

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания к курсовому проекту

САМАРА 2016

УДК 621.373.8

Составители: В.П. Захаров, Д.Н. Артемьев

Основы квантовой электроники: Метод. указ. к курсовому проекту/ Самар. нац. исследов. ун-т.; сост. В.П. Захаров, Д.Н. Артемьев; Самара, 2016. - 9 с.

Методические указания к курсовому проекту подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем Самарского университета и предназначены для студентов дневного отделения, обучающихся по специальности 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии» по дисциплине «Основы квантовой электроники».

Библиогр. 5 назв.

Рецензент: Кренц А.А., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы загрязнения окружающей среды в наши дни приобрели большое значение. Деятельность человека нарушает баланс химических элементов в атмосфере. Загрязнение атмосферы ведет к изменению климата и сказывается на здоровье людей. Увеличение содержания CO_2 и аэрозоля в атмосфере, вариации озонового слоя, промышленные выбросы (NO_2 , SO_2 и другие газы) – все это оказывает существенное влияние на радиационный баланс Земли.

Озон играет важную роль в человеческой жизни, хотя содержится в средней и нижней атмосфере. Изменения концентрации озона в стратосфере влияет на защиту биосферы Земли от вредного воздействия ультрафиолетовых лучей солнца. Избыточное содержание тропосферного озона способствует возникновению парникового эффекта, инициирует образование фотохимического смога и оказывает токсическое воздействие на растительность и животных. Оксиды азота способны вызывать кислотные дожди, диоксид серы SO_2 в концентрациях выше предельно допустимых (ПДК) вызывает заболевания дыхательных путей у человека, а диоксид азота NO_2 приводит к расстройству нервной системы, сердечной слабости и к возникновению злокачественных опухолей и раковых заболеваний. В этой связи актуальной задачей является экологический мониторинг атмосферы, а именно, контроль содержания различных газов в приземных слоях.

Наиболее перспективным инструментом контроля загрязнения атмосферы являются методы дистанционного зондирования, а именно, лидары. Лидарные системы реализуют технологии использования различных явлений взаимодействия лазерных импульсов с атмосферой, характеризуются большой дальностью и высоким пространственным разрешением, являются весьма универсальными, так как при лазерном зондировании не происходит существенного возмущения исследуемой среды.

На сегодняшний день лидарные системы позволяют проводить измерения и с поверхности Земли, и с космического спутника. Первые

публикации по зондированию SO_2 и CO_2 регистрацией сигналов комбинационного рассеяния (КР) света от дымовой трубы промышленного предприятия появились в 1970г. Малые сечения КР предопределили использование этого метода лазерного газоанализа лишь при высоких уровнях концентраций загрязняющих газов атмосферы, превышающих ПДК. Методы резонансной флуорисценции нашли своё место в задачах зондирования атомарных составляющих в верхней атмосфере.

Для систематических измерений содержания вредных газовых примесей в малых концентрациях в атмосфере широко применяется метод дифференциального поглощения (ДОАС, DIAL). На основе ДОАС разработано много стационарных систем контроля концентрации озона в свободной тропосфере и стратосфере разными научно-исследовательскими группами по всему миру, мобильные лидары для комплексных измерений газов со схожими спектральными характеристиками.

Целью данного курсового проекта является разработка лазерного газоанализатора дифференциального поглощения для трассовых измерений концентраций загрязнителей атмосферы.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание к курсовому проекту на тему «Разработка лазерного детектора загрязнения атмосферы»: разработать лазерный детектор воздушного загрязнения для определения концентрации выбранного загрязнителя в атмосфере, рассчитать рабочее расстояние и определить погрешности измерений

Курсовой проект на тему «Разработка лазерного детектора загрязнения атмосферы» должен включать следующие главы.

Вводная часть курсового проекта должно содержать актуальность исследования, цели и задачи, объект исследования, предмет исследования.

Основная часть курсовой работы должна содержать всё необходимое для решения поставленной задачи: теоретические сведения, расчеты, отсылки на источники, рисунки. Для структуризации курсового проекта основную часть следует разбивать на главы и подпункты в зависимости от смыслового содержания. Основная часть должна содержать следующее.

1. Проведенный анализ спектра выбранного загрязнителя, полученного с помощью базы данных загрязнителей «SPECTRA» [1]. Анализ должен включать обоснования выбора двух длин волн: λ_{\min} для минимума поглощения и λ_{\max} для максимума поглощения.

2. Обоснованный и аргументированный подбор лазера и детектора с необходимыми для дальнейших расчетов техническими характеристиками в виде табличных данных.

3. Расчеты и графики.

3.1. Измеряемая детектором мощность будет описываться следующим выражением:

$$P(C, z) = P_0 \cdot K_D(z) \cdot K_P(C, z),$$

где C – концентрация; z – пройденное расстояние; P_0 – выходная мощность лазера; K_D – потери на расходимость; K_P – потери на поглощение.

Потери на поглощение описываются зависимостью:

$$K_P(C, z) = \exp(-(\alpha_A \cdot (1 - C) + \alpha_{CO} \cdot C) \cdot z),$$

где α_A – коэффициент поглощения атмосферой, α_{CO} – коэффициент поглощения загрязнителем.

3.1.1. Потери на расходимость пучка оказывают коллиматор и фокусатор, используемые в устройстве. Для данной работы примем

коллиматор (К) и фокусатор (Ф) идеальными, тогда коэффициент расходимости опишется формулой:

$$K_D(z) = \begin{cases} 1, & z \cdot \theta \leq D_f \\ \left(\frac{D_f}{z \cdot \theta}\right)^2, & z \cdot \theta > D_f' \end{cases}$$

где $\theta = 1,22 \cdot \lambda / D_k$ – угол дифракции, D_f – световой диаметр фокусатора, D_k – световой диаметр коллиматора. D_k и D_f подставляются из данных, найденных в источниках при подборе компонентов. После этого производится оценка рабочего расстояния.

Для выбора светового диаметра учтем, что в лидарных комплексах для исследования атмосферы удовлетворительной считается угловая расходимость излучения не более 0,3 мрад.

3.1.2. Коэффициенты поглощения среды и загрязнителя считаются с учетом выбранного лазера, а именно – его ширины линии спектра.

3.1.2.1. Форма естественной спектральной линии излучения описывается функцией Лоренца

$$q(\nu) = \frac{1}{4} \frac{\Delta \nu_1^2}{(\nu - \nu_0)^2 + \frac{\Delta \nu_1^2}{4}},$$

где $\Delta \nu_1$ – ширина спектральной линии, а ν_0 – её центр. Переводом в волновые числа необходимо определить искомые диапазоны длин волн в см⁻¹, после чего построить графики коэффициентов поглощения на требуемых диапазонах с использованием базы данных «SPECTRA».

3.1.2.2. Тогда эффективный коэффициент поглощения будет определяться для каждой из зависимостей, представленных на рисунках 4-7, по формуле (10):

$$\alpha = \int_{k_1}^{k_2} A(k)q(k)dk,$$

где $A(k)$ – функция, описывающая форму спектра поглощения среды, $q(k)$ – форм-фактор Лоренца; k_1 и k_2 – границы диапазона волновых чисел. Далее требуется рассчитать эффективный коэффициент поглощения любым известным методом из курса высшей математики.

3.1.2.3. Далее подставляются найденные значения коэффициентов поглощения α и расстояние z в формулу расчета $K_P(C, z)$ и определяется коэффициент потерь по закону Бугера-Ламберта-Бера.

3.1.3. Рассчитав потери $K_D(z)$ и $K_P(C, z)$, полученные значения подставляют в уравнение для мощности $P(C, z)$. Так как для определения концентрации загрязнителя используется метод дифференциальных измерений, находят отношения мощностей P_1 и P_2 :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P_{01} \cdot K_{D1}(z) \cdot K_{P1}(C, z)}{P_{02} \cdot K_{D2}(z) \cdot K_{P2}(C, z)},$$

где P_{01} и P_{02} – выходная мощность лазера на длинах волн λ_{\min} и λ_{\max} .

3.2. Необходимо определить минимальную и максимальную регистрируемую прибором концентрацию загрязнителя. Минимальная и максимальная разность мощностей, которую можно зарегистрировать, задается параметрами детектора.

3.3. Рассчитав границы, необходимо проверить возможность прибора регистрировать предельно допустимую концентрацию (ПДК) загрязнителя.

3.4. Результирующий ответ, представляющий концентрацию, измеренную прибором, должен записываться в виде:

$$C = C_n \pm \Delta C_p,$$

где C_n – рассчитываемая величина концентрации, ΔC_p – относительная погрешность измерений.

Заключение курсового проекта должно быть четко структурировано. Необходимо отметить выполнение задач, которые ставились во введении, достижение цели исследования, итоги проделанной работы (в виде перечисления основных параметров: рабочего расстояния, диапазон регистрируемых концентраций загрязнителя, погрешность) и оценка недостатков прибора.

В самом конце работы прилагается список использованной литературы.

При наличии большого объема расчетных данных, таблиц или рисунков, следует оформить их в приложения.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На каком принципе основано лазерное зондирование?
2. Каков радиус действия лидаров?
3. Как работает лидар?
4. Назовите основные блоки лидара.
5. Почему лидары ставят на транспортные средства?
6. Для чего используются светофильтры и монохроматор в лидарах?
8. Какие методы анализа относятся к абсорбционным методам?
9. Какие преимущества имеет спектрофотометрический метод анализа по сравнению с фотоколориметрическим методом?
10. Чем обусловлено избирательное поглощение излучения молекулами?
11. Дайте определение следующих понятий: оптическая плотность, молярный коэффициент светопоглощения, пропускание.
12. Сформулируйте законы: закон Бера, закон Бугера-Ламберта, закон Бугера-Ламберта-Бера.
13. Что такое спектр поглощения вещества.
14. Какие методы определения концентрации вещества вы знаете.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

1. Захаров, В. П. Лазерная техника [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. П. Захаров, Е. В. Шахматов Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара : Изд-во СГАУ, 2006. – 311 с. - ISBN 5-7883-0468-7
2. Информационная база «SPECTRA» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://spectra.iao.ru/>.
3. Агишев, Р. Р. Лидарный мониторинг атмосферы [Текст] / Р.Р. Агишев. - М.: Физматлит, 2009. - 313 с.. - ISBN = 978-5-9221-1028-0
4. Привалов, В. Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. магистров "Техн. физика" / В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин. - СПб.- М.: Краснодар :Лань, 2013. - 287 с. - ISBN = 978-5-8114-1370-6
5. Лазерные измерения и диагностика в технике и экологическом контроле [Текст] : приборы, предприятия, специалисты, лит. : кат.-справ. [по странам СНГ] / Лазер. ассоц., Науч.-техн. информ.-учеб. центр Лазер. ассоц. - М. : НТИУЦ ЛАС, 2005. - 134 с.

Учебное издание

ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания к курсовому проекту

Составители: Захаров Валерий Павлович
Артемьев Дмитрий Николаевич

Самарский государственный национальный университет
имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)
443086 Самара, Московское шоссе, 34