

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 03.09.2021 17:58:39

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e913df6a4851fda566d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Локтионова
« 2 » _____ (ЮЗГУ) 2021 г.



СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические указания
по выполнению практической работы
для студентов, обучающихся по специальности
10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных
систем»
по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: Э. В. Т. Д. Д. Сантуш, А. А. Гуламов

Рецензент

Доктор технических наук, профессор В.Г. Андронов

Свойства лазерного излучения: методические указания по подготовке и проведению практического занятия / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Э. В. Т. Д. Д. Сантуш, А. А. Гуламов. - Курск, 2018. – с.18: ил. 2, – Библиогр.: с.18.

Методические указания по выполнению практической работы содержат теоретические сведения об основных свойствах лазерного пучка.

Полученные знания в результате проведения занятия дают возможность сформировать целостную картину представления об основных свойствах лазерного излучения, принципах работы и применении.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Квантовая и оптическая электроника», утвержденной на заседании кафедры КПиСС по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника», а также для студентов других направлений подготовки в области информационных технологий и систем связи.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 02. 10.18. Формат 60x841/16.
Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ. 2108 Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержания

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения	4
2.1 Монохроматичность	6
2.2 Когерентность	8
2.3 Направленность и возможность фокусирования излучения.....	12
2.4 Поляризация излучения.....	13
2.5 Яркость и мощность излучения.....	15
3. Задачи.	16
4. Контрольные вопросы	18
5 Список литературы	18

1 Цели работы

Получение умений и навыков в освоении дисциплины «Квантовая и оптическая электроника», в вопросе изучения основных свойства лазерного излучения.

2 Краткие теоретические сведения

Лазеры - это генераторы и усилители когерентного излучения в оптическом диапазоне, действие которых основано на индуцированном (вызванном полем световой волны) излучении квантовых систем - атомов, ионов, молекул, находящихся в состояниях, существенно отличных от термодинамического равновесия. Лазеры, как и мазеры, генераторы и усилители СВЧ диапазона, называют еще квантовыми генераторами (усилителями), поскольку поведение участвующих в их работе частиц описывается законами квантовой механики.

Принципиальным отличием лазеров от всех других источников света (тепловых, газоразрядных и др.), представляющих собой по сути дела источники оптического шума, является высокая степень когерентности лазерного излучения. С созданием лазеров в оптическом диапазоне появились источники излучения, аналогичные привычным в радиодиапазоне генераторам когерентных сигналов, способные успешно использоваться для целей связи и передачи информации, а по многим своим свойствам - направленности излучения, полосе передаваемых частот, низкому уровню шумов, концентрации энергии во времени и т.д. - превосходящие классические устройства радиодиапазона.

Термин «лазер» означает («Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation») – усиление света стимулированным (вынужденным) лучеиспусканием. Одним из важнейших свойств лазерного излучения является очень высокая степень его монохроматичности, недостижимая в излучении другими световыми источниками. Это и все другие уникальные свойства лазерного излучения возникают в результате согласованного,

кооперативного испускания световых квантов многими атомами рабочего вещества.

Лазеры могут работать в импульсном и непрерывном режимах. Мощность излучения лазеров может изменяться в пределах от долей милливатта до 10^{12} – 10^{13} Вт (в импульсном режиме). Они находят широкое применение в военной технике, в технологии обработки материалов, в медицине, оптических системах навигации, связи и локации, в прецизионных интерференционных экспериментах, в химии, просто в быту. Информация с CD и DVD дисков считывается при помощи полупроводникового лазера, в военном деле, строительстве – лазерные нивелиры и дальномеры (лазерные рулетки).

Чтобы понять принцип работы лазера, нужно более внимательно изучить процессы поглощения и излучения атомами квантов света. Атом может находиться в дискретных энергетических состояниях с энергиями E_1 , E_2 и т.д. (теории Бора). Стабильным состоянием, в котором атом в отсутствие внешних возмущений может находиться бесконечно долго, является только состояние с наименьшей энергией. Это состояние называют основным. Все другие состояния возбужденные или нестабильные. Возбужденный атом может пребывать в этих состояниях лишь очень короткое время, порядка 10^{-8} с, после этого он самопроизвольно переходит в одно из низших состояний, испуская квант света, частоту которого можно определить из второго постулата Бора $h\nu = E_2 - E_1$. Излучение, испускаемое при самопроизвольном переходе атома из одного состояния в другое, называют спонтанным. На некоторых энергетических уровнях атом может пребывать значительно большее время, порядка 10^{-3} с. Такие уровни называются метастабильными.

Переход атома в более высокое энергетическое состояние может происходить при резонансном поглощении фотона, энергия которого равна разности энергий атома в конечном и начальном состояниях. Переходы между энергетическими уровнями атома не обязательно связаны с поглощением или испусканием фотонов. Атом может приобрести или отдать часть своей энергии и перейти в другое квантовое состояние в результате взаимодействия с

другими атомами или столкновений с электронами. Такие переходы называются безизлучательными.

2.1 Монохроматичность

Ширина спектра излучения является одной из основных его характеристик. Для оценки ширины спектра пользуются понятием ширины спектральной линии на уровне 0,5 от ее максимума и степени монохроматичности (спектральной чистотой излучения).

В случае спектральной линии степень монохроматичности m равна:

$$\mu = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}.$$

Идеально монохроматического излучения с шириной спектра $\Delta\lambda$ равной нулю не может быть по самой природе излучения, поэтому обычно монохроматическим считается излучение, имеющее достаточно узкий спектральный интервал, который можно охарактеризовать одной длиной волны или частотой. Можно выделить монохроматическую составляющую и из обычного излучения с помощью спектральных приборов. Однако в этом случае степень монохроматичности получается не менее 10^{-6} , в то время как степень монохроматичности лазерного излучения достигает 10^{-10} . Весьма важно отметить, что с помощью спектральных приборов нельзя получить мощное монохроматическое излучение (чем больше монохроматичность излучения, тем меньше мощность). Это связано с тем, что в обычных источниках излучения мощность распределена в широком спектральном диапазоне, а в ОКГ вся излучаемая мощность сосредоточена в одной или нескольких чрезвычайно узких линиях. Очень высокая степень монохроматичности может быть получена в газовых лазерах, работающих в одномодовом режиме.

Теоретический предел ширины спектральной линии определяется тепловыми шумами и шумами спонтанного излучения, причем в оптическом диапазоне последние преобладают. Ширина спектральной моды, выделяемая резонатором, определяется его добротностью:

$$\Delta\nu_c = \frac{\nu_0}{Q}.$$

При этом спектральная ширина линии лазерного излучения, имеющей лоренцеву форму, может быть найдена из выражения:

$$\Delta\nu = \frac{2h\nu_0(\Delta\nu_c)^2}{\pi P},$$

где P – выходная мощность лазерного излучения.

Расчеты показывают, что для гелий-неонового лазера с мощностью 1 мВт и добротностью резонатора порядка 10^8 , ширина спектральной линии составляет 0,2 Гц, что соответствует спектральной чистоте $5 \cdot 10^{16}$. Для того чтобы получить такую величину реально, необходимо очень жестко стабилизировать длину резонатора. Так при длине резонатора 1 м допустимое отклонение составляет $5 \cdot 10^{-7}$ нм. Поэтому только в лучших лабораторных образцах достигнут разброс частоты в несколько десятков герц.

Отметим, что ширина спектра лазерного излучения может быть существенно меньше естественной ширины спектральной линии, которая для рассмотренного выше случая составляет 20 МГц.

На первый взгляд это может показаться парадоксальным, ибо естественная ширина линии определяется соотношением неопределенностей:

$$h\Delta\nu_{ест} \tau_{cn} \sim h,$$

где τ_{cn} – время жизни атома в возбужденном состоянии, определяемое спонтанными переходами.

Но в режиме генерации все активные атомы и резонатор выступают как единое целое и при непрерывном поступлении энергии извне время жизни такой системы в возбужденном состоянии может быть сколь угодно большим.

Все предыдущие рассуждения относились к одномодовой генерации в стационарном режиме. При анализе ширины лазерной линии необходимо учитывать, что ширина одной моды существенно отличается от ширины участка спектра, перекрываемого лазером. Многие лазеры работают сразу на нескольких продольных модах, и общая ширина линии излучения

будет приближаться к естественной ширине линии данного вещества.

При этом в лазерном излучении присутствуют все моды, для которых излучение больше потерь, поэтому ширина линии излучения лазера все-таки меньше ширины линии флюоресценции. Так, в гелий-неоновом лазере по расчету укладывается 10 мод, а реально наблюдаются 3 – 4 моды. На рис. 1 показаны равномерно разнесенные моды резонатора. Частотный интервал между ними равен $\frac{c}{2d}$, где d – расстояние между зеркалами. Это $2d$ соответствует разнесению длин волн на интервал $\frac{\lambda^2}{2d}$.

При генерации в импульсном режиме спектр излучения будет уширен до величины, обратной длительности импульса. Спектр лазерного излучения может быть уширен и из-за неоднородности активного материала, что особенно характерно для твердотельных лазеров.

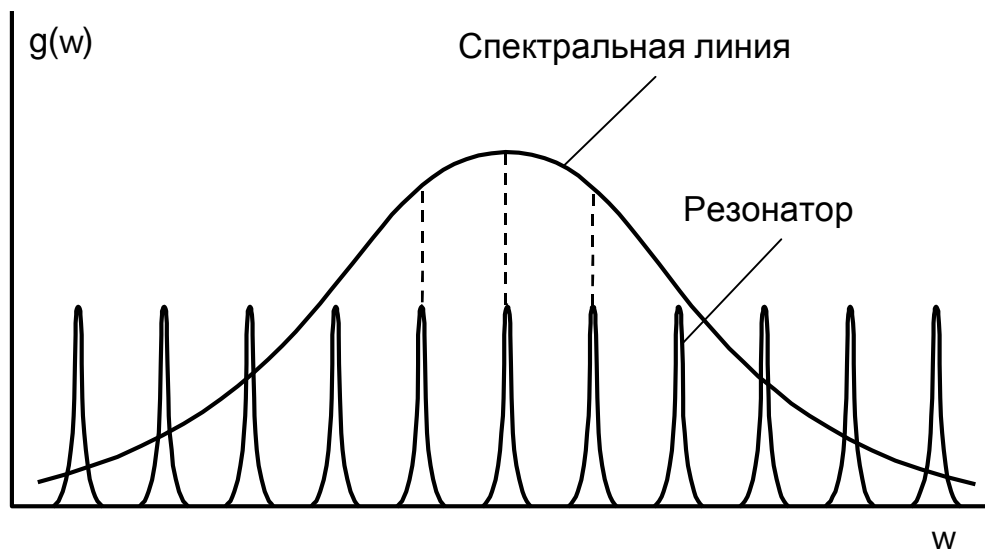


Рисунок 1- Естественная ширина линии и моды резонатора

2.2 Когерентность

Понятие когерентности в применении к колебаниям относится к связи или согласованности между фазами колебаний в различных точках пространства в один и тот же момент времени

или между фазами колебаний в одной и той же точке пространства, но в различные моменты времени.

Тепловые источники света не являются когерентными и не могут давать явления интерференции. Однако и от некогерентного источника можно получить почти когерентный пучок конечного сечения, но при этом будет использована только очень малая часть энергии источника (приблизительно в 10^{13} раз меньше плотности излучения источника). В отличие от обычных источников излучение лазеров обладает высокой степенью пространственной и временной когерентностью.

Когерентность характеризуется степенью или функцией когерентности, которая изменяется от 1 (полная когерентность) до 0 (полная некогерентность). Степень когерентности можно определить экспериментально путем наблюдения интерференционной картины, образуемой при расщеплении светового пучка на два и последующего их сложения после прохождения оптических путей разной длины. Контрастность полос интерференционной картины и, следовательно, степень когерентности определяются из выражения:

$$V = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(I_{max} + I_{min})}$$

где I_{max} и I_{min} - интенсивности в максимуме и минимуме интерференционных полос.

Измерив интенсивности I_{max} и I_{min} вблизи выбранных точек экрана, можно определить функцию γ^1 , характеризующую степень взаимной когерентности первого порядка.

$$\gamma^1 = \frac{x}{2} \left| \frac{l_1 + l_2}{\sqrt{l_1 * l_2}} \right|$$

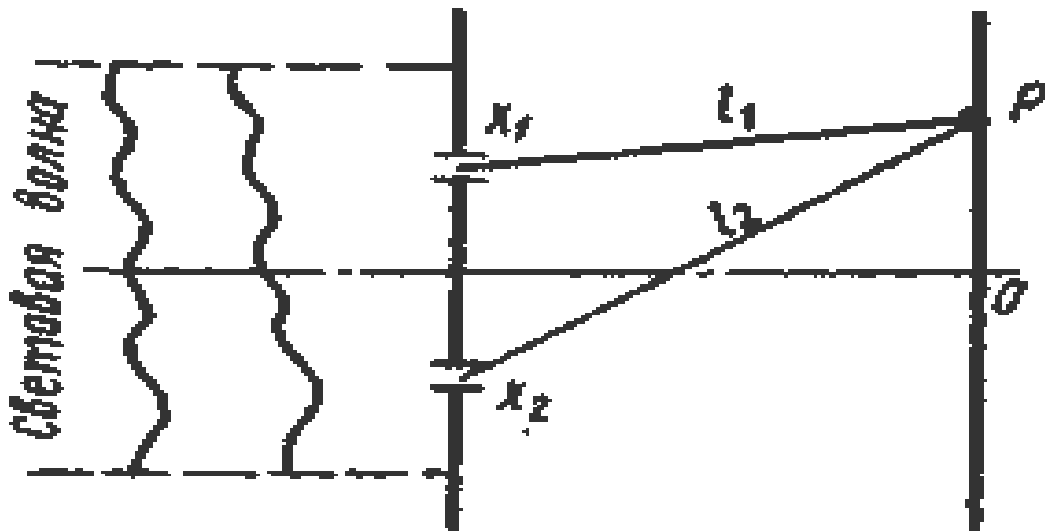


Рисунок 2 - Измерение степени когерентности электромагнитной волны с помощью интерферометра Юнга.

Для наблюдения только пространственной когерентности в точках x_1 и x_2 ($l_1=l_2$), т.е. производить измерения вблизи точки O (рис.2). Для наблюдения только временной когерентности отверстия x_1 и x_2 должны быть расположены сколь угодно близко (совпадать), но для двух интерферирующих волн должна быть обеспечена задержка во времени на τ , например, путем разделения волны от отверстия x_1 на две части с помощью дополнительного полупрозрачного зеркала, как это делается в интерферометре Майкельсона.

Когерентность излучения имеет значение в тех применениях лазера, где происходит расщепление и последующее сложение составляющих лазерного пучка. К этим применениям относятся интерферометрическая лазерная дальнометрия, голография. С когерентностью излучения связана "пятнистая" или "зернистая" картина лазерного излучения при наблюдении его рассеяния от экрана. Это явление обусловлено интерференцией волн, рассеиваемых экраном.

В пространственной когерентности можно убедиться, исследуя соотношения фаз в двух точках пространства в одинаковые моменты времени. Если в этих двух точках разность фаз электромагнитных волн в момент времени $t = 0$ равна нулю и эта разность сохраняется через некоторый промежуток времени t ,

то существует идеальная пространственная когерентность волнового фронта в этих двух точках.

Если электромагнитное поле в некоторой точке пространства имеет одинаковые фазы во времени t и $t + n$, то в этой точке существует идеальная временная когерентность. Если соотношение фаз сохраняется в течение некоторого конечного времени, то последнее называется временем когерентности.

Время когерентности равно $\frac{1}{\Delta\nu}$, где $\Delta\nu$ – ширина линии в герцах. Время когерентности, умноженное на скорость света, представляет собой длину когерентности. Последняя характеризует глубину резкости в голографии и предельные дистанции, на которых возможны интерферометрические измерения.

Временная и пространственная когерентность – независимые параметры: один вид когерентности может существовать в отсутствие другого. Пространственная когерентность зависит от поперечной выходной моды лазера. Лазер непрерывного действия, работающий на одной поперечной моде, обладает почти идеальной пространственной когерентностью. Импульсный лазер в многомодовом режиме имеет ограниченную пространственную когерентность.

Временная когерентность непосредственно связана с монохроматичностью, как уже было показано. Одночастотные (одномодовые) лазеры непрерывного действия имеют высокую степень временной когерентности. Так, например, стабилизированный по частоте He-Ne-лазер с $\Delta\nu = 1$ МГц имеет $n = 10^{-6}$ с, многомодовый He-Ne-лазер $\Delta\nu = 1.5$ ГГц, $n = 6.6 \cdot 10^{-10}$ с.

Если расположить источники оптического излучения в порядке уменьшения степени когерентности генерации ими излучения, то будем иметь: газовые лазеры – жидкостные – твердотельные лазеры на диэлектриках – полупроводниковые лазеры – газоразрядные лампы – светодиоды – лампы накаливания.

2.3 Направленность и возможность фокусирования излучения

Направленным называют излучение, распространяющееся в пределах очень небольшого телесного угла. Иными словами, направленность характеризуется телесным углом, в котором распространяется большая часть излучения. Обычные источники обладают очень низкой направленностью излучения (в пределах телесного угла от 2ρ до 4ρ).

От обычных источников можно получить почти параллельные лучи, если на большом расстоянии установить диафрагму или поместить источник в фокальной плоскости коллиматора. Однако энергия такого пучка будет весьма мала. ОКГ излучают в очень небольшом телесном угле. Излучение лазеров является когерентным и поэтому фронт волны представляет собой, как правило, почти плоскость или сферу очень большого радиуса, т.е. лазер можно рассматривать как источник почти параллельных лучей с очень небольшой расходимостью. В принципе эта расходимость определяется дифракцией на выходном отверстии. Причем направленность излучения лазеров достигается не в результате каких-то специальных приемов, а благодаря когерентности излучения.

Необходимо отметить, что создание идеально параллельного пучка света невозможно и при помощи лазеров, можно лишь добиться очень малого угла расхождения. Нижний предел для расходимости пучка, определяемый дифракцией, может быть оценен из выражения:

$$\theta = \frac{K\lambda}{d},$$

где d – диаметр отверстия или диаметр пучка в наиболее узкой его части, K – коэффициент, зависящий от формы пучка. Для плоского пучка $K = 2,44$, для гауссова $K = 1,27$.

Используя любую оптическую систему, увеличивающую телесный угол пучка, можно получить значительное увеличение плотности излучения. Когерентное излучение ОКГ можно сфокусировать в пятно чрезвычайно малых размеров, где плотность

энергии будет очень большой. Теоретическим пределом минимального диаметра лазерного пучка является длина волны. В реальной ситуации этот предел трудно достижим из-за неидеальности пространственных характеристик лазерного пучка и искажений в линзах. Для промышленных лазеров размеры сфокусированного светового пятна составляют 0,001 – 0,01 см. В настоящее время с помощью лазеров достигнуты плотности мощности излучения 10^{11} Вт/см² (плотность излучения Солнца составляет только $7 \cdot 10^3$ Вт/см²).

2.4 Поляризация излучения

Векторы напряженности электромагнитной световой волны расположены в плоскости, перпендикулярной направлению ее распространения и периодически изменяются по величине и направлению. Поляризация света — это характеристика неравномерности распределения по направлению амплитуд колебаний этих векторов. Если излучение монохроматическое, векторы колеблются с некоторой постоянной частотой и их можно представить, как сумму двух взаимно перпендикулярных составляющих X и Y . Если разность фаз колебаний по этим направлениям равна нулю, то суммарный вектор колеблется в одной плоскости. Ситуация, соответствующая разности фаз $n\pi$, где n — целое число, называется линейной поляризацией, а плоскость, перпендикулярная направлению колебаний — плоскостью поляризации.

Если разность фаз по направлениям X и Y не равна $n\pi$, то конец вектора напряженности электрического поля описывает поверхность эллиптического цилиндра. Этот случай называется эллиптической поляризацией. Частным случаем ее является круговая поляризация, разность фаз при которой составляет $\frac{(2n-1)\pi}{2}$.

В естественном свете направление электрического вектора изменяется случайным образом, и поляризация отсутствует. Лазерное излучение поляризовано. Если угол между преломленным и отраженным лучами прямой, то отраженный свет поляризован полностью. Угол падения света в этом случае называется углом Брюстера, а само явление используется для линейной поляризации света в резонаторе лазера.

Для поляризации света используются поляроиды, поляризационные призмы. Поляроид представляет собой пластину из одинаково ориентированных анизотропных кристаллов. Поляризация света в них происходит за счет поглощения колебаний с определенным направлением электрического вектора. Если входящий свет поляризован в направлении, составляющем угол 45° с оптической осью, то из-за разницы коэффициентов преломления X и Y составляющих, при выходе из вещества становятся разными фазы их колебаний, а это приводит к изменению поляризации света. Если на выходе разность фаз составит 90° , то линейно поляризованный свет меняет поляризацию на круговую. Плоскопараллельную пластинку анизотропного кристалла, дающую такую разность фаз, называют четвертьволновой.

В ряде устройств определенную роль играет поляризация излучения, которая характеризует преимущественную ориентацию вектора напряженности электрического поля волны.

Для обычных нелазерных источников характерна хаотическая поляризация. Лазерное излучение обладает круговой или линейной поляризацией. В частности, при линейной поляризации с помощью специальных устройств можно осуществить поворот плоскости поляризации. В связи с этим следует отметить, что для ряда пищевых продуктов коэффициент отражения в пределах полосы поглощения существенно зависит от направления плоскости поляризации излучения.

Длительность импульса. Использование лазеров позволяет также получать излучение в виде импульсов очень малой длительности ($t_{\text{и}} = 10^{-8}—10^{-9}$ с). Это достигается обычно за счет модуляции добротности резонатора, синхронизации мод и т. п.

В других типах источников излучения минимальная длительность импульсов на несколько порядков выше, что, в частности, Таким образом, лазерное излучение существенно превосходит по своим основным параметрам излучение, создаваемое нелазерными источниками, а именно обладает более высокими когерентностью, направленностью и плотностью потока энергии и малой, шириной спектральной линии.

2.5 Яркость и мощность излучения

Яркость B определяется, как мощность на единицу площади и на единицу телесного угла. Для луча круглого сечения радиусом R , расходимостью Q и полной мощностью P имеем:

$$B = \frac{P}{\pi R^2 \theta^2}.$$

Спектральная яркость $B\nu = \frac{B}{\Delta\nu}$, где $\Delta\nu$ – ширина лазерной линии в герцах. Лазер даже небольшой мощности имеет яркость, которая на несколько порядков превосходит яркость обычных источников. Это свойство является следствием высокой направленности лазерного пучка. Согласно одной из теорем оптики, яркость источника нельзя повысить с помощью оптической системы. Поэтому для повышения яркости необходимо улучшать модовый состав излучения и снижать угловую расходимость пучка.

Мощность излучения или лучистый поток представляет собой энергию, переносимую излучением за единицу времени. Если энергия излучается в виде импульсов, то пользуются понятием импульсной и средней мощности.

Средняя мощность излучения ОКГ обычно невелика, хотя существуют генераторы, развивающие в непрерывном режиме мощность до десятков киловатт. По своей импульсной мощности и

спектральной плотности мощности лазеры значительно превосходят все существующие источники в оптическом диапазоне спектра.

Из лазеров, работающих в непрерывном режиме, наибольшую мощность имеют CO₂-лазеры (десятки киловатт для промышленных образцов). Очень высокие уровни мощности имеют импульсные твердотельные лазеры на неодимовом стекле (до 10¹¹ – 10¹³ Вт при наносекундной длительности импульса).

3. Задачи.

1. Рассчитать длину l_0 и диаметр d_0 световой трубки, образующейся при фокусировке пучка лазерного излучения диаметром D_0 и расходимостью θ линзой с фокусным расстоянием f .

2. Рассчитать квантовый КПД He-Не лазера для основных линий генерации ($\lambda_1=632,8$ нм, $\lambda_2= 1,15$ мкм, $\lambda_3= 3,39$ мкм).

3. Построить рабочее поле в сканирующей системе по значениям допустимых отклонений $\Delta d = 200$ мкм размера фокального пятна $d = 50$ мкм в плоскости обработки для YAG:Nd-лазера. Фокусное расстояние оптической системы 60 см, расстояние от центра зеркала до обрабатываемой поверхности – 50 см.

4. Определить мощность и энергию импульсов излучения N2-лазера длительностью $8 \tau 10^{-8} = c$, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе $q = 10$ Вт/см², если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.

Решение Мощность импульсов лазерного излучения определяется выражением:

$$P_0 = q_0 S,$$

где $S = \pi d_0^2 / 4$ – площадь пятна в фокальной плоскости. Определим, чему равен диаметр пятна в фокусе, по следующей формуле:

$$d_0 = \theta f = 30_{\text{мкм}}.$$

Вычислим мощность импульсов излучения:

$$P_0 = q_0 \pi d_0^2 / 4 = 70 \text{ Вт},$$

а энергия импульсов излучения равна $W = P\tau = 7 \cdot 10^{-7}$ Дж.

5. Определить диапазон скоростей сканирования $V_{\text{ск}}$ пучка излучения непрерывного лазера при фокусировке его излучения в пятно диаметром 200 мкм, при которых время эффективного воздействия находится в диапазоне $10^{-3} - 10^{-9}$ с.

6. Рассчитать параметры механического прерывателя, представляющего собой вращающийся диск с прорезью (размеры прорези и угловую скорость вращения диска), если из импульсов длительностью 100 мкс необходимо получить импульсы излучения длительностью 40 мкс при частоте следования импульсов 250 Гц.

7. Терапевтический гелий-неоновый лазер, работающий в непрерывном режиме, даст излучение монохроматического света с длиной волны $\lambda = 370 \text{ нм}$, развивая мощность $P = 20 \text{ мВт}$. Сколько излучает лазер за 1 с?

8. Мощность излучения лазерной указки с длиной волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ равна $P = 2 \text{ мВт}$. Определите число фотонов, излучаемых указкой за 1 с.

Решение.

Один фотон света с частотой ν обладает энергией $h\nu = h \frac{c}{\lambda}$. Энергия излучаемая за время t указкой — $E = Pt$. Значит, число фотонов N , излучаемых указкой за время t :

$$N = \frac{E}{h\nu} = \frac{P\lambda t}{hc} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 0,6 \cdot 10^{16} = 6 \cdot 10^{15} \text{ фотонов}.$$

9. Определить плотность мощности лазерного излучения на обрабатываемой поверхности в центре облученной области, если известна мощность излучения P и распределение плотности мощности излучения

а) гауссово - $q = q_0 e^{-(r/r_0)^2}$

б) постоянное в пределах облученной области

$$q = \begin{cases} q_0 & \text{при } r \leq r_0, \\ 0 & \text{при } r > r_0. \end{cases}$$

10. Определить теоретическую дифракционную расходимость излучения различных лазеров, считая распределение интенсивности равномерным в пределах заданного диаметра пучка для Cu, Nd:YAG, N2 и CO2-лазеров и гауссовым для He-Ne лазера, по следующим данным:

а) Nd:YAG	$\lambda = 1,06$ мкм	$D = 5$ мм;
б) He-Ne	$\lambda = 0,63$ мкм	$D = 0,3$ мм;
в) Cu	$\lambda = 0,5$ мкм	$D = 3$ мм;
г) N2	$\lambda = 0,34$ мкм	$D = 0,3$ мм;
д) CO2	$\lambda = 10,6$ мкм	$D = 5$ мм,

где λ – длина волны излучения, D – диаметр лазерного пучка на выходе лазера. Решение оформить в виде таблицы.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое лазер?
2. Каковы свойства лазерного излучения?
3. Как можно оценить степень расходимости лазерного пучка?
4. Что такое монохроматичность?
5. Чем объясняется высокая монохроматичность и направленность лазерного излучения?
6. Объясните, что такое «когерентность»?

5 Список литературы

1. Квантовая и оптическая электроника [Текст] : учебное пособие / Г. Л. Киселев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - СПб. [и др.] : Лань, 2011. - 320 с. : ил. - ISBN 978-5-8114-11 14-6.

2. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. И. Шангина. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 303 с.

3. Дудкин, В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение : учеб. пособие для вузов. - М. : Техносфера, 2006. - 432 с. – ISBN 5-94836-076-8

4. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника: Учеб. Для вузов/ А.Н. Пихтин.- М: Высш. Шк., 2001.- 573 с.: ил. ISBN 5-06-002703-1

5. Светцов, В.И. Оптическая и квантовая электроника: учеб. пособие / В.И. Светцов; Иван. гос. хим.-техн. ун-т; - 2-е изд., исправл. и доп. - Иваново, 2010. 196 с. ISBN 978-5-9616-0386-6