкм. КПД довольно высок – от 50 до 70%. Миниатюрные инжекционные лазеры с линейными размерами полупроводников около 1мм дают мощность излучения в непрерывном режиме до 10мВт, а в импульсном режиме до 100ВТ. Получение больших мощностей требует сильного охлаждения.

Полупроводниковые лазеры обладают также и высоким спектральным разрешением. Согласно формуле **L = mλ0/2n** длина резонатора должна содержать целое число полуволн, распространяющихся в активной среде полупроводника. Здесь **m** – целое число, **n** – показатель преломления активной среды. Из этой формулы можно вычислить спектральную ширину между соседними линиями **Δλ =λ2/2Ln .** Для кристалла **GaAs** (λ=0,85мкм), получаем **Δλ=3,9 Å.**

**ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Во всем мире проводятся реформы, направленные на ограничение использования химических средств и таких как , фунгициды, при возделывании зерновых культур. Отличной заменой химическим методам является применение лазерных технологий, включающих постоянную обработку семян всех посевных культур для их обеззараживания, активизации роста и развития растений при их обработке на полях и индукции устойчивости к ряду болезней в процессе вегетации. Методы лазерной агротехники используются в совместно с другими общепринятыми агротехническими процедурами и с минимальными затратами вписываются в действующий порядок сельскохозяйственных работ.

Используемый лазерный луч в видимой красной области спектра длиной волны **λ=632-670нм** – это часть энергии солнечного спектра, на которую реагируют зеленые пигменты растений и осуществляют впоследствии фотосинтез. Данная часть спектра зрительно контролируется при обработке семян в зернохранилище и растений на полях. После исследований стало известно что лазерное излучение как источник когерентных фотонов вызывает энергетическую накачку биологических объектов. Такие свойства лазерного луча, как монохроматичность, когерентность и поляризация, позволяют воздействовать выборочно на определенные структуры живых клеток, оказывают резонансное действие, ведущее к интенсификации физиологических процессов, т.е. открывают путь к практическому применению лазера для стимуляции роста и развития растений, повышению продуктивности и качества, а так же индукции устойчивости растений к болезням. Помимо этого, открытое явление самовозбуждения на основе биоэнергетического взаимодействия дает возможность проводить обработку только части объема семян в бурте, что резко снижает трудоемкость процесса лазерной активации и выигрышно отличает ее от других физических способов обработки семян (магнитной, электромагнитной, ультразвуковой и др.) Физика распространения энергии в бурте семян – одна из малоизученных областей знаний. Это целая взаимосвязанная цепочка, которая начинается с физических и заканчивается биологическими явлениями. То есть речь идет о молекулярном уровне влияния на нижележащие слои трансформацией энергии. В клетках зародыша и эндосперма при лазерной обработке семян наравне с процессом поглощения индуцируется слабое вторичное излучение, за счет которого происходит энергообмен между семенами.

Выполнение операции предпосевной лазерной активации семян в буртах происходит путем облучения его поверхности сканирующим лазерным лучом определенным способом, который увеличивает эффективность напитывания семян биоэнергией и делает проще техническое осуществление этой операции. Посев производится обычным способом с понижением нормы высева на 10-15%, так как лазерная обработка повышает полевую всхожесть и усиливает процесс роста.

Второй технологический метод – лазерная активация посевов – используется для увеличения скорости роста и развития растений, повышения урожайности сельхозкультур, и для профилактики болезней растений при вегетации (при этом срок созревания наступает раньше на 5-10дней). Проводят данную процедуру при помощи такой же лазерной установки, как и при активации семян. При помощи специальной рамки установку навешивают на транспортное средство. Облучение посевов проводится при движении транспорта по периметру поля или технологических колес. При этом диаметр действия лазерного луча равен около 800м. Необходимо обратить внимание на актуальность использования лазера для защиты сельскохозяйственных растений от болезней. Производственные испытания от лазерной технологии в хозяйствах краснодарского края показали, что обработка семян, а затем растений по основным фазам их развития дает возможность увеличить посевные качества и стимуляцию роста растений, а так же защитить их от экономически важных патогенов. Сравнительный анализ использования лазера и химических препаратов также показал, что лазерная технология дешевле химических методов обработки в 4 и более раз. На практике был доказан высокий уровень ее экономической рентабельности, особенно в тех хозяйствах, которые отказались от параллельного с лазерной обработкой проведения химического протравливания. Применение лазерной технологии дает возможность стабилизации экологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях, так как является экологически чистой и позволяет добиться результата без использования химических средств защиты растений или при значительном снижении объема их применения.

Горох – наиболее распространенная зернобобовая культура в нашей стране. Процент его в посевах зернобобовых культур достигает 82 % и более. Основные посевы сосредоточены в Центрально – Черноземных областях, на Северном Кавказе, в Поволжском, Уральском, Волго-Вятском и Восточно - Сибирском регионах.

Необходимость в зеленой массе гороха во многих регионах страны тоже огромна, как и в зерне. Горох является важным эзвеном совершенствования, интенсификации севооборотов и фактором энергосбережения. Отличаясь повышенной азото фиксацией, новые сорта гороха оставляют после себя 50-60кг биологического азота. Корневые и пожнивные остатки, относительно богатые азотом, легко и быстро разлагаются в почве, повышая биологическую активность почвенной микрофлоры, способствуя повышении урожайности выращиваемых после него культур. Горох является хорошим предшественником для многих культур в севообороте, особенно для озимых зерновых. Накопленный в нашей стране и за рубежом опыт, использующий достижения селекций агротехники, защиты растений от вредителей и болезней химизаций и механизаций, позволяет, получает высокий урожай гороха. Синтез этих достижений и опыт промышленного возделывания сельскохозяйственных культур с помощью лазерных технологий, позволяет, надеется на возможность использования лазеров в производстве и возделывания гороха.

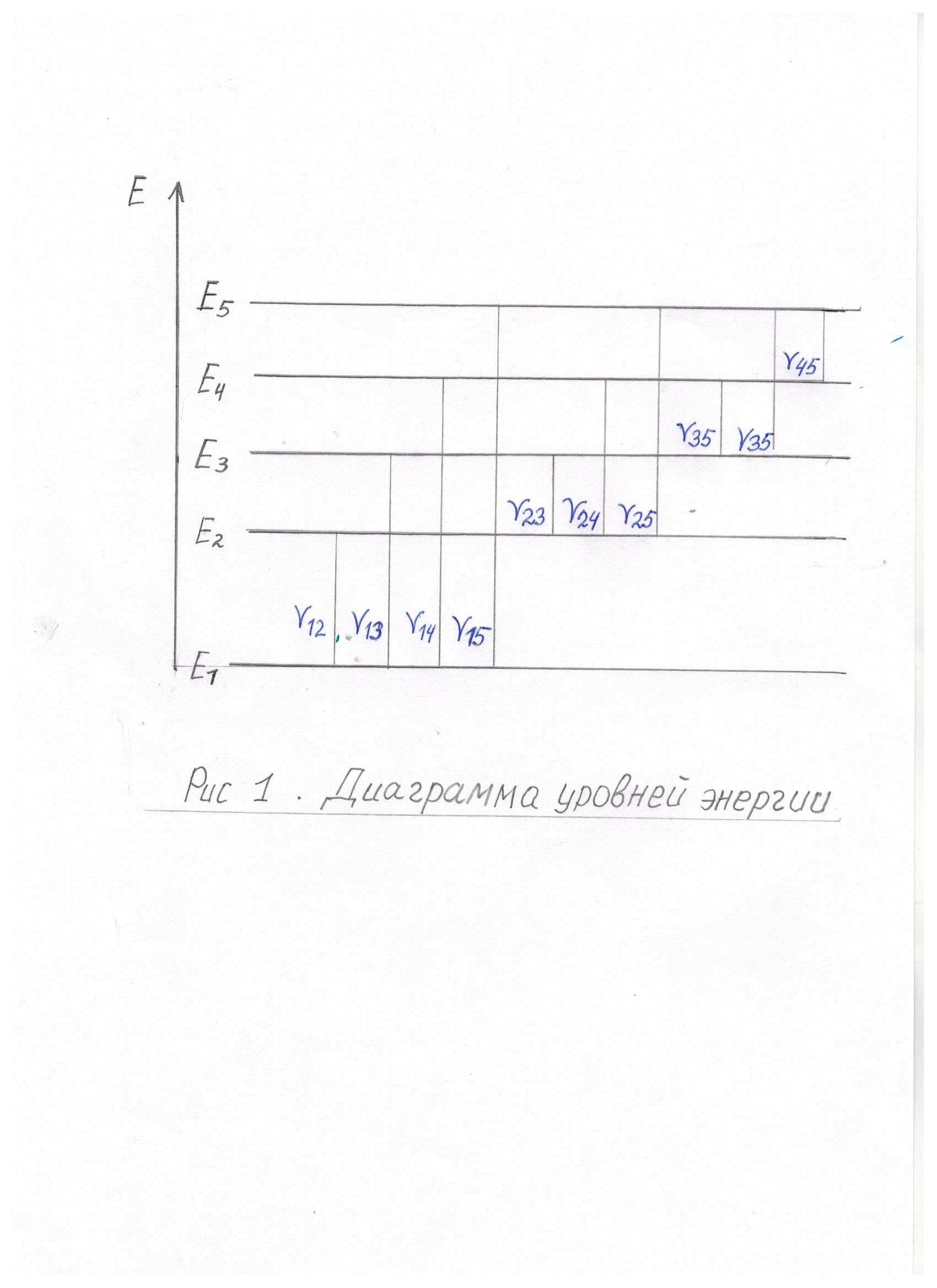
**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Поразительно, как человеческое воображение предвидело изобретение лазера. Герберт Уэллс в своем знаменитом романе «Война миров» (1998год) описывал лучи смерти, а в комиксах Флеш Гордона (1950г.) широко использовались пистолеты, испускающие световые лучи - оружие, которое сейчас можно было бы идентифицировать как сверхмощные лазеры. Слово «лазер» теперь хорошо известно и школьнику. Высокая монохроматичность и когерентность лазерного излучения обеспечивают успешное применение лазеров в спектроскопии, инициировании химических реакций, в разделении изотопов, в системах измерения линейных и угловых скоростей, во всех приложениях, основанных на использовании интерференции, в системах связи и светолокации а так же в голографии. Лазерные технологии находят применение при промышленном возделывании сельскохозяйственных культур. Приемы лазерной агротехники используются в комплексе с другими традиционными агротехническими мероприятиями и с минимальными затратами вписываются в существующий порядок сельхозработ. Высокая плотность энергии и мощность лазерных пучков, возможность фокусировки лазерного излучения в пятно малых размеров используется в лазерных системах термоядерного синтеза, в таких технологических процессах, как лазерная резка, сварка, сверление, поверхностное закалывание и размерная обработка различных деталей. До появления лазеров, прозрачные оптические материалы рассматривались, но существует как пассивные объекты, не влияющие на проходящий через них свет. Изменение показателя преломления, индуцированное светом, может само служить для получения особых световых импульсов - солитонов. Свойства солитонов и их взаимодействие делает такие импульсы пригодными в частности для создания таких устройств как световые переключатели, ответвители и тем самым, можно использовать в оптических волокнах. В будущем солитоны могут составить основные элементы оптических компьютеров. Квантовая криптография является новым методом засекречивания передачи информации. В отличие от обычных методов криптографии в квантовой криптографии зашифровка передаваемой информации осуществляется благодаря законам физики и поэтому выглядит весьма обещающим. Весьма перспективной может быть использование лазерного термоядерного синтеза для лазерного термоядерного космического двигателя. Еще одно применение лазерных технологий – адаптивная оптика, для улучшения качества изображения в больших телескопах путем компенсации искажений, вызываемых атмосферой. Лазеры успешно используются в медицине: в хирургии и в терапии различных заболеваний, в биологии, где фокусировка в малое пятно позволяет действовать на отдельные клетки и даже на их части. Можно с уверенностью сказать, что в будущем лазерные технологии подарят нам новые возможности, представляющиеся сегодня фантастическими.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Айрапетян В.С. Физика лазеров. Учебное пособие. 2012г.
2. Бертолотти М. История лазера. Издательский дом – Интеллект
3. Википедия.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники. Энергоатомиздат 1990г.
5. Звелто О. Принципы лазеров – М.: Мир 1984г.
6. Инюшин В.М., Ильсов Г.У. Луч лазера и урожай. Алма-Аты: Кайнар, 1981г.
7. Перспективная ресурсосберегающая технология производства гороха: Метод. рек. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009г.
8. Трещев Д.Л. применение лазерных технологий при возделывании сельскохозяйственных культур. Краснодар: Инф.листок 1997г. №226

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

****

