ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

«ВОЛНОВЫЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА»

Методические указания

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ ТГУ
_____ С.Н. Филимонов
«28» марта 2019 г.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

«ВОЛНОВЫЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА»

Методические указания

Томск
2019

УДК 535.372
РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией физического факультета, протокол № 03-19 от «19» марта 2019 г.
Председатель МК ФФ М.А. Банщикова

Изложены рекомендации для выполнения практических занятий по исследованию волновых и корпускулярных свойств света. Методические указания разработаны для школьников старших классов общеобразовательных школ.

Методическое пособие подготовлено при финансовой поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ. Практические и лабораторные занятия проводятся на базе научно-образовательной лаборатории фотофизики и фотохимии молекул и кафедры оптики и спектроскопии физического факультета Томского государственного университета.

СОСТАВИТЕЛИ: *О. Н. Чайковская, Е.Н. Бочарникова*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. 5
Теоретическая часть 6
Рабочая установка 13
Практическая часть
1. Практическое занятие №1 «Почему вода и лед прозрачные?» 22
2. Практическое занятие № 2 «Измерение спектров поглощения» 24
3. Практическая работа № 3 «Изучение дифракции света и определение длины волны света при помощи дифракционной решетки» 26
Глоссарий 34

Тема: Волновые и корпускулярные свойства света.

Цель работы: Развитие интереса у обучающихся к современной физике, биофизике, экологии и выполнение проекта для участия в конкурсе через изучение фотофизических процессов и фотохимических реакций.

Задание:

1. Познакомиться с первыми представлениями о природе света и основами волновой оптики. Собрать оптическую схему для изучения дифракции. Определить длину волну излучения.
2. Познакомиться с принципом работы спектрофотофлуориметра СМ 2203.
3. Сформировать у обучающихся навык проведения анализа с помощью спектральных приборов.
4. Сформировать навык определения концентрации окрашенных растворов с помощью спектрофотометра.
5. Познакомить с современными лабораториями, отвечающими за проведение физического и физико-химического анализов.
6. Развить навык безопасной работы с оборудованием.
7. Развить гибкие компетенции: сбор информации, аргументация, мотивация и самомотивация, мышление «результатами» и «процессами», системное мышление, коммуникативность; выработать способность сочетать исследовательскую и проектную деятельность при реализации собственных проектов.
8. Собрать образцы снега с различной глубины снежного покрова из различных районов города. Растопить образцы при комнатной температуре, отфильтровать. Записать спектры поглощения водных растворов на приборе СМ 2203.

9. Проанализировать результаты, составить таблицы и нарисовать диаграммы. Сделать выводы. Отчет представить в файлах в форматах Excel, Word, Origin и PowerPoint.

В результате выполнения лабораторной работы школьник должен:

Освоить:

- основные фундаментальные явления, лежащие в основе взаимодействия света с веществом;
- принцип работы и конструкцию устройств и прибора, используемого в данном методе исследования;
- практические возможности метода.

Уметь:

- проводить необходимые эксперименты;
- получать результаты, их обрабатывать и анализировать в рамках используемого метода;
- дать оценку использования полученных результатов в практических целях.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены для школьников старших классов на лабораторной базе физического факультета Томского государственного университета для цикла практических работ по темам: «Прозрачность», «Дифракция» и «Поглощение». На основе полученных результатов желающие могут подготовить проект и представить его на конкурсе школьных проектов, который ежегодно проходит в Томском государственном университете в мае. Выполнение предлагаемых

практических работ позволяет получить общие элементарные представления о механизме взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Современное научное описание этого механизма основано на разделах физики, известных как «квантовая теория» и «электродинамика» и изучается студентами физических факультетов университетов. Мы старались избежать квантовых представлений, и некоторые сложные вопросы представлены в упрощенном нематематическом виде. Практические занятия знакомят школьников с разнообразием современных физических методов и с особенностями эксперимента. Школьники познакомятся с конкретными примерами установления волновых и корпускулярных свойств света.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электромагнитные волны - электромагнитные колебания распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью. Существование электромагнитных волн было предсказано М. Фарадеем в 1832 году. После Дж. Максвелл в 1865 году теоретически показал, что электромагнитные колебания не остаются локализованными в пространстве, а распространяются в вакууме со скоростью света во все стороны от источника. Из того обстоятельства, что скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна скорости света, Максвелл сделал вывод, что свет представляет собой электромагнитную волну.

Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать частоту и длину волны. Длина волны зависит от скорости распространения излучения. Скорость распространения электромагнитного излучения в

вакууме равна скорости света, в других средах эта скорость меньше. Частота, в свою очередь, представляет собой число колебаний электрического поля за одну секунду. Частота характеризует периодичность электромагнитного излучения во времени и не зависит от среды, в которой распространяется свет, а длина волны характеризует периодичность излучения в данной среде пространства и меняется в зависимости от свойств среды, в которой распространяется свет. Скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме является фундаментальной физической постоянной, называемой скоростью света и равной $2{,}997925 \times 10^8$ м/с.

В воздухе скорость света уменьшается приблизительно на 0,03 %. Для практических целей можно принять значение скорости света равной 3×10^8 м/с. Механизм прохождения света через оптически плотную среду (среду с большим абсолютным показателем преломления) связан с взаимодействием излучения с валентными электронами молекул вещества, в результате чего скорость распространения излучения уменьшается. Поскольку частота излучения при этом остается постоянной, длина волны изменяется. Пример, приведенный на рис. 1, показывает, что при переходе видимого излучения из воздуха в стекло длина волны уменьшается приблизительно на 200 нм.

Шкала электромагнитных излучений показывает, как один качественный вид излучений переходит в другой по мере того, как изменяются взаимосвязанные количественные показатели частоты, длины волны. Шкала электромагнитных волн (рис. 2) или излучений представляет собой ряд диапазонов электромагнитных волн, которые распределяются в соответствии с частотой.

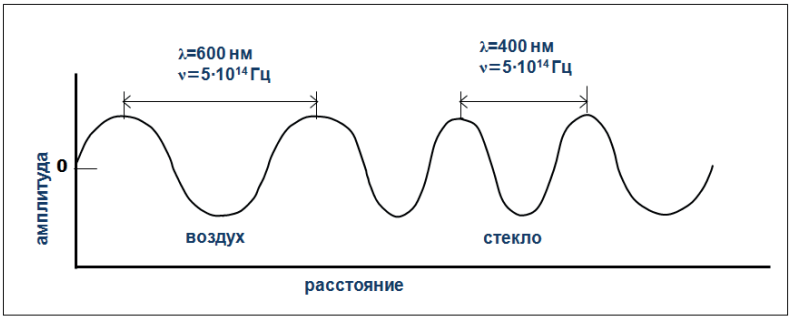


Рисунок 1 – Уменьшение длины волны при переходе видимого излучения из воздуха в стекло

Такое распределение позволяет создать шкалу, по которой мы можем разложить все электромагнитные колебания по их частоте или длине волны и обсудить их свойства. По такой шкале очень удобно обсуждать вопрос происхождения электромагнитных волн, то есть как эти электромагнитные волны появляются и, соответственно, что является источником этих электромагнитных волн.

Шкала электромагнитного излучения простирается от длинноволнового излучения – радиоволн с длинами волн более 0,1 см – до высокоэнергетического γ-излучения с длинами волн порядка 10^{-11} м.

Свет – это электромагнитные волны в интервале частот $63\times10^{14}\div8\times10^{14}$ Гц, воспринимаемых человеческим глазом, т.е. длин волн в интервале 380÷780 нм.

Свету присущи все свойства электромагнитных волн: *отражение, преломление, интерференция, дифракция, поглощение и т.д.* Свет также может оказывать давление на вещество, поглощаться средой, вызывать явление фотоэффекта.

Отражением света называют изменение направления световых лучей при падении на границу раздела двух сред,

при котором свет возвращается в среду, из которой пришел.

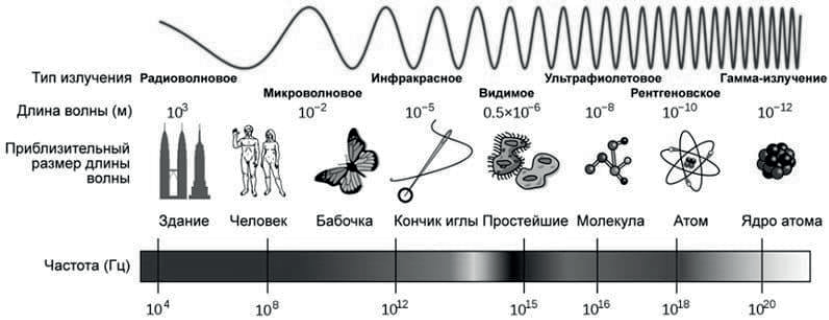


Рисунок 2 – Шкала электромагнитных волн

Законы отражения света.

1. Лучи, падающий и отражённый, лежат в одной плоскости с перпендикуляром к отражающей поверхности, восстановленным в точке падения луча.

2. Угол падения равен углу отражения (рис. 3). α – угол падения, β – угол отражения.

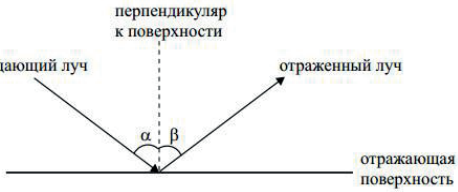


Рисунок 3 – Второй закон отражения света

Преломлением света называют изменение направления световых лучей при переходе света из одной прозрачной среды в другую.

Законы преломления света.

1. Падающий луч, преломлённый луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к границе раздела, лежат в одной плоскости (рис. 4).

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред (n - относительный показатель преломления второй среды относительно первой):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n.$$

3. Относительный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в первой среде отличается от скорости света во второй среде:

$$n = \frac{v_1}{v_2}.$$

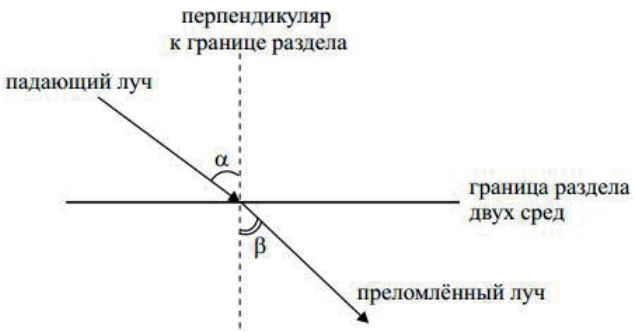


Рисунок 4 – Первый закон преломления света

Если свет переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, то при выполнении условия $\alpha > \alpha_0$, где α_0 – предельный угол полного отражения, свет вообще не выйдет во вторую среду. Он полностью отразится от границы раздела и останется в первой среде. При этом закон отражения света даёт следующее соотношение:

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n}$$

Интерференцией называется процесс наложения волн от двух или нескольких источников друг на друга, в результате которого происходит перераспределение энергии волн в пространстве. Для перераспределения энергии волн в пространстве необходимо, чтобы источники волн были когерентны. Это означает, что они должны испускать волны одинаковой частоты и сдвиг по фазе между колебаниями этих источников с течением времени не должен изменяться.

В зависимости от разности хода (Δ) в точке наложения лучей наблюдается максимум или минимум интерференции. Если разность хода лучей от синфазных источников Δ равна целому числу длин волн $m\lambda$ (m – целое число), то это максимум интерференции:

$$\Delta = m\lambda,$$

если нечётному числу полуволн – минимум интерференции:

$$\Delta = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}.$$

Дифракцией называют отклонение в распространении волны от прямолинейного направления или проникновение энергии волн в область геометрической тени. Дифракция хорошо наблюдается в тех случаях, когда размеры препятствий и отверстий, через которые проходит волна, соизмеримы с длиной волны.

Один из оптических приборов, на котором хорошо наблюдать дифракцию света – это **дифракционная решётка**. Она представляет собой стеклянную пластинку, на которую на равном расстоянии друг от друга алмазом нанесены штрихи. Расстояние между штрихами – постоянная решётки или *d*. Лучи, прошедшие через решётку, дифрагируют под всевозможными углами. Линза

собирает лучи, идущие под одинаковым углом дифракции, в одной из точек фокальной плоскости. Идущие под другим углом – в других точках. Накладываясь друг на друга, эти лучи дают максимум или минимум дифракционной картины. Условия наблюдения максимумов в дифракционной решётке имеют вид:

$$d \sin \varphi = m\lambda,$$

где m – целое число, λ – длина волны (рис. 5).

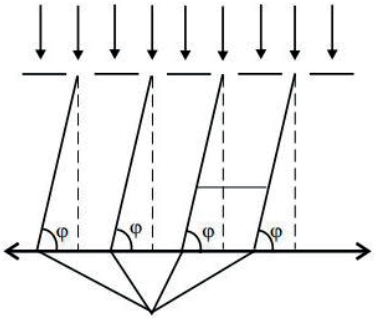


Рисунок 5 – Явление дифракции

Поглощением (или абсорбцией) света называется явление потери энергии световой волной, проходящей через вещество. Поглощение света веществом возможно описать и понять только с помощью представлений о корпускулярной природе электромагнитного излучения.

В ходе поглощения веществом электромагнитного излучения, лежащего в определенной области спектра, отдельный атом, ион или молекула, взаимодействуя с фотоном, увеличивает свою энергию на величину, равную энергии фотона, и переходит из основного энергетического состояния в возбужденное. Согласно квантовой теории возможные энергетические состояния частицы дискретны и определяются природой частицы, ее окружением и

физическим состоянием вещества. Процессы поглощения света отдельными атомами и молекулами протекают по-разному.

Явление поглощения широко используется в спектральном анализе веществ, основанном на измерениях спектров частот и интенсивностей линий (полос) поглощения. Структура спектров поглощения определяется составом и строением молекул, поэтому изучение спектров поглощения является одним из основных методов количественного и качественного исследования веществ.

РАБОЧАЯ УСТАНОВКА

Спектроскопическими методами анализа называются методы, основанные на взаимодействии вещества (в данном случае – анализируемого образца) с электромагнитным излучением. На спектральных приборах ученые получают спектры исследуемого вещества. Спектр является индивидуальной характеристикой вещества. Положение линий в спектре является основой качественного анализа, по интенсивности линий можно проводить количественный анализ содержания вещества с той или иной степенью точности.

Спектрофотометр и его применение

Цвет является ощущением, что возникает в человеческом мозге из-за цветового стимула (лучистая энергия, которая проникает в человеческий орган зрения). Но бывают ситуации, когда цвет необходимо измерить. Для этого ученые и инженеры создали прибор – спектрофотометр.

Спектрофотометр – прибор, предназначенный для измерения отношений двух потоков оптического излучения, один из которых – поток, падающий на исследуемый образец, другой – поток, испытавший то или иное взаимодействие с образцом. Прибор позволяет производить измерения для различных длин волн оптического излучения, соответственно в результате измерений получается спектр отношений потоков. Спектрофотометр обычно используется для измерения спектров пропускания (поглощения) или спектров отражения излучения.

В качестве исследуемого образца для измерения может быть – жидкость, твердое тело, паста, гранулы, пленки или порошки.

Спектрофотометры могут работать в различных диапазонах длин волн – от ультрафиолетового до инфракрасного. В зависимости от этого приборы имеют разное назначение.

Спектрофотометры по назначению подразделяются на следующие категории:

- Если нужны точный анализ цвета, испытания и аттестация сырьевых материалов, то применяют стационарные приборы (для исследований, измерения степени пропускания прозрачных предметов и белизны предмета с ультрафиолетовыми компонентами).

- Спектрофотометры портативной конфигурации дают возможность измерить цвет в режиме реального времени и на любом этапе производственного процесса. Такие приборы легкие и очень удобные, их можно транспортировать. В настоящее время существуют

современные портативные компактные и легкие спектрофотометры, предназначенные для измерения, контроля и сравнения цвета пластмасс, ткани, кожи, окрашенных поверхностей и других материалов в автомобильной, текстильной, радиоэлектронной, фармацевтической, косметической, пищевой промышленностях и т.п.

Основное назначение спектрофотометров в полиграфической отрасли – проведение точной линеаризации и калибровки процессов печати. Спектрофотометры предоставляют возможность проведения точечных и автоматизированных измерений для создания высококачественных ICC-профилей.

Использование в качестве источника излучения ксеноновой лампы позволило разработчикам размещать прибор в различных плоскостях поверхности образца. Эргономичный корпус и видоискатель с подсветкой обеспечивают точное и быстрое позиционирование при измерении конкретного цвета.

Основные характеристики прибора

На рисунке 6 приведена основные элементы в схеме спектрофотометра: источник света, монохроматор, исследуемый образец и детектор.

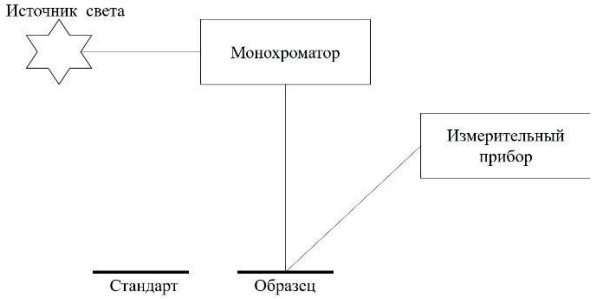


Рисунок 6 – Упрощенная схема спектрофотометра

Исследуемый образец пропускает либо отражает падающий на него свет от источника освещения.

Измерение спектрофотометром происходит следующим образом: лампа (источник излучения) излучает измерительный свет, он попадает на монохроматор (призму либо дифракционную решетку), который разделяет его на части, каждая часть по-разному пропускается или отражается от исследуемого образца. Свет, проходя через вещество, попадает на фоточувствительный элемент, который выдает данные об энергетическом распределении по отраженному, поглощенному либо пропущенному образцом излучаемому от лампы спектру. Как итог получается коэффициент отражения либо пропускания, он выражается в процентах – это то (спектр), что мы с вами регистрируем и видим на экране монитора.

Чтобы подробнее познакомится с характеристиками спектрофотометра, на котором нам предстоит работать, необходимо прочитать следующий параграф.

Вид и основные характеристики спектрофотофлуориметра СМ 2203

Вид и основные характеристики спектрофотофлуориметра **СМ 2203** показаны на рисунке 7.

Оптическая схема спектрофлуориметра в режиме спектрофотометра состоит из осветителя I, монохроматора II и кюветного отделения III.

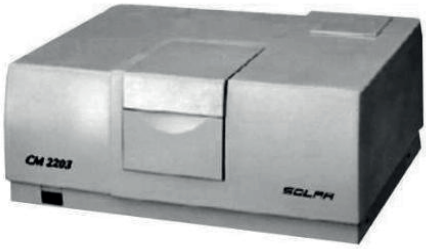
Осветитель I включает в себя источник излучения 1 (ксеноновая короткодуговая лампа типа ДКсШ 150-3, имеющая почти непрерывный спектр излучения в области 2204000 нм), контротражатель **2** и эллипсоидное фокусирующее зеркало **3**.

Между осветителем I и монохроматором II установлен блок сменных диафрагм **4**, служащий для дискретного изменения светового потока, падающего на входную щель **5** монохроматора возбуждения, с целью расширения динамического диапазона работы прибора. Монохроматор возбуждения люминесценции II - двойной, служит для селекции длин волн возбуждающего излучения с низким уровнем рассеянного излучения.

Содержит входную щель **5**, два коллиматорных объектива **6** и **8**, промежуточную щель **29**, выходную щель **10**, две идентичные дифракционные решетки **7** и **9**. Диапазон раскрытия входной и выходной щелей монохроматора от 0 до 4 мм (ширина щелей), высота щелей - 3 мм.

Узел светофильтра **11** служит для устранения излучения высших порядков дифракции. Кюветное отделение III служит для размещения исследуемого образца. С помощью плоскопараллельной пластинки **13** на фотодиод **14** (типа ФДУК-2) отводится часть излучения с целью контроля нестабильности источника (опорный канал). Излучение, прошедшее кювету **15** с исследуемым образцом, регистрируется фотоприемником **16** измерительного канала. В качестве фотоприемного устройства используется кремниевый фотодиод типа ФДУК-2. Промежуточная щель обозначена цифрой **17**.

Спектрофотофлуориметр СМ 2203 является полностью управляемым от компьютера. Он может применяться как в ультрафиолетовой, так и видимой области спектра. СМ 2203 обеспечивает высокочувствительные и стабильные измерения спектров возбуждения, испускания, синхронных, поляризации, температурных, квантового выхода, поглощения жидких и твёрдых образцов.



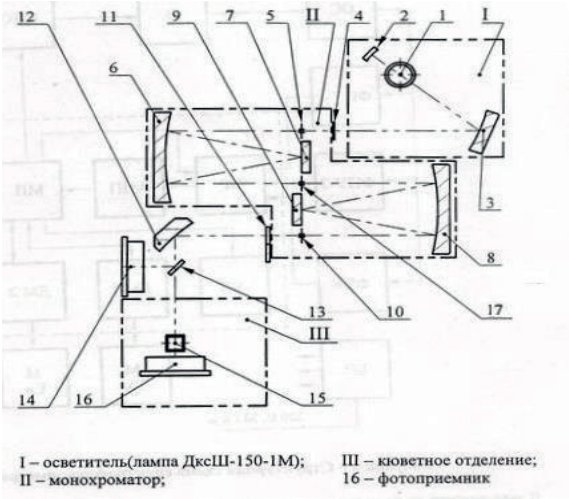


Рисунок 7 – Внешний вид спектрофотофлуориметра СМ 2203 и оптическая схема в режиме спектрофотометра

Высокая чувствительность, надёжность, широкая спектральная область работы и универсальный набор измерительных и программных функций обеспечивают применение СМ 2203 в различных областях: медицине, биохимии, фармакологии, пищевой промышленности, экологии, химии, криминалистике.

Программные функции прибора СМ 2203:

- коррекция спектров возбуждения и испускания;
- дифференцирование, интегрирование, сглаживание, интерполяция
- представление спектров в шкале длин волн или волновых чисел;
- арифметические действия между спектрами;
- автоматический поиск максимумов и минимумов в спектре;
- автоматический и ручной выбор масштаба изображения;
- вывод на принтер спектров, кинетических кривых, таблиц;
- создание и хранение методик с последующим выполнением по ним конкретных заданий;
- сохранение условий и результатов измерений.

Технические характеристики:

- чувствительность отношение сигнал/шум - не менее 160 для Рамановского спектра воды (при выделяемой спектральной полосе пропускания монохроматоров 5 нм и времени усреднения сигнала 2 сек.);
- монохроматор двойные со сложением дисперсии;
- выделяемый спектральный интервал произвольный: 0...15 нм;
- точность установки длины волны ± 0,5 нм;
- спектральный диапазон 200...820 нм;
- кюветное отделение однопозиционный термоэлектрически термостатируемый в диапазоне температур 10...60°С кюветодержатель с управляемой магнитной мешалкой;

- минимальный объём образца 1 мл в стандартной 10 мм кювете.

Режим спектрофотометра:

- спектральный диапазон 200...1100 нм;
- фтометрический диапазон - 0,3...3 Б;
- точность фотометрирования < 3% (в зависимости от величины поглощения);
- интерфейс RS232;
- энергопотребление 220 (±10 %) В, 50Гц, 350 ВА;
-вспомогательное оборудование устройство для поляризационных измерений, держатель твёрдых образцов, оптоволоконный зонд для измерения люминесценции вне кюветного отделения, "стандартный" люминесцирующий образец с широкодиапазонным спектром люминесценции.

Оценка необходимой степени точности

Данные физических или химических измерений неизбежно включают некоторые ошибки или погрешности. Результатом отдельного экспериментального наблюдения является *измеряемое* значение X. Разность между X и *истинным* значением X_0 данной величины представляет собой ошибку конкретного измерения. На практике, однако, невозможно выполнить бесконечно большое число измерений. Точность результата чаще всего выражают с помощью *стандартного отклонения* s, которое представляет собой квадратный корень из второго момента распределения относительно среднего значения и является мерой точности результатов измерения.

Стандартное отклонение вычисляется по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - X)^2}{N - 1}},$$

где X_i – конкретное измеряемое значение; $\overline{X}$ – среднее арифметическое значение; N – число измерений.

Источники ошибок

1. Неверный выбор режима работы прибора.
2. Случайные ошибки при подготовке образца.
3. Изменение температуры и влажности помещения в процессе эксперимента.

Техника безопасности при выполнении работы

Опасность представляют использование электроприборов. Перед началом работы необходимо убедиться в исправности приборов и наличии защитного заземления.

ПРАКТИЧЕСКА ЧАСТЬ

Практическое занятие №1 «Почему вода и лед прозрачные?»

Цель: изучить волновые свойства света.

Задачи:

- изучить явление прозрачности;
- познакомиться со строением вещества.

Прозрачность среды – свойство вещества направленно пропускать свет и зависит от степени отражения, поглощения и рассеяния света веществом. Прозрачность зависит от длины волны излучения, то есть по отношению к излучению в определённом спектральном диапазоне – о прозрачности в данном диапазоне, например, светового излучения в видимом диапазоне (или, простыми словами, свет) – для стекла, воды, льда.

Механизм прозрачности состоит в следующем. Свет воздействует на заряды в атомах и молекулах вещества так, что те начинают собственные колебания и переизлучают его, отражая или преломляя. Атомы поглощают и излучают свет только на определённых длинах волн. В видимом диапазоне лед, вода и стекло – прозрачны.

Примеси или посторонние вещества (пыль, красители и другие твердые частицы), которые часто присутствуют в воде, стекле или льде, создают мутность среды и делают ее непрозрачной. Мы часто прозрачность воды или льда отождествляем с их чистотой.

Прозрачность (для видимого человеком излучения) явление, связанное с фундаментальным физическим понятием – взаимодействие света с веществом. Чтобы разобраться нам необходимо в качестве вещества взять

стекло (подойдет стекло от рамки с фотографией или обычный стакан) и стакан с водой (ведь лед – это замороженная вода, природный лёд обычно значительно чище, чем вода и не содержит примесей и пузырьков). Не поленись, милый друг, найти совершенно темную комнату, потому что дальше произойдет самое интересное. Прихвати с собой в кармане фонарик (лучше в мобильном телефоне), а также лазерные указки с красным и зеленым излучением. Удостоверься, что в темной комнате ты не забыл поставить стекло и стакан с водой. Итак, в абсолютно темной комнате ты ничего не увидишь! Посвети любым источником света и зафиксируй глазом разницу, ведь глаз человека – это хороший оптический прибор. А теперь, нам придется подумать и разобраться, что такое стекло и лед, а, именно, заглянуть внутрь и определить из чего они состоят? Стекло из атомов Si и O, лед – из атомов H и O. Причем без примесей! Заметь, стекло, так же как и лед, не имеет кристаллической решетки. Когда луч света проходит через исследуемое вещество – так как поглощаться нечем, то луч проходит насквозь и, поэтому среда является прозрачной.

Хочется заметить, что, например, инфракрасное излучение поглощается стеклом и водой. Это можно проиллюстрировать следующим примером – река в озере или реке быстро нагреваются на солнце летом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опиши свои ощущения в темной комнате.
2. Опиши разницу, которую ты заметил при переходе из темной комнаты на свет.
3. Что такое прозрачность?
4. Что такое отражение?

5. Объясни появление тени у предметов.
6. Что такое видимый свет?
7. Почему в темной комнате ничего не видно?

Практическое занятие № 2
«Измерение спектров поглощения»

Цель: изучить явление поглощения света.

Задачи:

- изучить явление поглощения света веществом;
- познакомиться со спектрофотометром;
- записать спектры поглощения водного раствора, содержащего загрязнители.

Порядок выполнения работы

1. Изучить руководство по эксплуатации прибора
2. Собрать предварительно в пластиковые контейнеры образцы снега с различной глубины снежного покрова из различных районов города. Принести в лабораторию. Тщательно подписать каждый контейнер: дата, район, глубина. Занести данные в тетрадь для записей или ноутбук.
3. Перенести снег в лаборатории в стеклянные пробирки. Растопить при комнатной температуре.
4. Каждый водный раствор отфильтровать в чистую посуду.
5. Водные растворы записать на спектрофотометре СМ2203 в режиме поглощения относительно пустой кюветы.
6. Перевести данные спектров в табличные значения (табл. 1) и построить спектры поглощения исследуемых образцов.

7. Данные занести в таблицу «Оптическая плотность поглощения на длине волны 250 нм»
8. Построить диаграммы чистоты снега по районам города.
9. Проанализировать данные
10. Сделать практические рекомендации

Таблица 1. Оптическая плотность поглощения исследуемых образцов на длине волны 250 нм

№	Дата	Район	Глубина слоя	Оптическая плотность
1	11 декабря 2019 г.	Академгородок (жилой массив, ул. 30 летия Победы, 8)	верхний	
2			средний	
3			нижний	
4	11 ноября 2019 г		верхний	
5			средний	
6			нижний	
7				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое поглощение?
2. Что такое пропускание?
3. Что такое длина волны света?
4. Назовите фотохимические реакции, которые вы наблюдали в природе?
5. В чем заключается механизм поглощения света веществом?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.

Практическая работа № 3
«Изучение дифракции света и определение длины волны света при помощи дифракционной решетки»

Цель: изучить явление дифракции света.

Задачи:

- изучить волновые свойства света;
- познакомиться с дифракционной решеткой;
- собрать установку для получения дифракционной картины;
- наблюдать порядок дифракции на экране;
- определить длину волны излучения при помощи лазера, направленного через щель на дифракционную решетку.

Оборудование: оптическая скамья с нанесенной на ней линейкой, экран, лампа – источник белого света, лазер, дифракционная решетка, щель и фокусирующие линзы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Светом называют электромагнитное излучение, испускаемое нагретым или находящимся в возбуждённом состоянии веществом. Под светом в широком смысле понимают не только видимый свет, который воспринимается человеческим глазом и вызывает зрительные ощущения, но и примыкающие к нему области электромагнитного спектра. Электромагнитные колебания распространяются в вакууме с наибольшей в природе скоростью с равной примерно 3×10^8 м/с (300 тысяч километров в секунду), образуя электромагнитные волны. Расстояние, которое проходят электромагнитные колебания за один период Т, называют длиной волны.

$$\lambda = cT$$

Видимый свет – это электромагнитное излучение с длинами волн приблизительно от 380 до 780 нм (от слабо видимого фиолетового до красного цвета) (1 нм = 10^{-9} м; нм – обозначение нанометра – единицы измерения малых длин). Если расположить области электромагнитного спектра в порядке увеличения длины волны (рис. 8), то слева от видимого диапазона будет область ультрафиолетового (УФ) излучения (λ <380 нм), а справа – область инфракрасного (ИК) излучения (λ >760 нм).

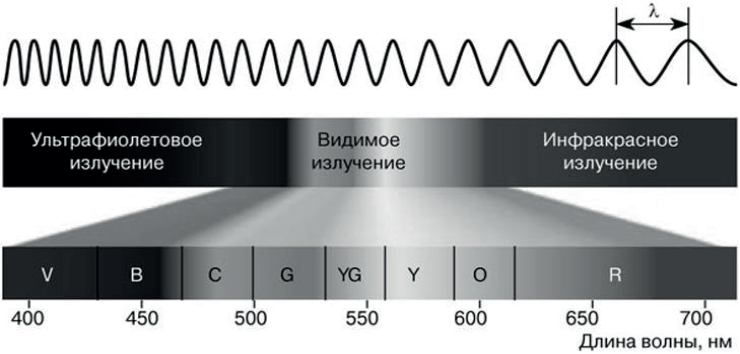


Рисунок 8 – Спектр электромагнитных волн

Дифракцией называют явление огибания волнами препятствий. Свет, как и любая волна, испытывает дифракцию при встрече препятствия, соразмерного длине волны. Препятствием может служить экран с отверстием любой формы – щелью, круглым отверстием. Им может быть и небольшой предмет, не перекрывающий полностью пучок света, а лишь частично его закрывающий. В любом случае появляющаяся картина будет представлять чередование максимумов и минимумов, повторяющих форму препятствия. В случае щели это будут

чередующиеся темные и светлые полосы, для круглого отверстия – окружности. Дифракционный спектр в этой работе вы будете получать с помощью дифракционной решетки. Она представляет собой совокупность узких параллельных щелей, пропускающих свет, разделенных непрозрачными полосами. Каждая щель усиливает действие соседней, и картина получается существенно более яркой, чем от одной щели. Основной характеристикой дифракционной решетки является постоянная решетки d – суммарная ширина прозрачной и непрозрачной полоски. Эту величину называют также периодом дифракционной решетки.

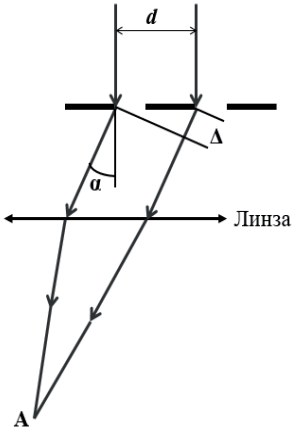


Рисунок 9 – Период дифракционной решетки

На рисунке 9 из всех лучей, упавших на решетку, выделены два луча, прошедшие через нее на расстоянии d друг от друга. Эти лучи испытали дифракцию, т.е. отклонились от прямого пути на угол α. Поставленная на их пути линза собрала их в своем фокусе, где они наложились друг на друга. Результат наложения определяется той разностью хода Δ, которую они приобрели из-за отклонения от прямого пути. В точке А экрана будет наблюдаться максимум для длины волны, если разность хода этих волн кратна целому числу длин волн:

$$\Delta = k\lambda$$

где k =0, ±1, ±2, ±3, … – целое число, называемое порядком спектра.

Как следует из рисунка, разность хода можно выразить через период d дифракционной решетки:

$$\Delta = d \sin \alpha$$

Из данных выражений можно легко получить условие дифракционных максимумов – формулу дифракционной решётки:

$$\Delta = d \sin \alpha = k\lambda \text{ ; } (k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots).$$

Из этого равенства следует, что угол отклонения всех максимумов (кроме нулевого, для которого k = 0) зависит от длины волны: чем больше, тем на больший угол отклоняется волна. Поскольку волны разной длины (а, значит, и **разного цвета!**) отклоняются на разные углы, то белый свет, упавший на решетку, разлагается в спектр. Максимум нулевого порядка будет белым, потому что при k = 0 условие максимумов выполняется для всех длин волн. В полученное соотношение вошла интересующая нас величина – длина световой волны.

Это выражение является основной расчетной формулой для вычисления световых волн при помощи дифракционной решетки и называется формулой дифракционной решетки.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя оптическую скамью с светозащитным сдвигающимся кожухом, стойку дифракционного элемента, несколько щелей различной ширины, стойку источника света, держатели для линз, стойку с экраном для визуализации дифракционной картины.

В данной работе последовательно необходимо построить две схемы хода лучей в лабораторной установке для получения дифракционной картины и определения

длины световой волны. Одна схема используется для пучка белого света от лампы накаливания (рис. 10), другая для точечного источника света – лазера (рис. 11).

Пучок белого света от лампы накаливания падает на узкую щель, фокусируясь через линзу 1. Она нужна для того, чтобы вырезать из него лучи, идущие от небольшого участка источника, когерентные друг другу. Затем сформировавшийся пучок света проходит через линзу 2, образуя в целом коллиматор, и только потом попадает на дифракционную решетку.

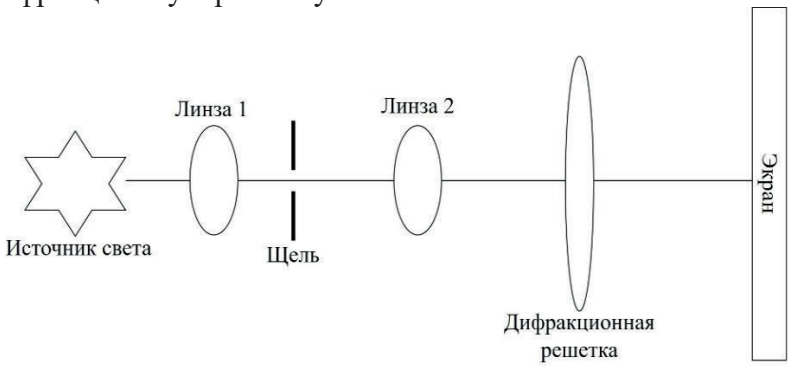


Рисунок 10 – Схема лабораторной установки для лампы накаливания

В случае если источником будет лазер, коллиматор не нужен: атомы лазера светятся согласовано, свет от него когерентен. Падая на решетку, свет частично проходит через нее прямо, частично отклоняется или дифрагирует.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Внимание! Запрещается трогать руками оптические поверхности линзы, источника и экран. Все перемещения вдоль оптической скамьи следует производить, двигая приборы за пластиковые рейтеры.

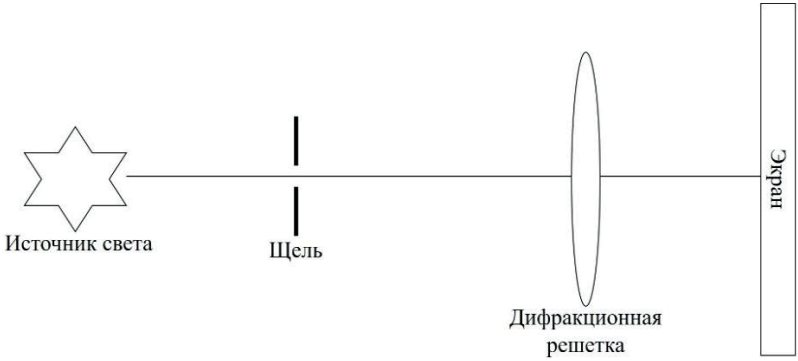


Рисунок 11 – Схема лабораторной установки для лазера

Порядок выполнения работы:

1. Соберите установку, как показано на рисунке 12.
2. Включите источник света. В данной лабораторной работе необходимо рассчитать длину волны излучения красного луча лазера. Проходя через дифракционную решетку на экране, мы видим дифракционную картину (рис. 15).

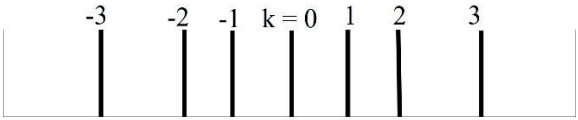


Рисунок 12 – Дифракционная картина

Предлагается на выбор провести вычисление длины волны излучения на втором или третьем порядке дифракции.

3. По измеренным длинам можно найти синус угла отклонения (рис. 13), который при малых углах (α <10) практически равен тангенсу:

$$tg\alpha = \frac{\langle l \rangle}{L}.$$

где $\langle l \rangle$ – расстояние от экрана до дифракционной решетки, а L – расстояние от необходимого до нулевого порядка

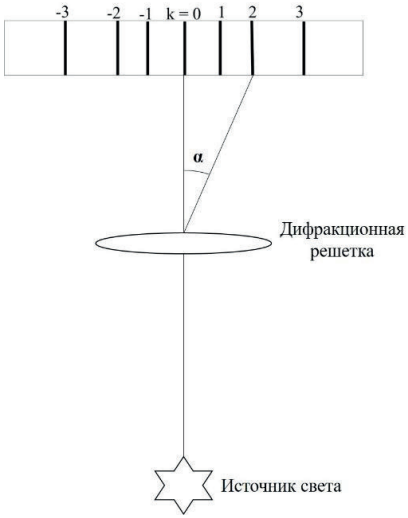


Рисунок 13 – Угол отклонения

дифракции.

4. Используя формулу для расчета длины волны вычислить значения длины волны излучения на основе полученных данных. При расчете используйте точные значения ширины щели, указанные на обратной стороне щели.

5. Полученное значение длины волны сравните с известными длинами волн оптического диапазона. Сформулируйте и напишите вывод, обобщающий полученные вами результаты измерений, расчетов и

сравнений. Представьте результаты измерений на проверку преподавателю.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите составные части установки и их назначение.
2. Какие величины измеряются в данной работе непосредственно? Какие вычисляются?
3. В чем заключается явление дифракции?
4. Что представляет собой дифракционная решетка? Для чего она используется?
5. Что такое угол дифракции?
6. Почему белый свет, пройдя через дифракционную решетку, образует спектр? В каком порядке располагаются цвета в этом спектре?
7. В каких пределах лежат длины волн видимого света? Как называют излучение, длины волн которого меньше (больше), чем у видимого света?
8. Выведите и объясните расчетную формулу для вычисления длины волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.С. Курс общей физики. Т.1. Издательство «Наука», М., 1970 г.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 4. Издательство «Наука», М., 1980 г.
3. Горелик Г. С. Колебания и волны. Издательство: Физико-математической литературы, М., 1959 г.

ГЛОССАРИЙ

Электромагнитное излучение имеет двойственную природу и обладает как волновыми, так и корпускулярными (дискретными) свойствами.

Электромагнитная волна состоит из двух компонентов - электрического и магнитного, которые перпендикулярны друг другу и к направлению движения волны (рис. 14).

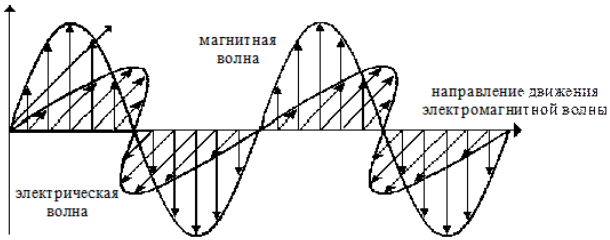


Рисунок 14 – Электромагнитная волна

Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация и т.д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Уже в начале XX века выяснилось, что эта теория недостаточна для интерпретации явлений атомного масштаба, возникающих при взаимодействии света с веществом. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект, эффект Комптона и многие другие потребовалось введение квантовых представлений. Наука вновь вернулась к идее корпускул – световых квантов (фотонов). Тот факт, что свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в

других – корпускулярные, означает, что он имеет сложную **двойственную природу**, которую принято характеризовать термином **корпускулярно-волновой дуализм**.

Длина волны (λ) – расстояние, которое проходит волна за один период её колебаний (расстояние между двумя последовательными максимумами). Длина волны измеряется в метрах (м). На практике обычно используют кратные единицы – нанометр (1 нм = 1×10^{-9} м) или микрометр (1 мкм = 1×10^{-6} м).

Частота (ν) – число колебаний в 1 секунду. Частота измеряется в герцах (1 Гц = 1 $с^{-1}$) или в кратных ему единицах, например, 1МГц (мегагерц) = 1×10^{6} Гц. Длина волны и частота колебаний связаны между собой следующим уравнением:

$$\lambda\times\nu=c,$$

где с - скорость распространения волны в данной среде.

Спектроскопическими называются методы анализа, в которых качественно и количественно измеряется взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

Волновое число – число волн, приходящихся на 1 см в вакууме. Волновое число связано с длиной волны следующим соотношением:

$$\tilde{\nu}=\lambda^{-1},$$

где λ - длина волны [см]. Размерность волнового числа в $см^{-1}$.

Электромагнитное излучение можно рассматривать как поток частиц энергии - фотонов. Связь между волновой и корпускулярной природой

электромагнитного излучения устанавливает уравнение Планка.

Видимый свет занимает диапазон приблизительно от 380 нм до 780 нм или от 0,38 мкм до 0,78 мкм.

Свет играет чрезвычайно важную роль в нашей жизни. Подавляющее количество информации об окружающем мире человек получает с помощью света. Однако, в оптике как разделе физики под светом понимают не только видимый свет, но и примыкающие к нему широкие диапазоны спектра электромагнитного излучения – инфракрасный (ИК) и ультрафиолетовый (УФ). По своим физическим свойствам каждый диапазон электромагнитного излучения отличается друг от друга только длиной волны λ и частотой ν. Рисунок 15 дает представление о шкале электромагнитных волн.

Весьма привлекательной задачей для ученых является использование протекающих в природе фотохимических реакций. **Фотохимические реакции** – химические реакции, которые инициируются воздействием электромагнитных волн, в частности – светом. Для химиков и медиков, наиболее интересными являются химические превращения, протекающие под действием света в видимой и ультрафиолетовой областях спектра.

Когда фотохимические реакции нельзя инициировать непосредственно светом, так как вещество не поглощает волн доступной длины, можно инициировать реакцию, используя вещества, способные поглощать свет и передавать энергию реагентам. Такой процесс известен как **фотосенсибилизация**.

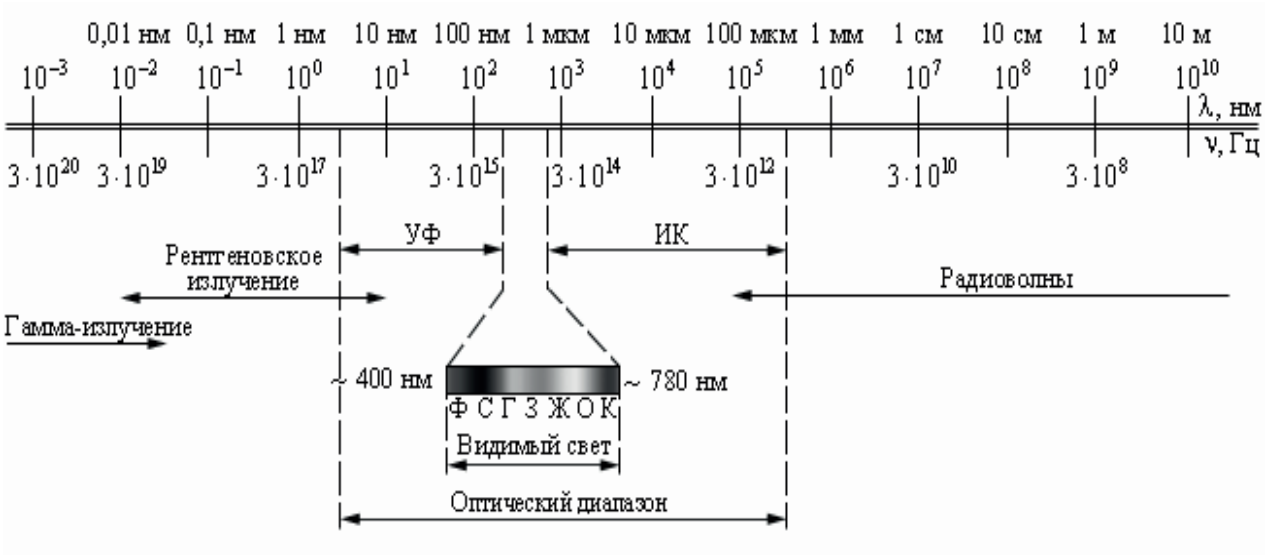


Рисунок 15 – Шкала электромагнитных волн. Границы между различными диапазонами условны

Молекула, поглотившая в первичном процессе квант света, приобретает избыточную энергию, поэтому такую молекулу называют возбужденной. В отличие от теплового воздействия, когда возбуждаются колебательные движения молекулы и возрастает ее кинетическая энергия, при поглощении фотона энергия передается электронам. С электронно-возбужденной молекулой могут происходить самые разнообразные процессы. Некоторые из них не связаны с химическими превращениями и называются **фотофизическими процессами**.

Возбужденная светом молекула может также вступать в различные химические реакции. Свойства электронно-возбужденного состояния могут сильно отличаться от свойств основного состояния молекулы. Так как у каждой молекулы существует лишь одно основное, но несколько возбужденных состояний, фотохимия данного соединения может быть существенно богаче его химии в основном состоянии. В результате появляется возможность осуществлять необычные химические превращения, не свойственные веществам в основном состоянии.

Коллима́тор – устройство для получения параллельных пучков лучей света или частиц. Оптический коллиматор – это устройство для получения пучков параллельных световых лучей.

Издание подготовлено в авторской редакции.

Подписано в печать 04.04.2019 г.
Отпечатано на оборудовании Издательского Дома Томского государственного университета,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. (3822) 529-849. E-mail: rio.tsu@mail.ru
Заказ 3731. Тираж 30 экз.