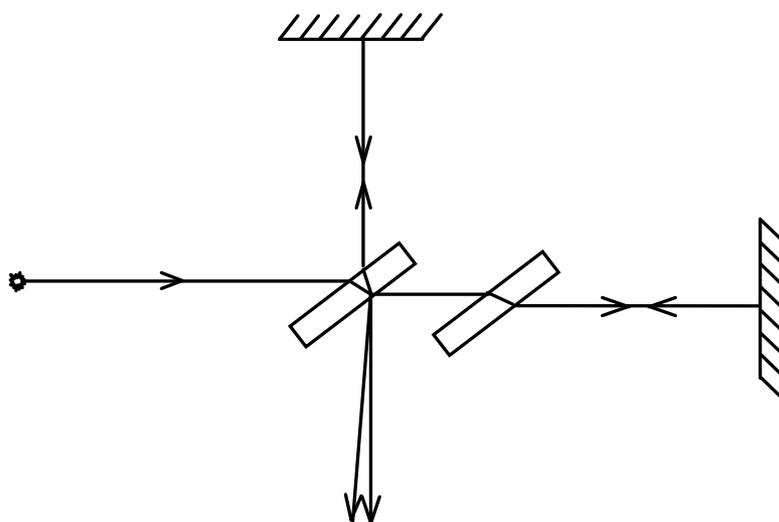


В.И. Козлов

# АНТОЛОГИЯ ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА

ЧАСТЬ 4

ОПТИКА



2013

Физический факультет МГУ

Козлов В.И. **Антология общего физического практикума. Часть 4. Оптика** – М: Физический факультет МГУ, 2012. – 180 с.

Общий физический практикум – весьма эффективная форма учебного процесса, позволяющая студенту увидеть изучаемые им физические явления как бы “живьем” и, более того, принять участие в их развитии. Очень важным при этом является необходимость студенту в беседах с преподавателями правильно, грамотно выражать свои мысли, свое понимание данного физического явления, понимание физических законов, описывающих это явление. За сто лет существования физического практикума созданы многие сотни лабораторных работ. В предыдущие годы на физическом факультете МГУ в составе Антологии общего физического практикума, создаваемой В. И. Козловым, вышли книги “Часть 1. Механика”, “Часть 2. Молекулярная физика” и “Часть 3. Электричество и магнетизм”. В них собран материал о студенческих лабораторных работах по указанным разделам общей физики, созданных в различных вузах нашей страны и в зарубежных учебных заведениях. Настоящая книга представляет лабораторные работы по оптике, опубликованные в многочисленных сборниках лабораторных работ различных вузов, в научных журналах и в материалах ставших обычными специальных научно-методических конференций, посвященных проблемам физического практикума.

Издание предназначено для преподавателей высшей школы, занимающихся научно-методической работой.

#### **Рецензенты:**

Профессор кафедры оптики и спектроскопии  
Физического факультета МГУ, д. ф.-м. н. П.В. Короленко

Доцент кафедры общей физики  
и физики конденсированных сред,  
зав. практикумом, к. ф.-м. н. Ю.И. Авксентьев

© **В.И. Козлов**

© **Физический факультет МГУ имен М.В. Ломоносова, 2012**

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Содержание .....                         | 3   |
| Предисловие .....                        | 4   |
| Глава 1                                  |     |
| Геометрическая оптика .....              | 7   |
| Глава 2                                  |     |
| Интерференция света .....                | 21  |
| Глава 3                                  |     |
| Дифракция света .....                    | 41  |
| Глава 4                                  |     |
| Поляризация света .....                  | 59  |
| Глава 5                                  |     |
| Спектры .....                            | 72  |
| Глава 6                                  |     |
| Показатель преломления и дисперсия ..... | 101 |
| Глава 7                                  |     |
| Фотоэлектрический эффект .....           | 113 |
| Глава 8                                  |     |
| Лазеры .....                             | 126 |
| Глава 9                                  |     |
| Скорость света и длина волны .....       | 133 |
| Глава 10                                 |     |
| Рентгеновские лучи .....                 | 143 |
| Глава 11                                 |     |
| Голография .....                         | 146 |
| Глава 12                                 |     |
| Разное .....                             | 148 |
| Глава 13                                 |     |
| Сборники лабораторных работ .....        | 174 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В России первая книга, в которой были собраны описания лабораторных работ для студентов, вышла в свет в 1909 году. Это был “Физический практикум” профессора Московского университета А.П. Соколова. В последующие годы практикум физического факультета развивался, обогащался все новыми и новыми лабораторными работами. Большой вклад в развитие общего физического практикума внесли профессора и преподаватели физического факультета К.П. Яковлев, А.А. Глаголева-Аркадьева, С.И. Вавилов, И.И. Васильева, Б.А. Введенский, Е.С. Четверикова, И.А. Яковлев, В.И. Иверонова, Р.В. Телеснин, К.Н. Баранский, Т.С. Величкина, А.Г. Белянкин, Л. П. Стрелкова, И.В. Митин, А.М. Салецкий и многие другие.

Большой вклад в расширение тематики лабораторных работ общего физического практикума внесли преподаватели других ведущих вузов (МФТИ, МИФИ и др.). В последние годы стали чаще публиковаться научно-методические статьи в различных журналах, стали проводиться специально посвященные практикуму научно-методические конференции. В связи с этим возникла необходимость собрать воедино все самое интересное, что было сделано для общего физического практикума, и сделать это легко доступным для преподавателей всех вузов. Антология общего физического практикума и представляет собой попытку реализовать эту идею.

В описаниях большинства лабораторных работ, как и в журнальных статьях и докладах на научно-методических конференциях, акцент авторами делается на какой-либо характеристике физического процесса, характеристике вещества, характеристике физического закона. Это, конечно, вполне оправданно. Но мне представляется, что в физическом практикуме, когда студент выполняет эксперимент, главным для него должен быть физический эффект, физическое явление, которое разворачивается перед его глазами. Исходя из этого, в настоящей книге я стремился произвести разбиение собранного материала по главам так, чтобы отдельные работы группировались именно по тому, какое физическое явление воспроизводится студентом в данной работе. Правда, при этом оказалось, что в ряде лабораторных работ реализуется не одно явление, а два или даже больше. Встречаются лабораторные работы, в которых авторами акцент делается на характеристике процесса, лишь формально используемой при его теоретическом описании. Так что произведенное распределение лабораторных работ по тематическим главам не является однозначным, не является бесспорным.

Предназначение аннотаций, приводимых в большинстве ссылок на лабораторные работы – дать представление о физическом явлении, изучаемом в данной лабораторной работе, о методе его наблюдения. Они не предназначены ни для детального знакомства с устройством экспериментальной установки, ни для руководства при выполнении работы, ни для создания более или менее полного представления об изучаемом в лабораторной работе физическом явлении.

В настоящей книге ссылка на ту или иную научно-методическую работу начинается с названия этой работы, как выражающего ее физическое содержание. Жирным шрифтом выделен год публикации каждой работы, что позволяет проследить хронологию представления той или иной темы в практикуме.

Основным источником материала для данной книги послужили следующие учебные пособия:

1. Соколов А.П. Физический практикум. Руководство к упражнениям для начинающих в физической лаборатории, состоящей при физическом институте Московского университета. Составлено А. П. Соколовым. М. **1909**.

2. Соколов А.П. Физический практикум. Руководство к практическим работам по физике. Изд. второе, дополненное и переработанное проф. А.П. Соколовым и проф. К.П. Яковлевым. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1926**. 374 с.

3. Соколов А.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Изд. третье, значительно дополненное и переработанное В.Г. Корицким, Е.С. Четвериковой, Е. С. Щепотьевой. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1937**. 464 с.

4. Соколов А.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Изд. четвертое, значительно дополненное и переработанное В.Г. Корицким, Е.С. Четвериковой, Е.С. Щепотьевой. ОНТИ НКТП СССР. М.-Л. **1938**. 464 с.

5. Яковлев К.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Т. 3. Интерполирование и гармонический анализ. Элементы номографии. Лабораторная техника. Таблицы и формулы, ОГИЗ, Гостехиздат. М.-Л. **1945**. 235 с.

6. Яковлев К.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Т. 1. Механика и общие свойства тел. Упругие колебания. Акустика. М.-Л., Гостехиздат, **1946**. 239 с.

7. Соколов А.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Т. 1. Механика и общие свойства тел. Упругие колебания. Акустика. ОГИЗ. Государственное изд-во технико-теоретической литературы. М.-Л. **1946**.

8. Яковлев К.П. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям в физических лабораториях. Том второй. Молекулярные и тепловые явления. Электричество и магнетизм. Оптика и строение атома. М.-Л. **1949**.

9. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Сост.: А. Белянкиным, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. Изд. 2-е. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1951**.

10. Физический практикум. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Составлено: А.Г. Белянкиным, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1953**, 636 с.

11. Физический практикум. Руководство к практическим занятиям по физике. [Для физ. и физ.-матем. фак. гос. ун-тов]. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Составлено: А. Г. Белянкиным, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1955**, 636 с.

12. Прокофьев В.И., Майсова Н.Н. Физический практикум. М., **1958**.

13. Физический практикум. Под ред. проф. М.А. Большаниной. Томск, **1959**. 137 с.

14. Вердеревская Н.Н., Иродов И.Е., Майкова В. И. и др. Под ред. проф. Савельева И. В. Физический практикум. МИФИ. М. **1960**. 119 с.

15. Вердеревская. Н.Н., Иродов И. Е., Майкова В.И. и др. Под ред. проф. И.В. Савельева. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть I. Москва, **1961**.

16. Физический практикум. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Составлено: А.Г. Белянкиным, Г.П. Мотулевич, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1962**, 956 с.

17. Физический практикум. Под ред. Н.И. Гольдфарба и Г.И. Пантюхова. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть II. МИФИ. Кафедра общей физики. **1962**. В составлении сборника принимали участие: Г.Г. Аксенов, К.Т. Басова, Н.Н. Взоров и др.

18. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. Учебное пособие для студ. высш. техн. учебн. заведений. Изд. 2-е, доп. М., “Высш. школа”, **1963**, 516 стр.

19. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. докт. физ.-мат. наук Л.Л. Гольдина. Составлено: Л.Л. Гольдиным, С.М. Козелом, Н. Н. Кочачевским и др. М.: Наука, **1964**, 580 с.

20. Физический практикум. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Гос. изд. ф.-м. литературы. М., **1965**.

21. И.Е.Иродов, Г.Н. Кутузова, В.И. Майкова и др. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть I. Москва, **1965**.

22. Г.Г. Аксенова, К.Т. Басова, Н.Н. Взоров и др. Под ред. Н.И. Гольдфарба и Г.И. Пантюхова. Физический практикум. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Часть II. Москва, **1965**.

23. Физический практикум. Механика и молекулярная физика. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Составлен: А.Г. Белянкиным, Г.П. Мотулевич, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. Изд. “Наука”. М., **1967**, 352 с.

24. Л.Л. Гольдин, Ф.Ф. Игошин, С.М. Козел и др. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М.: Наука, **1973**, 688 с.

25. Л.Л. Гольдин, Ф. Ф. Игошин, С.М. Козел и др. Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. Изд. “Наука”. М., **1983**, 704 с.

26. П.С. Булкин. Под ред. А.Н. Матвеева и Д. Ф. Киселева. Общий физический практикум. Молекулярная физика. М. **1988, 1999**.

27. Л.Г. Деденко, Д.Ф. Киселев, В.К. Петерсон, А.И. Слепков. Общий физический практикум. Механика. Под ред. А. Н. Матвеева и Д.Ф. Киселева. Изд-во моск. ун-та. **1991**, 269 с.

28. А. М. Салецкий, А. И. Слепков. Механика твердого тела. Лабораторный практикум. М. Физический факультет МГУ. **1999**, 82 с.

29. Гладун А.Д., Александров Д.А., Игошин Ф.Ф. и др. Лабораторный практикум по общей физике: Учебное пособие для студентов вузов. Т. 1. Механика. М.: Изд-во МФТИ. **2004**. 316 с.

Кроме того, были обработаны научные журналы, публикующие научно-методические работы, материалы научно-методических конференций, а также реферативный журнал “Физика”.

Я надеюсь, что собранный в настоящей книге материал окажется полезным для многих преподавателей высшей школы, занимающихся научно-методической работой.

*Доцент кафедры общей физики  
физического факультета МГУ  
доктор физ.-мат. наук В.И. Козлов*

## Глава 1

### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

**Определение радиуса кривизны линзы сферометром.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 41. С. 131.– Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 62а. С. 268-269.

**Определение радиуса кривизны линзы через отражение.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 42. С. 132.

**Определение фокусного расстояния выпуклой линзы.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 43. С. 135.

**Определение фокусного расстояния вогнутой линзы.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 44. С. 137.

**Определение увеличения и поля зрения трубы.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 45. С. 140.

**Определение увеличения микроскопа.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 46. С. 141.

**Определение фокусного расстояния короткой магнитной линзы.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 59. С. 249-252.

**Определение увеличения электронного микроскопа.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 60. С. 253-256.

**Определение главного фокусного расстояния выпуклой и вогнутой линз.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 62с. С. 272-277.

**Определение фокусного расстояния системы линз при помощи фотометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 62d. С. 277-279.

**Определение положения главных точек системы тонких линз.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 62е. С. 279-281.

**Исследование сферической и хроматической аберрации линз на оптической скамье.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 63а. С. 282-283.

**Исследование хроматической аберрации линз при помощи спектрометра с призмой постоянного отклонения.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 63б. С. 284-286.

**Исследование астигматизма соосных пучков лучей при преломлении света в линзах.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 63с. С. 286-289.

**Определение длины световой волны при помощи билинзы.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 65а. С. 306-310.

**Определение главного фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 70. С. 440-446. 1962. Задача 97. С. 553-557. 1968. Задача 123. С. 389-394.

На расположенной горизонтально оптической скамье могут перемещаться на ползушках следующие приборы: линза, экран со шкалой. Зрительная труба и специальный осветитель. В передней стенке осветителя имеется вырез, освещаемый находящейся внутри него электрической лампочкой. Освещенный прямоугольник этого выреза играет роль объекта (предмета), изображение которого получается с помощью изучаемых линз. Для повышения точности фокусировки изображения в вырезе натянута сетка, перед которой для ослабления хроматической аберрации помещен светофильтр (обычно окрашенная в красный цвет пленка). Ячейки центральной части сетки можно сфокусировать точнее, чем края выреза. Определение фокусного расстояния собирающей линзы производится следующими способами: по расстоянию предмета и его изображения от линзы, по величине предмета и его изображения и по расстоянию последнего от линзы, по величине перемещения линзы (способ Бесселя), посредством зрительной трубы. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы производится следующими способами: по расстоянию предмета и его изображения от линзы, при помощи зрительной трубы.

**Изучение погрешностей линз.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 71. С. 446-452. 1962. Задача 101. С. 582-588. 1968. Задача 127. С. 419-425.

Изучается астигматизм косых пучков света при их преломлении в линзе, и исследуется хроматическая аберрация линзы.

**Определение увеличения оптической трубы и микроскопа.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 72. С. 452-463. 1962. Задача Задача 98. С. 559-570. 1968. Задача 124. С. 395-406.

Вводится понятие *углового увеличения системы*. Один из способов измерения увеличения заключается в том, что измеряемый объект рассматривается вместе со шкалой, помещенной непосредственно рядом с ним, через трубу или микроскоп. В работе определяется также *поле зрения* оптической трубы и измеряется скорость роста кристаллов. При этом используется водный раствор  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  или другой соли; при испарении раствора из него выпадают кристаллы. Устанавливают крест нитей микрометра на одну из граней кристалла, одновременно пускают в ход секундомер и отсчитывают показания барабана микрометра. Перемещая крест микрометра вслед за растущей гранью, засекают секундомером ее положение через некоторое время и отсчитывают новые показания барабана микрометра.

**Определение длины световой волны при помощи билинзы и бипризмы.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 76. С. 483-488. 1962. Задача 105. С. 607-615. 1968. Задача 131. С. 443-451.

В задаче излагаются два метода получения когерентных источников света и определение длины световой волны в опытах с билинзой Бийе и с бипризмой Френеля.

**Количественный опыт по полному внутреннему отражению.** Зейс (Ein quantitativer Versuch zur Totalreflexion. Seus Erwin), Prax. Naturwiss., 1959, A8, № 8, Physik, 227-231. [РЖ 1960 № 8 18879].

Описано явление, заключающееся в следующем: если плоскопараллельную полированную стеклянную пластинку, одна сторона которой покрыта слоем светлого порошка, осветить узким пучком света, то, помимо центрального светового пятна, можно наблюдать ряд светлых концентрических колец. Кольца находятся на одинаковых расстояниях друг от друга, а их яркость убывает с возрастанием диаметра. Наблюдаемая картина обусловлена явлением полного внутреннего отражения. Приведен расчет радиуса колец в зависимости от показателя преломления стекла и толщины пластинки. Также рассмотрен более сложный случай освещения узким пучком света кюветы небольшой толщины, на одну из сторон которой нанесен слой порошка.

**Определение увеличения простого микроскопа.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . Работа 34. С. 133-137.

**Определение длины световой волны при помощи бипризмы Френеля.** Работа 42. Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . С. 165-169.

**Определение главного фокусного расстояния оптических систем методом Бесселя.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–01. С. 21.

**Изучение погрешностей линз.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–03. С. 27.

**Изучение микроскопа.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–04. С. 31.

**Определение увеличения и поля зрения трубы Кеплера.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–05. С. 37.

**Изучение зрительной трубы.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 99. С. 571-576. 1968. Задача 125. С. 406-411.

Определяется увеличение моделей зрительных труб Кеплера и Галилея, измеряется их поле зрения и предел разрешения.

**Исследование сложных оптических систем.** Физ. практ.-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 100. С. 576-582. **1968.** Задача 126. С. 411-419.

Определяются положения кардинальных точек оптической системы методом ее вращения в пучке параллельных лучей, с помощью измерения положения объекта и его изображения, определяется фокусное расстояние рассеивающей линзы с помощью формулы сложения оптических сил двух линз.

**Изучение рассеянного отражения света.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962.** Работа 1. С. 7-10.

**Определение фокусных расстояний и увеличения телеобъектива.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962.** Работа 6. С. 36-42.

**Изучение зрительной трубы и телескопа Максудова.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962.** Работа 7. С. 43-48.

**Исследование разрешающей способности объектива зрительной трубы.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962.** Работа 18. С. 118-123.

**Изучение аберраций плоско-выпуклой линзы.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962.** Работа 8. С. 49-55.

**Определение фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ.-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К. Б. Котляревская, Э.А Майер и др. **1962.** Омск. Лаб. работа 29. С. 35-41.

**Определение фокусных расстояний положительных и отрицательных линз и положения главных плоскостей сложной оптической системы.** Рук. к лаб. занятиям по физике. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 57. С. 325-333. **1973.** Работа 58. С. 335-342.

**Моделирование простейших оптических приборов и определение их увеличения.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 58. С. 333-342. **1973.** Работа 59. С. 343-351.

**Линза образует очень много изображений.** King Allen L., Winsor Niels K.A lens forms too many images! "Amer. J. Phys.", **1964**, 32, № 11, 895. [РЖ 1965 9 А73].

Отмечается, что обычно студенту предлагается провести простые опыты с линзами и по результатам измерений вывести тривиальные формулы, имеющиеся во всех учебниках. Чтобы сделать работу более интересной и живой, предлагается при изучении свойств простой положительной линзы обнаружить с помощью яркого предмета, кроме "обычного", другие более слабые изображения. Определение их положений, вывод соотношений, связывающих их размеры с размерами предмета и параметрами линзы, внесут некоторый элемент открытия и позволят студенту глубже изучить данный вопрос.

**Простые измерения интенсивности отраженных волн.** Baumler Peter, Wagner Robert. Einfache Reflexionsmessungen mit Mikrowellen. "Prax. Naturwiss.", 1964, A13, № 11, Physik, 292-296. [РЖ 1965 5 A67].

Отмечается, что обычно при изучении законов отражения и преломления опускаются вопросы, связанные с интенсивностью отраженных волн. В связи с этим описываются опыты, демонстрирующие зависимость интенсивности от угла падения. Опыты проводятся с плоскими поляризованными микроволнами. Источником волн служит клистронный генератор с прямоугольным резонатором. Волны длиной 1,2–1,5 см через рупор направляются на отражающую пластину и затем попадают на рупор приемника, соединенного через усилитель с гальванометром. За рупором передатчика и перед рупором приемника устанавливаются парафиновые линзы с показателем преломления  $n=1,5$  для микроволн. При помощи описанной установки исследуют зависимость интенсивности отраженных волн от угла падения в интервале  $10^\circ - 80^\circ$  и по величине угла Брюстера определяют показатель преломления отражающей пластины  $n$ . Приведены методические указания, графики и результаты измерений  $n$  для ряда диэлектриков.

**Изображение и диафрагмы.** Tille Helmut. Abbildung und Blenden. "Prax. Naturwiss.", 1967, A 16, № 12, Physik, 318-319. [РЖ 1968 8 A105].

Отмечается, что графическое построение изображений в тонкой линзе с помощью двух лучей дает только размеры изображения и расстояние от него до линзы. Описываются опыты, демонстрирующие, что исключение части лучей не изменяет расстояния между изображением и линзой, а также влияние диафрагм на размеры и яркость изображения.

**Простой метод определения главных плоскостей толстой линзы.** Hoffmann Herbert. Die optische Hauptebene. "Prax. Naturwiss.", 1967, A16, № 2, Physik, 43-44. [РЖ 1967 11 A118].

**Изучение зрительной трубы.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 1. С. 5-10.

**Исследование сложной оптической системы.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 2. С. 11-17.

**Определение фокусных расстояний и увеличения телеобъектива.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И. Е. Иродова. 1967. Работа 6. С. 36-42.

**Изучение зрительной трубы и телескопа Максудова.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 7. С. 43-48.

**Изучение аберраций плоско-выпуклой линзы.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 8. С. 49-55.

**Продольная сферическая аберрация тонких линз.** Friedmann G.B., Sandhu H.S. Longitudinal spherical aberration of a thin lens. "Amer. J. Phys.", 1967, 35, 3 7, 628-630. [РЖ 1968 4 A42].

Описана усовершенствованная установка для измерения продольной сферической аберрации, удобная для проведения лабораторных работ со студентами. Установка собирается в деревянной коробке и, в отличие от обычных приспособ-

соблений к оптической скамье, обеспечивает параллельность плоскостей диафрагмы, линзы и экрана, центрировку этих компонентов, более точное измерение отрезков до изображения. С помощью такой установки может быть замечено различие между сферической аберрацией 3-го порядка, вычисленной по “точным” и приближенным формулам.

**Толстые линзы и системы линз.** Tille Helmut. Dicke Linsen und Linsen systeme. Demonstration der Hauptebenen und der Brennpunkte an der optischen Scheibe. “Prax. Naturwiss”, 1968, A 17, № 3, Physik, 69-71. [РЖ 1968 8 A104].

Описывается несколько опытов, показывающих, что у толстых линз и у систем линз переднее и заднее фокусные расстояния неодинаковы. Опыты проводятся на прямоугольной оптической скамье, на которой в обычном порядке устанавливаются дуговую лампу, экран с 5-7 горизонтальными щелями и исследуемые линзы.

**Определение главного фокусного расстояния выпуклой и вогнутой линз.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С.9-14.

**Определение главного фокусного расстояния рассеивающей линзы.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С 14-17.

**Исследование сложных оптических систем.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С. 33-38.

**Новый метод для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы.** Roy Hemanshu. A new method for measuring the focal length of a diverging lens. “Amer. J. Phys.”, 1972, 40, № 12, 1869-1870. [РЖ 1973 5 A76].

Предлагается определять фокусное расстояние рассеивающей линзы по методу совмещений мнимых изображений, даваемых рассеивающей линзой и плоским зеркалом. Кроме рассеивающей линзы и плоского зеркала, установка для определения фокусного расстояния включает собирающую линзу, источник света и два экрана с отверстиями. Приводится схема установки и расчетная формула.

**Обнаружение поперечнозатухающей волны при полном внутреннем отражении.** Gronemeier Karl-Heinz. Nachweis der quergedampften Welle bei Totalreflexion. “Prax. Naturwiss.”, 1972, Teil 1, 21, 3 3, 57-59. [Рж 1972 8 A66].

Предлагается установка для обнаружения и количественного измерения экспоненциального затухания поперечнозатухающей волны при полном внутреннем отражении СВЧ-электромагнитной волны. Электромагнитная волна с частотой 24 ГГц и длиной волны 1,25 см, излучаемая отражательным клистроном и дополнительно модулированная с частотой 800 Гц, падает на цилиндрическую поверхность полуцилиндра и испытывает полное внутреннее отражение от его плоской границы с воздухом. Часть образующейся при этом в воздухе и распространяющейся вдоль границы раздела сред поперечнозатухающей волны захватывается параллельно расположенной плоской гранью второго полуцилиндра и попадает в расположенный за ним приемник, состоящий из помещенного в отрезок волновода СВЧ-диода и низкочастотного усилителя. Полуцилиндры изготавливаются из кварцевого песка, смоченного парафином (показатель преломления 1.6), что уменьшает вероятность их растрескивания при остывании, в отличие от чистого парафина. Щель между их плоскостями переменна и может

быть замерена с точностью до  $\pm 0,1$  мм, а погрешность измерения угла падения равна  $\pm 3^\circ$ . Приводятся результаты эксперимента и обсуждение погрешностей.

**Измерение сходимости светового пучка с помощью зеркала.** Pape Bodo von. *Vergenzänderungen durch Spiegel*. "Prax. Naturwiss", 1974, Teil 1, 23, № 1, 10-15. [РЖ 1974 6 А82].

В рамках геометрической оптики качественно рассматривается преобразование световых пучков криволинейными зеркалами, образованными поверхностями вращения. Для проверки предлагается простой опыт с маленьким зеркалом ( $15 \times 80$  мм), перемещающимся перпендикулярно плоскости деревянной доски ( $250 \times 350$  мм), на которой закреплена лампочка накаливания 4 В. Перемещая зеркальце по заданной кривой, наблюдают положение отражения лампочки.

**Лабораторная работа по изучению толстых линз.** Михайлов Б.Г., Тюлебеков А.А. В сб. "Физ. науки." Вып. 2. Алма-Ата, 1975, 96-103. [РЖ 1976 10 А112].

Выведены формулы, связывающие расстояния предмета и его изображения от главной плоскости линзы с радиусами кривизны поверхностей линзы и показателем преломления вещества линзы, а также формулы для оптической силы линзы, для расстояния передней главной плоскости линзы от главной плоскости передней преломляющей поверхности, для расстояния задней главной плоскости линзы от главной плоскости задней преломляющей поверхности и для фокусного расстояния толстой линзы, отсчитываемого от задней главной точки до заднего главного фокуса. Даны методические рекомендации по выполнению трех заданий: 1) определить путем расчета местоположение главных точек стеклянного шара и воздушного пузырька в водной среде, положение главных точек и главных фокусов для двояковыпуклой и двояковогнутой наливной линзы, наполненных водой; 2) определить оптическую силу воздушного пузырька в водяной среде и 3) определить увеличение изображения, создаваемого воздушным пузырьком.

**Цилиндрические линзы и толстостенные сосуды.** Moloney Michael J. *Cylindrical lenses and short beers*. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 8, 741-743. [РЖ 1976 2 А142].

Путем анализа хода лучей с использованием скалярного и векторного подходов показано, что кажущееся увеличение внутреннего диаметра толстостенных цилиндрических сосудов при рассмотрении их в направлении, перпендикулярном оси, пропорционально показателю преломления материала сосуда. При этом в случае стеклянного сосуда ( $n=3/2$ ) с толщиной стенок, равной или меньшей  $1/3$  от радиуса, внутренняя и внешняя поверхности становятся неразличимыми, а жидкость цвета, отличного от цвета сосуда, кажется полностью (до внешней поверхности) заполняющей сосуд, хотя ее объем может составлять всего  $1/3$  от полного объема сосуда.

**Лабораторный эксперимент по геометрической оптике для студентов-биологов.** Edwards T.H., Eicher D., Nolen J.A., Jr. *Life science-related physics laboratory on geometrical optics*. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 9, 764-765. [РЖ 1976 2 А141].

Описан простой эксперимент по геометрической оптике, выполняемый по программе общего практикума по физике для студентов естественных факультетов нефизических отделений. Экспериментальное оборудование состоит из нескольких сферических линз, имеющих различные фокусные расстояния. Учащи-

еся собирают оптическую схему, моделирующую оптическую схему человеческого глаза и, используя уравнение тонкой линзы, вычисляют фокусное расстояние линзы, необходимое для исправления имеющейся в схеме “близорукости”. Роль сетчатки в схеме играет непрозрачный экран, на который проектируется изображение. Явления астигматизма демонстрируются качественно введением в схему положительной цилиндрической линзы. Анализируется влияние размера зрачка системы на глубину резкости и яркость изображения. Подробно описана методика проведения лабораторных упражнений.

**Эксперимент по изучению закона отражения света.** Gardner Robert. Teachers' pets IV:mirrors in air and water. “Phys. Teacher”, 1976, 14, № 2, 114-115. [РЖ 1976 7 A131].

Предложен эксперимент по изучению закона отражения света вместо традиционного, когда студенты, установив плоское зеркало на лист бумаги, используют булавки и линейку для изображения падающего и отраженного лучей. Новый эксперимент, помимо закона отражения, знакомит студентов с явлением преломления света. Плоское зеркало помещают у задней стенки в прозрачном ящике, почти полностью заполненном водой, так, чтобы отражающая поверхность зеркала выступала над водой. Наблюдая сквозь воду, студенты обнаруживают изображение булавок, установленных вдоль падающего луча, а затем фиксируют линию отраженного луча другим набором булавок. Все булавки воткнуты перед ящиком. Отодвинув ящик, вычерчивают линии лучей. Важно, чтобы студенты хорошо понимали, в какой точке пересекаются эти лучи, т. е. каков их ход. Вместо воды можно употребить блок из прозрачной пластмассы.

**Шлифование линз в качестве лабораторной работы.** Effing Myeon. Lens grinding as a laboratory project, “Phys. Teacher”, 1976, 14, № 8, 508-510. [РЖ 1977 6 A105].

Описана лабораторная работа, при выполнении которой студенты сначала изготавливают линзу, а затем измеряют ее фокусное расстояние. В качестве заготовки для линзы студенты получают стеклянный диск диаметром 45 мм и толщиной 13 мм. заготовка должна иметь хорошую прозрачность и не содержать пузырьков и трещин. Для шлифовки использовался порошок карборунда. Кратко описаны методики полировки линзы и метод измерения ее фокусного расстояния. Вся работа может быть выполнена студентами за 3-4 часа.

**Простой метод измерения фокусных расстояний линз и сферических зеркал.** Banik Ivan, Banik Rastislav. Jednoduchy sposob merania ohniskovych vzdso-lenosti soiaviek a gul'ovych zrkadiel. “Mat. a fyz. sk.”, 1977, 7, № 9, 706-709. [РЖ 1978 3 A111].

Описаны два простых лабораторных опыта по определению фокусных расстояний линз и сферических зеркал, для проведения которых не требуется затемненного помещения и отдельного источника света. В первом опыте напротив освещенного окна располагаются экран, исследуемая линза и плоское зеркало с изображением фокусируемого предмета (метки). Изображение предмета в отраженном от зеркала свете фокусируется линзой на экране. После измерения соответствующих расстояний производится расчет с использованием уравнения линзы или формулы увеличения линзы. Во втором опыте перед окном располагаются: прозрачная плексиглазовая пластинка, у верхнего края которой наносится

изображение фокусируемого предмета, экран и исследуемое сферическое зеркало. Изображение предмета в проходящих лучах фокусируется зеркалом на экране.

**Учебный эксперимент, предназначенный для изучения сферической аберрации и комы.** Roche P., Creton I. Experience de cours destine a l'etude de l'aberration de sphericite ede la coma. "Bull. Union Phys.", 1979, 73, № 610, 467-473. [РЖ 1979 7 А93].

Описан эксперимент по исследованию сферической аберрации и комы оптических систем с большой апертурой. В качестве источника интенсивных расходящихся лучей используется He-Ne-лазер, луч которого пропускается через дифракционную решетку. При использовании решетки с 50 штрихами прямоугольного профиля на 1 мм угловая расходимость между соседними дифракционными максимумами составила  $1,8^{\circ}$ .

**Эксперимент со сложной линзой.** Multiple lens experiment. Waring Richard C. "Amer. J. Phys.", 1980, 48, № 6, 437-438. [РЖ 1981 1 А102].

Описан учебный эксперимент, в котором рассматривается ряд концепций геометрической оптики, таких как фокусное расстояние тонкой линзы, законы отражения от плоского зеркала, составные линзы, общая формула линзы. В эксперименте двояковыпуклая линза помещается на отражающую поверхность плоского зеркала. Эта оптическая система помещается на плоском основании, прикрепленном к вертикальному держателю длиной 50–60 см. К этому же держателю с помощью прямоугольного зажима прикрепляется в горизонтальном положении объект наблюдения – деревянный стержень длиной 20 см, свободный конец которого заострен и выкрашен в белый цвет. Учащимся демонстрируются законы формирования изображения в системе зеркало – двояковыпуклая линза, затем из формулы тонкой линзы показывается, что если расстояние от объекта до линзы равно фокусному расстоянию линзы, то объект и его изображение расположены на одной прямой, что дает возможность определить экспериментально фокусное расстояние линзы. Для этого стержень перемещается до тех пор, пока объект и его изображение не окажутся на одной прямой. Во второй части эксперимента на зеркальную поверхность помещается несколько капель воды, и вышеописанным методом определяется фокусное расстояние получившейся сложной плоско-выпуклой линзы. Далее с помощью уравнения тонкой линзы определяется фокусное расстояние водяной плоско-выпуклой линзы; используя общую формулу линзы, учащиеся могут также определить радиус кривизны водяной линзы, показатель преломления вещества, из которого сделана двояковыпуклая линза. Отмечается, что эксперимент может быть дополнен использованием различных жидкостей, задачей определения показателя преломления жидкости, может быть использована линза с двумя различными радиусами кривизны, а также жидкость с высоким коэффициентом отражения и пр.

**Изучение центрированных оптических систем.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.1. С. 381-392.

**Моделирование оптических приборов и определение их увеличения.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.2. С. 392-400.

**Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.15. С. 486-492.

**Определение нормального увеличения оптической системы в лабораторном практикуме по общей физике.** Прояненко Л.А., Смирнова В.Б., Сперантов В.В.; Ред. ж. “Изв. вузов Физ.”. Томск, 1984. [РЖ 1985 4 А129].

Ставится задача определения увеличения телескопа, которое легко варьировать в широких пределах, используя набор подходящих линз. В то же время возможна экспериментальная оценка достигнутой в каждом случае разрешающей способности системы телескоп–глаз. Для этого достаточно с помощью исследуемой системы наблюдать калиброванный объект. Следя в процессе работы за тем, как меняется разрешающая способность системы при изменении параметров телескопа, можно установить, какое увеличение следует считать нормальным. Результатом работы являются экспериментальные зависимости. Зависимость разрешающей способности системы телескоп–глаз от увеличения телескопа позволяет определить нормальное увеличение, при котором достигается максимальная разрешающая способность системы телескоп–глаз. Зависимость разрешающей способности системы от диаметра объектива телескопа при неизменном увеличении телескопа позволяет определить диаметр телескопа, при котором разрешающая способность глаза реализуется полностью. Объяснение полученных результатов требует построения изображения в системе телескоп–глаз, а также учета дифракции на оправках линз системы, т. е. использования методов как геометрической, так и волновой оптики.

**Микроскоп как тема лабораторной работы в практикуме.** Das Mikroskop als Praktikumsversuch. Hahn Hans-Peter, Bartscherer Hans-Christoph. “Prax. Naturwiss. Phys.”, 1984, 33, 3 10, 298-304. [РЖ 1985 3 А79].

Описана лабораторная работа для студентов нефизических специальностей технического вуза по изучению микроскопа. Предложена модель микроскопа с вертикальным тубусом. Вся оптическая часть – из стандартных линз, остальное – необходимо изготовить. Модель позволяет изучать следующие вопросы: изображения в линзах, ход лучей в микроскопе, промежуточное изображение и его наблюдение, увеличение микроскопа, апертура, разрешающая способность и др. В установку входит модель глаза.

**Эксперимент для изучения сферической аберрации.** An undergraduate experiment for the study of axial spherical aberration. Prakash V. R., Rao P. R. “J. Opt.”, 1985, 14, № 3, 115-116. [РЖ 1987 4 А121].

Предложен простой эксперимент по определению сферических аберраций выпуклых линз, предназначенный для студентов физических специальностей, изучающих курс оптики. Измерения основаны на различии фокусного расстояния линзы при прохождении параксиальных пучков через различные линзы. Установка для проведения эксперимента состоит из источника монохроматического света, коллиматора, диафрагмы, линзы и экрана. Диафрагма может перемещаться в горизонтальном направлении, перпендикулярно к оптической оси системы. Производятся измерения фокальной длины при различных положениях диафрагмы, соответствующих прохождению света на различных расстояниях от центра линзы. График зависимости фокальной длины от расстояния до центра линзы зонального радиуса наглядно демонстрирует наличие сферической аберрации. Разница между параксиальной фокальной длиной и зональной фокальной длиной для отдельных зон является зональной сферической аберрацией линзы.

Зависимость зональной сферической аберрации от зонального радиуса в соответствии с теорией, является параболической.

**Центрированные оптические системы.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 37. С. 234-242.

Изучаются методы расчета центрированных оптических систем, измеряются их фокусные расстояния и определяются положения главных плоскостей.

**Микроскоп.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 38. С. 242-253.

Изучается устройство микроскопа, измеряется его увеличение и определяется предел разрешения.

**Оптический метод определения радиуса кривизны тонкой линзы.** Methode optique de determination du rayon de courbure d'une lentille mince. Chapelet Marc. "Bull. Union phys.", 1987, 81, № 692, 397-399. [РЖ 1988 3А117].

Предложены оптические экспериментальные способы определения радиуса кривизны тонкой линзы. Вогнутая поверхность линзы является сферическим зеркалом с очень малой отражающей способностью,  $\approx 4\%$ . С мощным источником света можно найти фокусное расстояние такого "зеркала", равное половине радиуса кривизны. Выпуклая поверхность линзы также может рассматриваться как "сферическое зеркало", до и после отражения от которого свет проходит через саму линзу. Выведена расчетная формула, в которой радиус кривизны связан с фокусными расстояниями линзы и системы "сферического зеркала".

**Определение радиуса кривизны и фокального расстояния сферических поверхностей с помощью лазера.** Determination des rayons de courbure et des distances focales des surfaces spheriques a l'aide d'un laser. Jouanisson R. "Bull. Union phys.", 1987, 81, № 692, 401-404. [РЖ 1988 3 А118].

Центр кривизны сферической поверхности является пересечением двух линий, на которых расположены лазеры в горизонтальной плоскости, при совпадении падающего и отраженного лучей. Фокус сферической поверхности получается на пересечении двух лучей, параллельных главной оптической оси. Связь радиуса и фокального расстояния иллюстрируется просто для зеркала; для линзы требуется знание показателя преломления. Точность эксперимента такова, что позволяет получить доказательства аберрации оптических систем.

**Простой и малоизвестный способ создания линзы с изменяющимся фокусным расстоянием.** Ein einfaches? Wenig bekanntes Verfahren zum Bau einer Linse mit einstellbarer Brennweite. Schneider Wermer B. Phys. Und Didakt. 1988. 16, № 2. 158-160. [РЖ 1989 1 А125].

Один из электродов, подсоединенных к зажимам источника постоянного тока с напряжением до 8 кВ, опускают в волн. Ванну, наполненную водой, а второй – располагают на высоте 5 мм над поверхностью воды. В результате воздействия электрического поля на полярные молекулы воды под электродом на поверхности воды возникает "холмик" высотой около 1 мм и диаметром около 3 мм. На пучки света этот "холмик" действует подобно линзе. Изменение напряжения между электродами приводит к изменению фокусного расстояния "линзы". На линзе отмечают в произвольном месте точку К. Пусть предмет и изображение

находятся, соответственно, на расстояниях  $x$  и  $y$  от точки  $K$ . Расстояние главных плоскостей  $u$  и  $v$  от точки  $K$  определяется из уравнения  $(x-u)/(y-v)=B/G$  (1), где  $B$  и  $G$  – размеры предмета и изображения. Если повернуть линзу вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  (т. к.  $u$  и  $v$ , вообще говоря, не равны друг другу), то изображение расфокусируется. Не трогая предмет и экран, перемещаем линзу в новое положение, при котором изображение сфокусировано. Вместо уравнения  $x=b+u$  (для первой позиции) получим  $x'-x=v-u$  (2). Система уравнений (1) и (2) дает возможность определить  $v$  и  $u$ , т. к. все остальные величины известны из опыта.

**Экспериментальное изучение геометрической аберрации с использованием лазера.** Etude experimentale des aberrations geometriques a l'aide d'un laser. Jouanison Roland. Bull. Union phys. **1991**. 85, № 735. С. 933-943. [РЖ 1992 1 А185].

Применение лазера позволяет изучать точнее и нагляднее геометрические аберрации оптических систем. Эксперименты требуют простого подручного материала и легко осуществляются.

**Устройство для измерения индикатрисы отражения.** Мардиросян Гаро, Кынчева Румянаю Аерокосм. Изслед. България. **1993**, № 9. С. 21-28. [РЖ 1994 4 А156].

**Измерение угла Брюстера.** Mesure de l'incidence de Brewster. Prie P. Bull. Union Phys. **1994**. 88, № 767. С. 1367-1368. [РЖ 1995 4 А85].

При использовании спектроскопа для измерения угла Брюстера возникают чисто технические трудности, связанные с нахождением отраженного от зеркала луча. Предложено простейшее устройство, соединяющее между собой отражающее зеркало и зрительную трубу. Приведена схема.

**Несколько элементов геометрической оптики.** Quelques elements d'optique (enseignement de specialite–Terminale). Marais J.P. Bull. Union Phys. **1994**. 88, № 767. С. 1351-1361. [РЖ 1995 7 А51].

Используя оптическую скамью и набор объективов, конструируется микроскоп и телескоп. Устанавливается связь изображения и положения предмета. Определяется увеличение. Раскрывается суть хроматической и сферической аберраций.

**Работа практикума “Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы”.** Беленок И.Л., Величко А.Н. Пробл. учеб. физ. эксперим. **1996**. № 2. 43-44, 104. [РЖ 1997 10 А159].

Кроме обычных критериев выполнения работы практикума оценка ученика зависит от степени подробности инструкции и от количества требуемых консультаций при выполнении работы. Предлагается инструкция, определяющая последовательность действий ученика.

**Простой аппарат для измерения показателя преломления жидкостей.** A simple apparatus for measuring the refractive index of liquids. Yunus W.M.M., Ling C.F. Phys. Educ. **1996**. 31. № 1. 17-20. [РЖ 1996 6 А69].

Показана оптическая схема прибора для измерения показателя преломления  $n$  жидкости, в котором лазерный луч проходит через стенки прямоугольной кюветы с жидкостью к детектору. Получена формула, выражающая  $n$  через угол падения луча и разность смещений луча при прохождении через заполненную и

пустую кювету. Оценки погрешности измерений сделаны путем вычисления производных от  $n$  по этим параметрам. Измерены значения  $n$  дистиллированной воды.

**Определение оптических характеристик тонких линз: Методические указания к лабораторной работе.** Сост. Кривченкова В.С., Чудинова С.А. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 27 с. [РЖ 03.07-18А. 163].

Целью работы является определение различными методами фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз; измерение с помощью сферометра радиуса кривизны собирающей линзы и расчет ее показателя преломления. В работе используется оптическая скамья с набором линз, экраном, осветителем и зрительной трубой.

**Организация учебного познания при изучении преломления света на сферической поверхности.** Майер В.В., Канаева А.Ю. *Учеб. физ.* 2002. № 2. 42-50, 64. [РЖ 03.10-18А.171].

Рассмотрена взаимосвязь схемы условия–результат–анализ и этапов учебного познания при изучении преломления света на сферической поверхности. Эта учебно-исследовательская деятельность в процессе познания носит сложный циклический характер. Подробно описано учебное экспериментальное исследование явления.

**Измерение оптических aberrаций с помощью недорогого оптометрического прибора.** Optical aberrations measurement with a low cost optometric instrument. Furlan W.D., Munoz-Escriba L., Pons A., Martinez-Corral M. *Amer. J. Phys.* 2002. 70. № 8. 857-861. [РЖ 03.06-18А.168].

**Геометрическая оптика.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. 2003. Задача 1. С. 5-26.

Оптическая система, состоящая из одной или нескольких линз, позволяет получить на экране четкое изображение источника света. Измеряя линейные размеры системы, затем рассчитывают фокусные расстояния и другие параметры используемых собирающей и рассеивающей линз. Изучаются сферическая и хроматическая aberrации линзы.

**Учебное исследование полного внутреннего отражения света в оптически неоднородной среде.** Майер В.В., Канаева А.Ю., Владыкин А.Ю. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2003. № 17. 41-43, 87. [РЖ 04.01-18А.160].

Предлагается простая экспериментальная установка для учебного исследования явления полного внутреннего отражения света в неравномерно нагретом бруске оргстекла.

**Измерение коэффициента преломления с помощью полного внутреннего отражения.** Refractive index measurement using total internal reflection. Van Keuren Edward Richard. *Amer. J. Phys.* 2005. 73. № 7. 611-614. [РЖ 07.04-18А.141].

**Опыты в геометрической оптике.** Глухова О.Е., Плеханов О.С., Старшов М.А. *Вопросы прикладной физики. Межвузовский научный сборник.* Вып. 12. Саратов. Гос. ун-т. Саратов. 2005. 68-69. [РЖ 06.05-18А.154].

Рассмотрены некоторые типичные ошибки в преподавании геометрической оптики. Кажущаяся простота лучевой или геометрической оптики порождает некую небрежность в преподавании как школьном, так и вузовском, и даже в учебных пособиях. Отсутствие хотя бы одного определения понятия “изображение точки”, заменяемого описанием типа кулинарного рецепта, не оставляет возможности понять принцип работы даже такого простого оптического “прибора”, как плоское зеркало. Предложен демонстрационный эксперимент, помогающий формированию основных понятий этого раздела физики.

**Удобный прибор для изучения полного внутреннего отражения света.** Майер В.В., Вараксина Е.И. *Пробл. учеб. физ. эксперим. Мат-лы 11 Всеросс. науч.-практ. конф. “Учеб. физ. эксперим. Акт. Пробл. Современ. решения”*, Москва, 2006. Сб. науч. тр. Вып. 23. М., 2006. 65-66. [РЖ 08.1ë2-18A.121].

**Автоматизированная лабораторная установка для определения угла Брюстера.** Е.Э. Фискинд, Е.О. Левашкина, О.П. Матвеев. *ФОВ*. 2008. Т. 15, № 1, с. 44.

Разработана и создана автоматизированная лабораторная установка для изучения поляризации света при отражении света от поверхности диэлектрика, характеризующая высокой точностью измерения угла Брюстера. Персональный компьютер используется для генерации импульсов управления, обеспечивающих поворот оптических элементов, и регистрации сигнала фотодатчика. Программное обеспечение позволяет выводить на монитор график зависимости сигнала фотодатчика от угла падения света на стеклянную пластинку.

**Изучение распространения света внутри капли жидкости.** Study on propagation of light inside liquid drop. Sun W., Wang X., Zhag Zh., Wan Zh,m Liu Q., Guo M. *Acta Optica Sinica*. 2008. 28. № 7. 1257-1261. [РЖ 11.05-18A.70].

**Точные измерения коэффициентов преломления для диэлектриков в лабораторных работах по оптике для студентов последнего курса, обучающихся научным и инженерным специальностям.** Accurate measurements of refractive indices for dielectrics in an undergraduate optics laboratory for science and engineering students. Hsu Wei-Tai, Bahrim Cristian. *Eur. J. Phys.* 2009. 30. № 6. 1325. [РЖ 10.11-18A.98].

**Зеркала в воздухе: миражи в природе и в лаборатории.** Mirrors in the air: Mirages in nature and in the laboratory. Vollmer M. *Phys. Educ.* 2009. 44. № 2. 165-174. [РЖ 10.09-18A.94].

## Глава 2

### ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

**Определение радиуса кривизны линзы при помощи колец Ньютона.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 62b. С. 269-272.

**Определение длины световой волны при помощи колец Ньютона.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 65b. С. 310.

**Определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны с помощью колец Ньютона.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 77. С. 488-491. 1962. Задача 106. С. 615-619. 1968. Задача 132. С. 451-456.

Задача посвящена ознакомлению с явлением интерференции в тонких прозрачных изотропных пластинках, в частности, когда интерференционная картина локализована на поверхности тонкого клина (полосы равной толщины). В задаче применяется микроскоп МБИ-4, с которого снят тубус и установлен винтовой окулярный микрометр АМ-9. Кроме того, объектив заменен более длиннофокусным ( $f = 25$  мм) и расстояние между окуляром и объективом подобрано так, что вблизи фокальной плоскости окуляра одновременно со шкалой окуляра проектируется увеличенное в три раза изображение колец Ньютона.

**Наблюдение и измерение интерференционных картин в тонком клинообразном слое при помощи микроскопа.** Pot (Beobachtung und Ausmessung von Interferenzfiguren in dunnen keilformigen Schichten mit Hilfe eines Mikroskopes. Roth Helmut, Math. Und Phys. Schule, 1958, 5, № 11, 610-618. [РЖ 1959 № 9 19417].

Предлагается метод наблюдения и измерения очень маленьких интерференционных картин в клинообразном слое при помощи микроскопа. Наблюдение ведется в отраженном монохроматическом свете. Кольца Ньютона наблюдают при помощи плосковыпуклой линзы и плоскопараллельной пластинки, полосы Ньютона – при помощи цилиндрической линзы и плоскопараллельной пластинки или двух плоскопараллельных пластинок, между которыми с одной стороны положена полоска бумаги. Контрастные интерференционные картины наблюдаются в тонких пластинках слюды. Интересные фигуры возникают в масляных пленках. Для измерений пользуются объект- или окуляр-микрометром.

**Использование оптической скамьи для изучения интерференционных полос Юнга.** Berry P. Utilisation du banc d'optique OG-45 pour l'étude des franges d'Young en travaux pratiques. "Bull. Union physiciens", 1960, 54, № 453, 554-555.

В качестве источника света берется фонарь, лампа которого имеет прямоугольную нить. Лампа должна быть хорошо центрирована по отношению к линзодержателю на оптической скамье. Для выделения пучка света в строго прямоугольной алюминиевой пластинке ( $70 \times 47$  мм) толщиной  $a = 1$  мм продельвается отверстие размером  $25 \times 5$  мм, которое располагается вдоль большой оси. Это отверстие закрывается двумя половинками лезвия бритвы, которые наклеены на алюминиевую

пластинку таким образом, чтобы оставшаяся между ними щель была возможно уже, а края ее были строго параллельны. Эта пластинка помещается в передней части фонаря. Фильтродержатель с монохроматическим стеклом располагается перед фонарем. Для получения щелей предлагается фотопластинку разрезать на пластинки шириной 27 мм и прочертить лезвием по одну и другую сторону от большой оси каждой из них на стороне, покрытой эмульсией, две параллельные линии. Расстояние между этими линиями измеряется методом микрометра. Диафрагма, пластинка со щелями и линза (+2 диоптрии) укрепляются на линзодержателе. Интерференционные полосы измеряются микрометром, помещенным в фокальной плоскости лампы, полученной склеиванием двух линз (+8 диоптрий).

**Измерение длины волны видимого света с использованием бритвенного лезвия.** Richter Paul. Messung der Wellen lange sichtbaren Lichtes mit Hilfe einer Rasierklinge. "Prax. Naturwiss.", 1960, А9, № 11, Physik, 298-300. [РЖ 1960 7А104].

Предлагается простой способ измерения длины волны видимого света, при помощи которого можно также показать влияние величины входного отверстия оптических инструментов на их разрешающую способность. В куске картона вырезают щель и наклеивают на щель две половинки лезвия, сломанного по левому направлению, так что получается клинообразная щель с раствором в нижней части порядка 0,5 мм. Поперек щели натягивают нить, которая может перемещаться вдоль щели. Если рассматривать пламя свечи через щель, появляются окрашенные интерференционные полосы. Длина волны видимого света  $\lambda$  рассчитывается по формуле  $\lambda = d \sin \beta$ , где  $d$  – ширина щели,  $\beta$  – угол между направлением на свечу и на первый интерференционный минимум. При помощи нити, натянутой поперек щели, определяют ширину щели в том месте, где происходило наблюдение. Подобным образом можно показать зависимость разрешающей силы оптических инструментов от величины входного отверстия. Через щель рассматривают одновременно два источника света, а затем перемещением нити фиксируют ширину щели в тот момент, когда центральный максимум совпадает с первым минимумом, при этом источники света становятся неразличимы друг от друга.

**Определение длины волны монохроматического света с помощью интерференции от двух щелей.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–10. С. 59.

**Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–11. С. 62.

**Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–12. С. 65.

**Измерение показателей преломления газов с помощью интерферометра ИТР-1.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–13. С. 69.

**Изучение чистоты обрабатываемой поверхности с помощью интерферометра Линника.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–14. С. 73.

**О простых способах наблюдения интерференции.** Glaser Manfred. Über einfache Beobachtungen von Interferenzfiguren. "Prax/ Naturwiss.", 1962, A11, № 8, 206-207. [РЖ 1963 3 А78].

Дается ряд рекомендаций, как наблюдать явление интерференции света в естественных часто встречающихся условиях. Сюда относится, например, наблюдение интерференционных полос, даваемых светом уличного фонаря, проходящим через мокрое от дождя стекло.

**Измерение интенсивности света при интерференции и дифракции.** Voit Fritz. Intensitätsmessungen bei Interferenzen und Beugungen. "Prax. Naturwiss", 1963, A12, № 7, Physik, 186-188. [РЖ 1964 3 А94].

Интенсивность света при интерференции и дифракции может быть измерена фотоэлектрическим методом. Для этого фотоэлемент, соединенный с усилителем и чувствительным измерительным прибором, закрывают экраном с узкой щелью и при помощи микрометрического винта перемещают вдоль области, в которой находятся интерференционные полосы. Для измерения интенсивности света могут быть использованы фотосопротивления, полупроводниковые диоды или фотоэлементы. Приведены электрические схемы.

**Измерение показателя преломления газов с помощью интерферометра Релея.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 107. С. 620-631. 1968. Задача 133. С. 456-467.

Свет от источника со сплошным спектром, например от лампочки накаливания, собирается с помощью конденсора на входной щели прибора шириной 3-5 мм. Эта щель находится в фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием около 300 мм, составляющего вместе со щелью коллиматор прибора. Непосредственно за объективом расположена плоская диафрагма, прикрывающая объектив, но имеющая две длинные (25 мм) параллельные щели, расположенные вдоль по двум вертикальным хордам диафрагмы. Ширина этих щелей 5 мм, расположены они на расстоянии 25 мм друг от друга. На расстоянии порядка одного метра от объектива расположен второй, обычно одинаковый с первым, объектив и вблизи его фокальной плоскости сильный окуляр – цилиндрическая линза диаметром 2-3 мм, дающая примерно стократное увеличение. Вся эта оптическая система представляет собой установку для наблюдения дифракции света в параллельных лучах.

**Определение радиуса кривизны линзы и длины световой волны с помощью колец Ньютона.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 33. С. 64-71.

**Изучение с помощью интерферометра зависимости показателя преломления газа от давления.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 108. С. 631-642. 1968. Задача 134. С. 467-478.

Измерения выполняются на интерферометре Жамена.

**Изучение основных явлений интерференции света с помощью интерферометра Майкельсона.** Физ. практ.-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 109. С. 642-657. 1968. Задача 135. С. 478-493.

Изучаемые явления, представляющие собой полосы равной толщины и полосы (кольца) равного наклона, используются для измерения длин световых волн и показателей преломления стекла. Измеряется разность длин волн двух близких линий ртутного спектра, ширина полосы пропускания светофильтра.

**Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. Работа 62. С. 357-361. 1973. Работа 62. С. 361-366.

**Интерферометр Рэлея.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. Работа 63. С. 361-369. 1973. Работа 63. С. 366-375.

**Интерферометр Жамена.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1973. Работа 64. С. 375-381.

**Определение длины волны излучения натрия при наблюдении интерференционных полос в оптическом клине.** Hartling otto. Wellenlangenbestimmung von Na-Licht bei objektiver Beobachtung an Luftkeilinterferenzen. "Prax. Naturwiss.", 1966, A15, № 9, Physik, 233-235. [РЖ 1967 4 A106].

На оптической скамье в обычном порядке устанавливаются натриевая лампа, конденсор, линзу, щель, вторую линзу и оптический клин, выполненный из двух плоскопараллельных пластинок размером  $60 \times 20 \times 10$  мм, между краями которых помещены две полосы фольги общей толщиной  $\sim 0.05$  мм, а противоположные края соединены зажимом. При помощи проекционной линзы получают увеличенное изображение интерференционной картины на экране. Приведены методические указания, расчетные формулы и результаты измерений, согласно которым ошибка в определении  $\lambda$  составляет 4%.

**Изучение интерференции методом колец Ньютона.** Физ. практ.-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 6. С. 38-43.

**Изучение интерференционного микроскопа.** Физ. практ.-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 7. С. 44-51.

**Изучение интерферометра Рэлея.** Физ. практ.-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 8. С. 52-56.

**Изучение интерференции с помощью бипризмы.** Физ. практ.-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 5. С. 31-37.

**Определение длины световой волны при помощи бипризмы Френеля.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 9. С. 56-62.

**Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 10. С. 63-69.

**Измерение микронеровностей поверхности интерференционным методом.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 11. С. 70-77.

**Интерференционный метод определения показателя преломления воздуха.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 12. С. 78-83.

**Кольца Ньютона между слоями жидкости.** Grull kurt. Newtonsche Ringe zwischen Flüssigkeitlamellen. "Prax. Naturwiss.", 1967, A16, № 7, 174-176. [РЖ 1968 1 А79].

На специальную круглую рамку из оргстекла диаметром 8 см натягивают две мыльных пленки и при помощи шприца вдувают между пленками воздух. При наблюдении пленок в монохроматическом свете отчетливо видны кольца Ньютона. При сближении пленок между собой вследствие выхода воздуха возникают новые кольца, которые распространяются от центра к краю рамки. Эта картина может наблюдаться в течение 10 минут. Приведен чертеж рамки и фотографии пленок.

**Определение длины световой волны посредством измерений колец Ньютона.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. С. 101-104.

**Определение длины волны He-Ne-лазера с помощью интерференционных кривых равного наклона.** Hartling Otto. Bestimmung der Wellenlänge eines HeNe-LASERS mit Hilfe von Interferenzkurven gleicher Neigung. "Prax. Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 3, 57-59. [РЖ 1970 8 А68].

Предлагаемая установка для определения длины волны лазерного излучения состоит из короткофокусной линзы ( $f = 10-20$  мм) или объектива микроскопа (расширитель пучка), стеклянной посеребренной (полупрозрачной) пластинки толщиной 6,0132 мм и диаметром 75 мм, длиннофокусной линзы для фокусировки в одной точке лучей одного направления и экрана. Длина волны находится по радиусам интерференционных колец равного наклона и расстоянию от экрана до вершины соответствующего светового конуса, которые легко определяются.

**Определение показателя преломления газа интерферометрическим методом.** Brockmeyer Heinrich. Interferometrische Bestimmung der Brechungszahlder Gase. "Prax. Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 8, 197-198. [РЖ 1971 1 А81].

Предлагается измерять величину  $n-1$  ( $n$  – показатель преломления вещества) с помощью интерферометра Майкельсона, в одном из плеч которого находится трубка с исследуемым газом, который может быть откачан вакуумным насосом. Определение  $n-1$  производится по изменению в интерференционной картине, наблюдаемой в интерферометре Майкельсона, происходящему в результате заполнения трубки исследуемым газом, по сравнению с картиной, которая имела место, когда газ из трубки был откачан вакуумным насосом.

**Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона.** Физ. практ.-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С. 21-26.

**Измерение концентрации растворов с помощью интерферометра.** Физический практикум. Часть 1. Оптика. Мордовский гос. ун-т. Саранск. 1971. С. 56-63.

**Интерференционные светофильтры и диэлектрические высокоотражающие зеркала.** Илларионова В.А., Тагиров Р.Б. “Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1972, вып. 2, 76-78. [РЖ 1972 8 А69].

Кратко описана лабораторная работа по изучению характеристик интерференционных светофильтров и зеркал для ОКГ. В части I работы исследуются светофильтры для видимой области спектра; в части II предлагается построить кривую пропускания интерференционного зеркала с коэффициентом отражения 99,4%, изготовленного для квантового генератора со стержнем из рубина.

**Кольца Ньютона.** Ziauddin Syed. Newton's rings. “Phys. Teacher”, 1972, 10, № 8, 477. [РЖ 1973 3 А126].

Описан учебный эксперимент, демонстрирующий кольца Ньютона. В эксперименте использованы две скрещенные прямоугольные, тщательно обработанные стеклянные пластины. Верхняя пластина совершает возвратно-поступательное движение относительно нижней. Если поверхности пластинки имеют небольшой наклон, то наблюдаемая интерференционная картина имеет форму, близкую к концентрическим кольцам. Если во время движения верхней пластины неподвижную подвергать небольшому давлению, то в центре поля интерференции можно наблюдать темное пятно. Сжав немного пластину с четырех углов небольшими струбцинами, а затем заклеив углы эпоксидной смолой, после затвердевания последней можно получить устройство для постоянного наблюдения интерференционных колец Ньютона. В качестве источника света всегда используется обычный белый свет. В описанных экспериментах наблюдались особенно отчетливо кольца желтого цвета.

**Метод совпадений в применении к интерференционному рефрактометру.** Hilton J. The method of coincidences applied to an interference refractometer. “phys. Educ.”, 1973, 8, № 4, 274. [РЖ 1973 11 А90].

Кратко описан эксперимент по определению небольших изменений длины волны методом совпадений с помощью интерференционного рефрактометра. Для осуществления последовательных совпадений в рефрактометре изменяется давление газа, что в свою очередь, изменяет показатель преломления газа. Приведена теория эксперимента и экспериментальные результаты.

**Интерференционные кольца интерферометра Фабри-Перо, измеряемые при помощи анализатора колец.** Korent Jacqueline. Fringes discerned by a fringerator. “Amer. J. Phys.”, 1973, 41, № 11, 1294-1295. [РЖ 1974 3 А123].

Описан прибор, позволяющий визуально измерять угловые расстояния между интерференционными кольцами интерферометра Фабри-Перо. Прибор состоит из небольшого телескопа, установленного на вращающемся столике, ось вращения которого проходит между пластинами интерферометра. Вращающийся столик снабжен микрометрическим устройством отсчета углов. По разнице отсчетов при наведении телескопа на различные кольца можно измерить угловые расстояния между ними. Прибор предназначен для выполнения учебных лабораторных работ с интерферометром Фабри-Перо студентами ВУЗов.

**Использование пространственной и временной когерентности лазерного луча для наблюдения интерференции и дифракции и измерения показателя**

**преломления.** Рук. к лаб. работам по ф-ке. Ч. III. Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973. Работа № 160. С. 142.

**Интерферометрический метод измерения некоторых физических свойств твердых тел.** Cheetham D., Eaton T,W. An interferometric method of measuring some physical properties of solids. "Phys. Educ.", 1973, 8, 3 5, 350-355. [РЖ 1973 12 А109].

Описан метод, являющийся развитием метода Сирля (Searle G.F.C., Phil. Soc. Proc., 1924, Pt3, 475-480), который позволяет с помощью интерференционных колец Ньютона определить характеристики твердых тел, связанные с изменением их размеров: модуль Юнга, коэффициент теплового расширения, магнито-стрикцию. У Сирля в оптическую систему входит натриевая лампа, плоское полупрозрачное зеркало и линза, лежащая на плоском стеклянном диске. Луч от лампы, отражаясь от зеркала, попадает на линзу и диск, где образуются кольца Ньютона, наблюдаемые в микроскоп. Авторы предлагают заменить лампу He-Ne-лазером, а полупрозрачное зеркало – серебряным. При этом кольца Ньютона проектируются на экран с большим увеличением, что облегчает измерения и позволяет демонстрировать опыт большой группе студентов.

**Эксперимент по интерференции в рассеянном свете.** Pontiggia C., Zefiro L. An experiment on interference in scattered light. "Amer. J. Phys.", 1974, 42, № 8, 692-694. [РЖ 1975 1 А100].

Подробно описан лабораторный эксперимент по наблюдению явления интерференции в рассеянном свете. Источником света служит He-Ne-лазер мощностью 2 мВт. Расходящийся лазерный пучок, прошедший через матовое стекло, подается на две фотопластинки типа Кодак 649F и засвечивает их. После проявления и закрепления эти пластинки параллельно друг другу или в виде "сэндвича" помещаются в лазерный пучок перпендикулярно ему и служат собственно рассеивателями. Интерференционная картина в виде колец наблюдается на экране на некотором расстоянии от пластинок. Подробно обсуждается теория эксперимента, проводится сравнение полученных результатов с результатами классических экспериментов подобного типа.

**Интерферометр Жамена.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 96-125.

**Интерферометр Фабри-Перо.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 126-159.

**Изучение эффекта Зеемана с помощью интерференционного спектро-скопа.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 80-95.

**Интерференционные полосы в движущейся пленке жидкости.** Hecht Eugene. Interference fringes in a flowing liquid film. "Amer. J. Phys.", 1975, 43, № 2, 187–189. [РЖ 1975 8 А105].

Описан оригинальный эксперимент по наблюдению интерференционных полос равной толщины в слое движущейся жидкости. При стекании жидкости в поле тяжести, например по поверхности пластмассы, толщина слоя жидкости уменьшается, что и приводит при соответствующем освещении к образованию

интерференционных полос, аналогичных кольцам Ньютона. Отмечается, что особую ценность предлагаемому эксперименту придает сочетание вопросов гидродинамики и оптики.

**Получение интерференционных полос с помощью бипризмы Френеля и лазера.** Veit J.L., Solarek D.J. Interference fringes using a Fresnel biprism. "Phys. Teacher", 1975, 13, № 7, 413-414. [РЖ 1976 2 А147].

В традиционном опыте с использованием бипризмы Френеля применяется относительно сложное оборудование (оптическая скамья, короткофокусный измерительный телескоп и т. д.). Кроме того, возникают трудности при определении расстояния между двумя мнимыми когерентными источниками. При использовании в качестве источника света маломощного He-Ne-лазера упрощается процедура определения расстояния между источниками. При этом получается такая же точность результата, как и в опыте Юнга с двойной щелью с использованием лазера.

**Особые случаи интерференции лазерного луча.** Brockmeyer Heinrich. Selt-same Laserstrahlinterferenzen. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1975, 24, № 8, 216-217. [РЖ 1976 2 А148].

Описано несколько эффектных многокрасочных опытов, основанных на интерференции лазерного света в тонких жидких кристаллах, а также на дифракции на неоднородностях в прозрачных телах, например, на стоячей ультразвуковой волне, а также в жидкости или твердом теле.

**Лабораторная установка для изучения явлений волновой оптики.** Князев В.И., Мухтаров Р.И. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1975, вып. 4, 68-73. [РЖ 1976 5 А137].

Описана лабораторная установка для изучения интерференции, дифракции и поляризации света, которая представляет собой оптический стенд с использованием в качестве источника света оптического квантового генератора (ОКГ) типа ЛДН-67. Излучение ОКГ в наибольшей степени соответствует простейшим волновым полям, обычно рассматриваемым в курсе общей физики, что дает возможность использовать наиболее простую схему опыта, а также изучать различные волновые оптические явления в условиях, близких к теоретическим. Описано устройство стенда. Рассмотрены лабораторные работы, которые можно выполнить на описанной установке: изучение интерференционного поля двух плоских световых волн, изучение дифракционных явлений на узкой щели и круглом отверстии, изучение поляризационных явлений.

**Многочувствительные интерферометры в физическом практикуме.** Работкин В.Л., Работкина Л.Р. В сб. "Физика". Вып. 5. М. "Высш. школа", 1977, 50-52. [РЖ 1977 8 А150].

Описаны устройство и принцип действия клинового интерферометра и интерферометра Фабри-Перо. Рассматривается применение этих приборов в демонстрационных и лабораторных экспериментах.

**Экспериментальное определение длины когерентности света.** Kiserletek a feny koherenciahosszaval kapcsolatban. Jeges Karoly. "Fiz. szemle", 1982, 32, № 11, 417-424. [РЖ 1983 10 А95].

Описывается несложная экспериментальная установка, состоящая из источника света (кварцевой лампы), экрана со щелью, стопы плоскопараллельных пластинок, одна из которых разделена на две пластины меньшего размера, располагаемые под углом друг к другу, булавки и экрана с короткофокусной линзой. Измерения выполняются путем визуального наблюдения интерференционной картины. По данным измерений вычисляется длина когерентности света.

**Измерение показателя преломления с помощью интерферометра Майкельсона.** Measurement of refractive index using a Michelson interferometer. Fendley J.J. "Phys. Educ.", **1982**, 17, № 5, 209-211. [РЖ 1983 4 A163].

Описывается лабораторная физическая задача для студентов старших курсов по определению показателя преломления материала плоскопараллельной пластинки, помещаемой в одно из плеч интерферометра Майкельсона. Получено выражение, связывающее длин волн излучения монохроматического источника излучения ( $\lambda$ ), толщину пластинки ( $d$ ), число интерференционных полос ( $m$ ), угол поворота пластинки ( $\varphi_i$ ) и показатель преломления ( $n$ ) и позволяющее по известной величине  $n$  определить  $d$ . Обратная задача нахождения  $n$  требует составления программы минимизации на ЭВМ. Возможности метода проиллюстрированы на конкретном примере при использовании источника излучения на длине волны  $\lambda = 546,2$  нм. Усредненное по различным  $\varphi_i$  значение показателя преломления стекла, равное  $n = 0,481 \pm 0.008$ , совпадает в пределах экспериментальной ошибки с величиной, измеренной другими авторами иной методикой (Nelkon M. Et al. "Advanced Level Physics", 1970, 428). Обсуждаются возможные причины систематических и случайных ошибок, влияние эффекта многократного отражения внутрипластинки. Рекомендуются проводить измерение в пределах  $\varphi_i = 10^\circ \div 60^\circ$ , при этом для пластинки толщиной  $d \approx 1$  мм, изменение числа полос по отношению к числу полос при положении пластинки, при котором свет падает нормально к поверхности, находится в диапазоне 20÷200, что достаточно просто определить с точностью 0,25 полосы.

**Наблюдение интерференции лазерного луча при отражении от линзы.** Громенко В.М., Олесневич С.М.; Ворошиловгр. Машиностр. Ин-т. Ворошиловград, **1982**. (Рукопись деп. в УкрНИИТИ 3 сент. 1982 гюЮ № 378IVк-Д82). [РЖ 1983 2 A112].

Описана методика применения газового лазера в лабораторном практикуме по оптике. Дан расчет интерференционной картины, получаемой при отражении от плосковыпуклой линзы. Вследствие аксиальной симметрии установки лазер–линза–экран картина интерференции представляет собой чередование темных и светлых колец. Расчет упрощен путем рассмотрения тождественного хода лучей, полученных от двояковогнутой линзы. Рабочая формула содержит зависимость между длиной волны, расстоянием экран–линза, показателем преломления стекла, радиусами интерференционных колец и радиусом кривизны линзы. Формула проста и может быть использована для определения радиуса кривизны линзы. Описанная установка может быть также применена для лекционной демонстрации.

**Определение радиуса кривизны линзы по кольцам Ньютона.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.6. С. 422-426.

**Интерферометр Жамена.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.7. С. 426-434.

**Интерферометр Релея.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л. . Гольдина. М., 1983. Работа 5.8. С. 434-440.

**Изучение интерферометра Фабри-Перо и измерение длин волн спектральных линий.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.9. С. 440-447.

**Изучение модового состава излучения газового лазера с помощью сканирующего интерферометра.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.10. С. 447-455.

**Интерференция электромагнитных волн сантиметрового диапазона.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.11. С. 455-462.

**Демонстрация интерференционной природы оптического изображения в лабораторном практикуме.** Смирнова В.Б., Сперантов В.В. ; Ред. ж. "Изв. вузов. Физ."Томск, 1983. [РЖ 1983 8 А136].

Для развития представлений о дифракции как о явлении, определяющем принципиальную возможность получения оптического изображения, в традиционной лабораторный практикум целесообразно ввести ряд работ, требующих параллельного использования понятий как волновой, так и лучевой оптики. Реальным примером схемы такого рода служит простая установка, позволяющая исследовать процесс получения изображения самосветящегося объекта (нить лампы накаливания) без помощи линз: вначале с помощью малого отверстия, а затем – посредством зонной пластинки Френеля. После проделанных опытов (определение оптимального радиуса отверстия, наблюдение "фокусирующего" действия зонной пластинки и др.) замена зонной пластинки собирающей линзой естественно трактуется как переход от "ступенчатой" структуры к плавному профилю, обеспечивающему получение интерференционного максимума в каждой точке изображения. Установка может быть использована для постановки лекционных демонстраций.

**Лазерные интерференционные эксперименты с использованием отверстий в перфокартах.** Laser interference experiment using punchcard slits. Mooney Michael J. "Amer. J. Phys.", 1983, 51, № 5, 468. [РЖ 1984 1 А117].

Описаны эксперименты по интерференции лазерного излучения на пробитых в стандартной перфокарте перфорационных отверстиях.

**Кольца Ньютона.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 39. С. 253-260.

Измеряются длины волн излучения ртутной лампы и определяются величины деформации линзы и пластинки.

**Интерферометр Релея.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 40. С. 261-267.

Изучается устройство и принцип работы интерферометра Релея, измеряется поляризуемость молекул воздуха.

**Кольца Ньютона.** Физ. практ-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 39. С. 253-250.

**Интерферометр Рэлея.** Физ. практ.-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 40. С.

**Практическое определение изменения фазы при отражении.** A practical determination of the phase change at reflection. Birch K.G., Li Tianchu. "СРЕМ 86 Dig.: Conf. Precis. Electromagn. Meas., Gaithersburg. Md, June 23-27, 1986." New York, N. Y., 1986, 44-45. [РЖ 1987 5 А117].

Разработана система, состоящая из микроскопа, телевизионной камеры и компьютера, для измерения радиусов колец Ньютона при интерференции света, отраженного от исследуемой поверхности и от сферической поверхности расположенной на ней плоско-выпуклой линзы. Получаемая на экране телевизионного монитора интерференционная картина автоматически передается на компьютер, производящий расчет фазового сдвига при отражении. При расчете учитываются коэффициент преломления поверхностей и чистота их обработки. Проведены эксперименты по отражению света от стальной, вольфрамовой и хромовой поверхностей. Точность определения фазового сдвига составила  $\pm 5\%$ .

**Определение разности длин волн  $\Delta\lambda$  двух компонент желтого дублета натрия на основе интерференционных колец Ньютона.** Борисов В.П., Веретельник В.И. Том. Политех. Ин-т. Томск, 1987. [РЖ 1987 6 А122].

Описанная методика для наблюдения колец Ньютона в отраженном свете позволяет определить разность длин волн  $\Delta\lambda$  двух компонент желтого дублета натрия и, т. о., расширить широко известную лабораторную работу "Определение радиуса кривизны линзы и длины волны световой волны с помощью колец Ньютона". Добавление второго упражнения к этой работе позволит студентам глубже вникнуть в проблему интерференции света и ознакомиться с одной из прикладных задач, решение которой может быть проведено с использованием этого явления.

**Интерференционные полосы Гершеля и их использование в учебных целях.** Амстиславский Я.Е. "Изв. вузов. Физ.", 1987, 30, № 2, 115-118. [РЖ 1987 7 А119].

Еще в 1809 г. В. Гершель описал интерференционные полосы, которые наблюдаются в тонкой воздушной прослойке между стеклянными призмами при переходе световой волны в прослойку под углами  $i$ , близким к предельному углу полного внутреннего отражения  $i_0$ . Светосильную демонстрацию полос Гершеля осуществляют в световом пучке, фокусируемом на поверхности прослойки прибора по схеме: осветитель с 300 Вт (110 В) кинопроекторной лампой накаливания с небольшими размерами светящегося тела, интерферометр, поляризатор, красное стекло, плоское зеркало. Передвигая интерферометр в направлении, перпендикулярном к оси светового пучка, и наблюдая за картиной на экране, отыскивают участок, формирующий картину наилучшего качества. В ходе опыта осуществляют следующие демонстрации: I. Ахроматизация полосы первого порядка. Формирование спектров. II. Влияние коэффициента отражения на распределение освещенности. III. Влияние толщины прослойки на распределение освещенности.

**Модификация опыта Поля.** Modyfikacja doswiadczenia Pohla. Chyla Krzysztof. "Fiz. szk.", 1987, 33, № 1, 41-44. [РЖ 1987 9 А94].

Опыт Поля является разновидностью более известных интерференционных опытов, в которых формирование второго когерентного источника достигается

путем разделения излучения от первого источника на два канала. В опыте Поля излучение от ртутной лампы направляется на очень тонкую плоскопараллельную стеклянную пластинку. В результате отражения от поверхностей пластинки возникает два когерентных луча, испускаемых парой мнимых источников, являющихся изображениями лампы. Показано, что применение лазера в качестве источника света позволяет увеличить толщину пластинки, однако не снижает высоких требований к ее плоскопараллельности. Даются практические советы по постановке лекционной демонстрации.

**Цепь для подсчета полос в интерферометре Майкельсона.** A fringe-counting circuit for use with the Michelson interferometer. Aghdate Behnam, Amer. J. Phys. **1988**. 56, № 7. 664-665. [РЖ 1989 2 A168].

Ряд научных и лабораторных студенческих экспериментов с интерферометром Майкельсона связан с вращением зеркала интерферометра и подсчетом большого (порядка сотни) числа полос, проходящих через поле зрения трубы интерферометра. Этот утомительный процесс можно исключить, воспользовавшись предлагаемой схемой, в основе которой фоторезистор. На него при помощи собирающей линзы проектируется изображение очередной интерференционной полосы, появляющейся в поле зрения прибора. Сигнал с фоторезистора поступает на электронную схему для усиления и преобразования в прямоугольный импульс десятичного цифрового кода, который, в свою очередь, поступает на электронный или механический счетчик.

**Голографическая интерферометрия – лабораторный эксперимент.** Holographic interferometry – a laboratory experiment. de Frutos A.M. , de la Rosa M. I. Phys. Educ. **1988**. 23, № 5. 302-305. [РЖ 1989 3 A158].

Приведена оптическая схема и обсуждается конструкция голографического интерферометра. Приведены снимки интерференционного поля, полученные в обычном интерферометре и в голографическом корректированном. Отмечается, что голографический анализ может быть проведен, когда объект исследования находится в воздухе или в воде. Описано использование интерферометра для анализа оптических свойств стекла, используемого для окон в приборах. Изучались также поверхностные и внутренние дефекты фотографических пластин. Два проведенных эксперимента демонстрируют возможность проведения измерений на системах с абберациями. Отмечается, что голографический интерферометр сравнивает не две разные волны, как классический интерферометр, а одну, но в два разные момента времени.

**Эксперимент для лаборатории общей физики по демонстрации метода временно́го усреднения голографической интерферометрии.** Experiment in time-average holographic interferometry for the undergraduate laboratory. Bahuguna R.D., Western Arthur B., Lee Sean. Amer. J. Phys. **1988**. 56, № 8, 718-721. [РЖ 1989 4 A111].

Показано, что при голографировании объекта, колеблющегося по гармоническому закону, возникает сложная интерференционная картина с максимумом яркости, соответствующим максимальному смещению. Предлагаемая установка представляет собой горизонтально расположенный стержень, способный вращаться около вертикально расположенного прута, проходящего через центр инерции стержня. Один из концов стержня при помощи иглы механически связан с диффузором громкоговорителя, излучающего колебания звуковой частоты. Голографиро-

вание осуществляется при помощи He-Ne-лазера с традиционной системой разделения пучка. Приводятся технические параметры описываемого эксперимента.

**Локализация обобщенных колец Ньютона–Майкельсона.** The localisation of the generalised Newton-Michelson rings. Sastry G.P., Saraswat R.S. Phys. Educ. **1989**. 24, № 2. 91-93. [РЖ 1989 11 A112].

Рассматривается обобщение известного опыта с кольцами Ньютона. В классическом варианте этого эксперимента, а также в экспериментах с интерферометрами Майкельсона и Фабри-Перо получается система интерференционных колец (полос), происхождение которых и локализация объясняются теорией интерференции когерентных световых потоков, распространяющихся от точечного источника. Здесь анализируется более общий случай источника конечной протяженности. Показано, что в этом случае условию интерференции удовлетворяет определенная поверхность, на которой располагается интерференционная картина. Известные классические случаи получаются непосредственно из общей формулы.

**Установка для изучения эффекта Доплера.** Майер В.В. Изв. вузов. Физ. **1989**. 32, № 7. 94-96. [РЖ 1990 1 A104].

Разработана установка для экспериментального изучения эффекта Доплера. Принцип ее работы следующий: пучок света гелий-неонового лазера разделяется на два, которые фокусируются вблизи диаметрально противоположных точек бумажного диска, закрепленного на валу электродвигателя. Рассеянный диском свет частично попадает обратно на преломляющие линзы, установленные на таких расстояниях от диска, чтобы отраженные от зеркал пучки рассеянного света собрались в промежутке между пластинами интерферометра Фабри-Перо. На краю диска имеется отверстие, через которое при вращении диска световой пучок от лазера периодически проходит на фотодиод. Относительная разность длин волн  $\Delta\lambda/\lambda$  входящих в интерферометр рассеянных пучков зависит от угла наклона пучков к плоскости диска и линейной скорости края диска. Относительная погрешность измерения  $\Delta\lambda/\lambda$  не превышает 10%.

**Методы голографической интерферометрии в лабораторном практикуме с элементами научно-исследовательской работы студентов.** Матинян Е.Г., Корнев Ю.В. Сб. науч.-метод. ст. по физ. **1991**. № 16. С. 74-76. [РЖ 1991 9 A67].

Рассматриваются методы голографической интерферометрии, основанные на регистрации голограмм сфокусированных изображений.

**Кольца Ньютона. Демонстрация в классе с помощью гелий-неонового лазера.** Newton's rings: A classroom demonstration with a He=Ne laser. Leung A.F., Lee J.E. Amer. J. Phys. **1991**. 59, № 7. С. 662-664. [РЖ 1992 1 A188].

Описаны схемы наблюдения колец Ньютона на уроке физики с помощью микроскопа при использовании в качестве источника света натриевой лампы и на экране при использовании гелий-неонового лазера. С учетом того обстоятельства, что лазер необходимо рассматривать как точечный источник света, получено выражение для радиуса  $R_m$  колец Ньютона с учетом размеров плосковыпуклой линзы. Показано, что величина  $R_m$  пропорциональна расстоянию от линзы до экрана и обратно пропорциональна  $\sqrt{F}$ , где  $F$  – фокусное расстояние линзы.

**Измерение показателя преломления воздуха интерференционным методом в физическом практикуме.** Еркович О. С.; МГТУ. М., **1991**. 10 с. [РЖ 1992 4 A136].

Предлагается описание лабораторной установки физического практикума, предназначенной для определения преломления воздуха интерференционным методом. Основу установки составляет лазерный интерферометр Майкельсона. Приведены подробные описания установки, методики проведения эксперимента и обработки результатов измерений, а также краткое теоретическое введение. Работа может быть использована в лабораторном практикуме при изучении курса общей физики в высших учебных заведениях с углубленным изучением дисциплин физико-математического цикла.

**Лабораторный эксперимент по интерференции поляризованного света с использованием жидких кристаллов.** A laboratory experiment on interference of polarized light using a liquid crystal. Carr E.F., Nccllymer J.P. Amer. J. Phys. **1991**. 59, № 4. С. 366-367. [РЖ 1992 9 А100].

Описаны небольшие изменения в лабораторной установке для измерения анизотропии показателя преломления нематических жидких кристаллов. Вместо пластиной оптического кварца в ячейке используется клин их куска оконного стекла и предметного стекла для микроскопа, пространство между которыми заполняется жидким кристаллом. Горизонтальное магнитное поле обеспечивает одноосность кристалла в нужном направлении. В качестве источника света используется натриевая лампа ( $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ ). Разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей  $\Delta n = \lambda/(x \cdot \theta)$ , где  $x$  – расстояние между интерференционными полосами,  $\theta$  – угол клина. Чем больше величина магнитного поля, тем быстрее исчезают дефекты при установлении интерференционной картины.

**Недорогой и простой по конструкции интерферометр Фабри-Перо для лабораторий практикума.** An inexpensive, easy to build Fabry-Perot interferometer and its use in the introductory laboratory. Amato J.C., Williams R.E., Helm H. Amer. J. Phys. **1991**. 59, № 11. С. 992-994. [РЖ 1992 9 А104].

Описан лабораторный эксперимент, разработанный для курса современной физики, читаемого как вводный, по изучению изомерного сдвига в серии Бальмера для системы водород-дейтерий и измерению отношения масс протона и электрона. Свет от дейтериевой газоразрядной лампы фокусируется на интерферометр Фабри-Перо, собранный из доступных оптических деталей. Красная и голубая линии из серии Бальмера выделяются с помощью фильтров. При тщательном проведении эксперимента ошибка определения  $M_p/m_e$  не превышает 1%. Эксперимент позволяет продемонстрировать эффективность введения понятий центра масс и приведенной массы на атомном уровне.

**Изучение пространственной когерентности света в физическом практикуме.** Еркович О.С. МГТУ. М., **1991**. 10 с. [РЖ 1992 4 А 137].

Представлено описание лабораторной установки, предназначенной для учебной лаборатории и позволяющей познакомить учащихся с явлением пространственной когерентности света. Основу установки составляет интерферометр Юнга, используемый для определения радиуса когерентности тепловых источников света, и интерферометр Майкельсона, предназначенный для наблюдения пространственной когерентности излучения одномодового лазера. Приведены подробное описание установки, методики проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных, а также краткое теоретическое введение. Работа может быть использована в лабораторном практикуме при изучении курса об-

шей физики в высших учебных заведениях, а также в средних учебных заведениях с углубленным изучением дисциплин физико-математического цикла.

**Интерференция света при отражении от внутренних стенок цилиндрических труб.** Interference of light by reflection on the inner walls of cylindrical tubes. Lion Yves, Renolte Yvon. Eur. J. Phys. **1992**. 13, № 1. С. 47-52. [РЖ 1992 7 А79].

Представлены и обобщены результаты экспериментов, проводимых с точечным источником когерентного света, освещающим внутренние стенки отражающей цилиндрической трубки. Интерференционная картина, наблюдаемая на экране, расположенном в торце трубки, сравнивается с картиной, полученной с помощью зеркала Ллойда. Эксперимент представлен в качестве практического приложения теории интерференции. Отмечено, что описанные исследования позволяют расширить круг наблюдений явлений интерференции в студенческих физических лабораториях, в которых обычно используются интерференционные устройства Юнга, Ллойда и Френеля.

**Измерение длины световой волны и радиусов кривизны линзы с помощью колец Ньютона.** Физ. практ-м. Томск. **1993**. Лаб. работа 3-10. С. 68-70.

**Исследование явления интерференции света и определение длин волн с помощью бипризмы Френеля.** Физ. практ-м. Томск. **1993**. Лаб. работа 3-20 А.С. 82-85.

**Когерентность и опыт Юнга.** Когерентност и опитът на Юнг. Георгиев Г. Физика. **1993**. 18, № 6. С. 1-4. [РЖ 1994 6 А98].

При изучении интерференции света обычно демонстрируется опыт Юнга. Он описан во многих учебниках и книгах для учащихся и студентов, но всегда схематически, без подробного анализа условий, при которых можно наблюдать интерференцию. Детально описан интерферометр Юнга, рассмотрены условия обеспечения пространственной и временной когерентности, оценивается длина когерентности наиболее часто используемых источников.

**Опыт Меслина в лабораторном практикуме по общей физике.** Каменецкая М. С., Сперантов В В.; Ред. ж. Изв. вузов. Томск, **1993**. % с. [РЖ 1994 4 А155].

Опыт Меслина, представляющий собой видоизменение известного опыта с блинзой Бийе, позволяет продемонстрировать эффект изменения фазы световой волны на  $\pi$  при прохождении через фокус оптической системы. Предлагаемая схема представляет собой современный вариант исторического опыта Меслина и позволяет продемонстрировать упомянутый эффект в условиях студенческого практикума по оптике с помощью стандартного лабораторного оборудования.

**Использование спеклов для лабораторных работ по когерентности света и статистике фотонов.** Вячеславов Л.Н. Сиб. физ. ж. **1993**, № 2. С. 13-24. [РЖ 1994 10 А224].

Близость распределения диффузно рассеянного излучения (спекл-картины) с мгновенным распределением поля протяженного теплового источника света позволяет наглядно продемонстрировать ряд закономерностей распространения и интерференции частично когерентного излучения. Применение, наряду со стационарной спекл-картиной, спеклов, движущихся мимо фотоприемника (так

называемого “квазитеплового источника света”), позволяет достаточно просто провести ряд экспериментов по интерференции интенсивностей: опыт Браун-Твисса, спекл-интерферометрию, интерференцию излучения независимых источников, а также работы по статистике лазерного и теплового излучения. Эти явления рассмотрены с единой точки зрения.

**Опыт Меслина в лабораторном практикуме по общей физике.** Каменская М.С., Сперантов В.В. *Преподавание физ. в высш. шк.* **1994.** № 1. 64-67, 105. [РЖ 1997 4 А91].

Описывается экспериментальная установка, собранная по схеме интерференционного опыта Меслина, для демонстрации изменения фазы световой волны на  $\pi$  при прохождении через фокус оптической системы. Установка может быть использована в лабораторном практикуме по общей физике и для лекционных демонстраций.

**Учебный интерферометр с двумя идентичными диффузорами.** Амстиславский Я.Е. Ред. ж. изв. вузов. Физика ; Томский ин-т. Томск, **1994.** 9 с. [РЖ 1994 5 А68].

Целесообразность использования случая интерференции света от двух независимых реальных идентичных диффузоров в учебных целях обусловлена тем, что наблюдаемые в проходящих лучах диффузно рассеянного света интерференционные явления отличаются наглядностью в объяснении и простотой количественной интерпретации. Однако проблема практического осуществления независимых идентичных диффузоров до сравнительно недавнего времени оставалась весьма трудно разрешимой. Положение дел коренным образом изменилось после разработки метода получения идентичных диффузоров посредством фотографирования одной и той же спекл-картины на разные фотопластинки высокого разрешения. Обсуждаются вопросы, связанные с методикой и техникой изготовления и использования в учебных целях интерферометра из двух идентичных диффузоров, полученных указанным выше способом. Данные рекомендации обеспечивают простоту и надежность достижения необходимой идентичности спекл-картин, проектируемых на эмульсионные слои двух фотопластинок на стадии записи спекл-поля и возможность достижения необходимого сближения идентичных диффузоров в самом интерферометре. Приводится описание экспериментальной установки, формирующей спекл-поле, детализируются условия фотографирования спекл-картин и обработки фотопластинок. Обсуждается способ пространственного разделения диффузоров и техника юстировки системы на поперечное совмещение структур, обеспечивающая создание учебного интерферометра в виде жестко скрепленной системы совмещенных диффузоров, разделенных плоскопараллельной воздушной прослойкой толщиной около 0,5 мм. Даются методические рекомендации по демонстрации формирования интерференционной картины в проходящих лучах диффузно рассеянного света от лазерного источника и от лампы накаливания.

**Измерение длины волны интерферометром Майкельсона.** *Mesure d'une longueur d'onde avec le Michelson.* Prie P. *Bull. Union Phys.* **1994.** 88, № 767. С. 1363-1366. [РЖ 1995 7 А52].

Наблюдение и подсчет большого количества (порядка 50) интерференционных колец неизбежно ведет к ошибке при определении длины волны. Использо-

вание микрометра в качестве поворотного винта позволяет уменьшить скорость перемещения подвижного зеркала и увеличить точность подсчета колец.

**Интерферометры Фабри-Перо для лекционных демонстраций и практикума.** Fabry-Perot interferometers for lecture demonstrations and laboratories, Perkalskis B.S., Freeman J.R. *Amer. J. Phys.* **1996.** 64. № 9ю 1210-1212. [РЖ 1998 3 A132].

**Механический резонанс и его детектирование с помощью интерферометра Майкельсона.** Mechanical resonance detected with a Michelson interferometer. Nachman P., Pellegrino P.M., Bernstein A.C. *Amer. J. Phys.* **1997.** 65. № 5. 441-443. [РЖ 1998 5 A112].

**Сканирующий интерферометр Фабри-Перо со сферическим зеркалом: лаборатораторный эксперимент в спецпрактикуме по оптике.** Scanning, spherical-mirror Fabry-Perot interferometer: An upper-division optics laboratory experiment. Nachman P., Bwernstein A.C. *Amer. J. phys.* **1997.** 65. № 3. 202-213. [РЖ 1998 6 A142].

**Лабораторная работа по исследованию интерференции волн с произвольной ориентацией их линий поляризации.** Молотков Н.Я., Шальнев В.В., Плотников В.П. *Физ. образ. в вузах.* **1998.** 4. № 4. 75-82, 159. [РЖ 1999 12 A151].

В курсах волновой оптики вузов не рассматривается вопрос об интерференции двух когерентных волн с произвольной ориентацией их электрических векторов, хотя это явление представляет несомненный интерес, так как позволяет расширить представление студентов об интерференционных закономерностях. Авторами разработана и поставлена соответствующая лабораторная работа в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн ( $\lambda = 3,2$  см).

**Лабораторная работа по исследованию интерференции волн с круговой поляризацией.** Молотков Н.Я., Шальнев В.В., Хвостова Н.В., Дивак В.Б. *Физ. образ. в вузах.* **1999.** 5. № 2. 115-123. [РЖ 00.05-18A.152].

В научной и учебной литературе по волновой оптике практически не найти как описания опытов Араго (1824 г.), так и теории интерференции световых волн с круговыми поляризациями. Несомненно, при углубленном изложении волновой оптики в вузе этим вопросам следует уделить определенное внимание, что позволит расширить представление студентов об интерференционных явлениях.

**Изучение эффекта проявления пространственной когерентности света в интерференционной схеме Юнга в демонстрационном и лабораторном эксперименте.** В.П. Рябухо, О.А. Перепелицына, А.А. Чаусский. *ФОВ.* **2001.** Т.7, № 4, с. 99.

Рассматривается применение в интерференционной схеме Юнга специального оптического элемента, в частности, двухэкспозиционной спеклограммы сдвига, позволяющего существенным образом повысить интенсивность наблюдаемых интерференционных полос Юнга в достаточно протяженном дифракционном гало и, как следствие, наблюдать в простых условиях проявление степени пространственной когерентности света протяженных тепловых источников. Обсуждается постановка демонстрационных экспериментов и лабораторной работы по изучению влияния размеров источника света и степени его пространственной когерентности на видность интерференционных полос Юнга.

**Методы обработки данных в эксперименте по наблюдению колец Ньютона.** Zhao J., Xu Q. *Xuzhou shifan daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Xuzhou Norm. Univ. Natur. Sci. Ed.* **2001.** 79, № 11. 1733-1734. [РЖ 02.06-18А.142].

**Изучение эффекта проявления пространственной когерентности света в интерференционном опыте Юнга в демонстрационном и лабораторном эксперименте.** Рябухо В.П., Перепелицына О.А., Чаусский А.А. *Физ. образ. в вузах.* **2001.** 7. № 4. 99-111, 139-140. [РЖ 02.12-18А.169].

Рассматривается применение в интерференционной схеме Юнга специального оптического элемента, в частности, двухэкспозиционной спеклограммы сдвига, позволяющего существенным образом повысить интенсивность наблюдаемых интерференционных полос Юнга в достаточно протяженном дифракционном гало и, как следствие, наблюдать в простых условиях проявление степени пространственной когерентности света протяженных тепловых источников. Обсуждается постановка демонстрационных экспериментов и лабораторной работы по изучению влияния размеров источника света и степени его пространственной когерентности на видность интерференционных полос Юнга.

**Система сканирования интерферометра Майкельсона на основе линейного двигателя с постоянным магнитом.** Дворук С.К., Морозов А.Н., Павлов Д.А. и др. *Приборы и техн. эксперим.* **2001.** № 3. 146-150. [РЖ 03.04-18А.161].

Описана система сканирования подвижного зеркала интерферометра Майкельсона (рабочая скорость  $\sim 4$  см/с, смещение  $\pm 2,5$  мм от положения равновесия) на основе линейного двигателя на постоянном кольцевом магните. Рассмотрена математическая модель системы управления, приведена и описана принципиальная электрическая схема блока управления. Приведены результаты испытаний системы управления.

**Новая интерпретация принципа измерения длины волны света с помощью интерферометра Майкельсона.** Fei Y. *Jinzhou shifan xueyuan xuebao. Ziran kexue ban = J. Jinzhou Norm. Coll. Natur. Sci. Ed.* **2002.** 23. № 4. 36-40. [РЖ 03.07-18А.168],

**Полосы равного наклона: демонстрационный и лабораторный эксперимент.** Рожков И.Н. *наука XXI века: проблемы и перспективы: Материалы 24 преподавательской и 42 студенческой научно-практической конференции, Оренбург, 4-5 апр., 2002.* Ч. I. Физико-математические секции. Оренбург, **2002.** 39-42. [РЖ 03.09-18А.175].

Для изучения в курсе волновой оптики темы “Интерференция света в тонких пленках” предлагается простая схема для демонстрации интерференционных полос равного наклона, не требующая специальной юстировки и легко воспроизводимая в условиях школьного физического кабинета. В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер, в качестве пленок – покровные стекла для микроскопов, полимерные пленки (проявленная неэкспонированная фотопленка). Приведено подробное описание работы, схемы. Достоинство предлагаемого способа в том, что данная схема может служить основой лабораторной установки и использоваться для измерений толщин и показателя преломления тонких прозрачных пленок (дана схема лабораторной установки).

**Учебная установка для изучения влияния монохроматичности света на интерференционную картину.** Авксентьев Ю.И., Овчинникова Т.Л. *Преподавание физ. в высш. шк.* **2002.** № 23. 170-172. [РЖ 04.06-18А.146].

Оптическая установка собрана на базе стереоскопического микроскопа МБС-10. Нормальное падение пучка света на линзу достигается тем, что осветитель устанавливается на место одного из окуляров микроскопа. Для получения монохроматического пучка света перед осветителем располагается светофильтр с полосой пропускания  $\sim 100 \text{ \AA}$ . Число колец в интерференционной картине подсчитывается с помощью окулярного микрометра, расположенного на месте второго окуляра микроскопа. Для точного подсчета числа колец применяется специальная оправка стеклянной пластинки с линзой. Для измерения длины волны светофильтра ( $\lambda$ ) и его полосы пропускания ( $\Delta\lambda$ ) используется малогабаритный универсальный монохроматор МУМ. Отсчет доин волн осуществляется с точностью 2 нм. Предлагается выполнить два упражнения: 1) измерить число ( $m$ ) темных интерференционных колец Ньютона, соответствующих ширине полосы пропускания  $\Delta\lambda$ ; 2) на монохроматоре МУМ измерить длину волны пропускания используемого светофильтра  $\lambda$  и его полосу пропускания  $\Delta\lambda$ . Цель измерений – проверка соотношения  $m = \lambda / \Delta\lambda$ . Воспроизводимость результатов измерений на предложенной установке составляет 5%.

**Наблюдение явлений интерференции с использованием тонких пленок.** Observing thin-film interference effects. Wheeler C.R., Ramsier R.D., Henriksen P.N. *Phys. Educ.* **2003**. 38. № 6. 495-496. [РЖ 05.03-18А.146].

**Исследование временной длины когерентности света.** An investigation of the temporal coherence length of light. Wheeler C.R., Ramsier R.D., Henriksen P.N. *Eur. J. Phys.* **2003**. 25. № 1. 101-113. [РЖ 05.06-18А.143].

**Прибор для сканирования оптических интерференционных и дифракционных картин.** Акатов Р. В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2003**. № 18. 26-28, 91. [РЖ 04.02-18А.168].

Предложен сканирующий индикатор оптического диапазона для получения на экране осциллографа графика зависимости интенсивности света от координаты. В приборе использованы фотодиодный и тензометрический датчики.

**Новый необычный способ наблюдения интерференции света.** Старшов М.А. *Вопр. прикл. физ.* **2004**. № 10. 80-81. [РЖ 04.12-18А.170].

Предлагается методика наблюдения интерференции света на толстых стеклянных пластинах, как в отраженных, так и в проходящих лучах, а также в отражении от плохого зеркала при почти нормальном падении света. В качестве источника квазимонохроматического света используется неоновая лампа произвольной конструкции, например, миниатюрная бесцокольная, широко применяемая в бытовой аппаратуре. Предлагается расположение источника и приемника, дающее необычный эффект.

**Вращение интерферометра в движущейся среде.** Попов П.А. *Физ. образ. в вузах.* **2004**. 10. № 2. 41-48. [РЖ 05.02-18А.117].

Показано, что равноплечный интерферометр Майкельсона в режиме однонаправленного вращения обнаруживает свойство однонаправленного смещения интерференционной картины. Показано также, что перемещение наблюдателя или регистрирующего устройства вокруг прибора при выполнении опыта приводит к удвоению углового периода смещения картины, фиксируемого в протоколе, по сравнению со смещением, рассчитанным в инерциальной системе отсчета.

**Интерферометр Майкельсона: как обнаружить невидимые интерференционные картины.** The Michelson interferometer— how to detect invisible interference patterns. Verovnik Ivo, Likar Andrej. *Eur. J. Phys.* **2004**. 25. №6. 801-806. [РЖ 05.10-18А.139].

**Видимость полос тонкопленочной интерференции.** Visibility of thin-film interference fringes. Wheeler C.R., Henriksen P.N., Ramsier R.D. *Amer. J. Phys.* **2004**. 72. № 2. 279-281. [РЖ 05.11-18А.134].

Видимость полос в картинах тонкопленочной интерференции зависит от отражательной способности границ раздела пленок. Дано описание простого эксперимента и аппаратуры для демонстрации этой зависимости.

**Несколько различных интерферометрических схем для экспериментов с кольцами Ньютона.** Several more variant structures of interference apparatus for Newton's rings. Zhou Guo-quan, Guo Chang-ming. *Wuhan daxue xuebao. Lixue ban = J. Wuhan Univ. Natur. Sci.* **2005**. 51. № 1. 51-54. [РЖ 06.06-18А.148].

**Экспериментальные оценки длины когерентности и степени монохроматичности световой волны.** Папушина Т.И., Михельсон А.В., Савин В.С. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования: Сб. научн. Тр. 4 Российск. Научно-методич. конф. Учителей школ и преподавателей вузов., Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург, **2006**. 126-129. [РЖ 07.10-18А.143].

При рассмотрении явления интерференции в курсе физики важно получить экспериментальные оценки параметров когерентности и связать эти параметры со степенью монохроматичности световой волны. В работе речь идет о так называемой частичной когерентности. Приведены теоретические основы эксперимента. Рассмотрены условия возникновения интерференции на примере колец Ньютона. Отмечается оценочный характер измерений, а также наглядность значительного увеличения числа видимых колец при замене источника света (светодиода) лазером.

**Основные эксперименты по физической оптике, реализуемые при помощи модифицированного интерферометра Майкельсона.** Basic experiments of physical optics presented with a modified version of the Michelson interferometer. Tramannoni F., Matteucci G. *Eur. J. Phys.* **2006**. 27. № 6. 1267-1275. [РЖ 08.01-18А.115].

**Волоконно-оптический интерферометр Майкельсона.** In-fiber integrated Michelson interferometer. Yuan L., Yang J., Liu Z., Sun Z. *Opt. Lett.* **2006**. 31. № 18. 2692-2694. [РЖ 09.04-18А.82].

**Количественное определение фаз с помощью интерферометра Майкельсона.** Quantitative phase determination by using a Michelson interferometer. Pomarico J, A,m Molina P. E., D'Angelo C. *Eur. J. Phys.* **2007**. 28. № 5. 797-804. [РЖ 08.10-18А.116].

**Определение показателя преломления стеклянной пластинки из опытов по интерференции световых волн.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. **2008**.

Задача № 39. С. 340-350.

**Определение длины волны источника света с помощью билинзы и бипризмы.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 40. С. 351-355.

**Определение радиуса кривизны линзы методом колец Ньютона.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 41. С. 356-369.

**Анализ локализации интерференционных полос интерферометра Майкельсона с использованием Фурье-оптики и временной когерентности.** Analysis of the localization of Michelson interferometer fringes using Fourier optics and temporal coherence. Narayanamurthy C. S. *Eur. J. Phys.* 2009. 30. № 1. 147-155. [РЖ 10.07-18А.88].

**Интерференционный эксперимент квантовой механики.** Агафонов Г.В., Некрасов А.А. *Проблемы физики и физ. технологий: Сб. науч. тр.* М., 2010. 311-314. [РЖ 10.11-18А.105].

Рассмотрен интерференционный эксперимент для квантовых объектов на двух щелях. В классическом случае задачу с падением волны на экран со щелями следует рассматривать как единый волновой процесс до и после щелей. Возможное представление этого единого процесса в виде суммы независимых монохроматических волн интерпретируется как их интерференция. В квантовой теории дело осложняется тем, что единый процесс является еще и единым объектом. Поэтому каждую из монохроматических волн приходится трактовать не как реальную волну, а как возможность реализации электрона в таком состоянии (в виде такой волны). Такая трактовка составляет сущность квантовой теории и становится более наглядной для студентов.

## Глава 3

### ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

**Измерение длины световой волны на спектрометре с помощью дифракционной решетки.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 52. С. 154.

**Исследование дифракционных явлений в случае одной узкой щели.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 66а. С. 312-316.

**Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 66б. С. 316-317.

**Определение длины световой волны по величине зон Френеля.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 78. С. 492-495.

Источником света служит дуговой фонарь, свет от которого проходит через ирисовую диафрагму падает на зеркало, находящееся на расстоянии  $a = 5 \text{ м}$  от диафрагмы, и, отразившись от него, попадает на экран. После установки диафрагмы ее закрывают и затем медленно начинают снова раскрывать до появления первого черного пятна в центре дифракционной картины. Диаметр отверстия  $D$ , дающего черное пятно, измеряют микроскопом. Затем увеличивают диаметр отверстия диафрагмы до тех пор, пока в центре дифракционной картины не появится светлое пятно – это соответствует положению, когда открыта одна зона. При этом снова измеряют диаметр отверстия. Длина волны света вычисляется по формуле  $\lambda = D/4a$ .

**Изучение дифракционной решетки и определение длины световой волны.** Физ. практ.-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. **1951, 1953, 1955.** Задача 79. С. 495-499. **1962.** Задача 110. С. 657-662. **1968.** Задача 136. С. 493-497.

В задаче определяется постоянная дифракционной решетки и длина световой волны по непосредственному измерению угла дифракции на гониометре-спектрометре ГС-30. Кроме того, определяется угловая дисперсия решетки и дается понятие о ее разрешающей силе.

**Определение длины волны с помощью дифракционной решетки.** Работа 43. Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. **1960** . С. 169-171.

**Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. **1961.** Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–15. С. 82.

**Определение скорости и длины ультразвуковых волн в жидкостях оптическим методом.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А. Н. Куценко. Одесса. **1961.** Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–16. С. 84.

**Граммфонная пластинка в качестве дифракционной решетки.** Friessem Gunter. Schallplatte als Gitter. “Prax. Naturwiss.”, **1961**, A10, № 7, Physik, 193-195. [РЖ 1962 1 А94].

Для определения длины световой волны в качестве дифракционной решетки может быть использована граммфонная пластинка. Постоянная решетки определяется по уравнению  $a = (\cos\alpha) \cdot b/tT$ , где  $b$  – ширина пластинки,  $t$  – время проигрывания,  $T$  – число оборотов,  $\alpha$  – угол падения лучей на пластинку. Длина световой волны определяется обычным методом.

**Огибание зонной пластинки микроволнами.** Ostwald Ferdinand. Beugung von Mikrowellen an einer Zonenplatte. “Prax. Naturwiss.”, **1961**, A10, № 9, Physik, 248-252 [РЖ 1962 2 А94].

Описан метод демонстрации принципа Гюйгенса-Френеля при помощи пластинки, рассчитанной для микроволн длиной  $3 \text{ см}$ . Источником волн служит микроволновый генератор. Зонную пластинку изготавливают из стекла. Чтобы сделать соответствующие зоны пластинки “непрозрачными”, их заклеивают алюминиевой фольгой. Пластинку укрепляют между генератором и приемником

на оптической скамье и к выходу усилителя приемного устройства подключают стрелочный прибор, при помощи которого измеряют интенсивность излучения. Приведены методические указания к проведению опыта и кривые распределения интенсивности излучения вдоль оптической оси установки за зонной пластинкой.

**Дифракция на решетке.** Neumann Ernst Heinrich. Die beugung am Gitter. "Prax. Naturwiss", 1961, A 10, № 10, Physik, 272-273. [РЖ 1962 4 А62].

В качестве практической задачи по оптике рекомендуется наблюдение дифракционных спектров при помощи решеток с числом штрихов порядка 30 на 1 мм, изготовленных фотографическим способом в виде диапозитивов. Решетку и щель укрепляют на противоположных концах прямоугольного деревянного стержня на расстоянии 60–80 см друг от друга и рассматривают светлое небо или другую возможно более светлую поверхность. Таким образом, можно увидеть спектры 1-го и даже 2-го порядков и рассчитать длину световой волны для крайних лучей спектра с точностью до 50–100 Å.

**Наблюдение дифракционного спектра и определение длины световой волны при помощи дифракции от одной щели.** Марков Д. Наблюдаване дифракционни спектри и определяне дължината на светлинните вълни чрез дифракция от един процеп. "Матем. и физика" (Бълг.) 1961, 4, № 4, 56-59. [РЖ 1962 4 А63].

Даны указания к получению дифракционных спектров при помощи вырезанной в картоне щели и электролампы. Приведено объяснение наблюдаемых явлений.

**Изучение явлений дифракции в параллельных лучах на отдельной щели и на простейших дифракционных решетках.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 111. С. 662-670. 1968. Задача 137. С. 497-505.

**Зонная пластинка.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 113. С. 680-689. 1968. Задача 139. С. 516-524.

Изучается дифракция Френеля, используемая для объяснения епринципа действия зонных пластинок, В данной задаче применяется отражательная зонная пластинка – вогнутое сферическое зеркало, с поверхности которого снят кольцами по определенному закону зеркальный слой. В ходе работы определяются радиус кривизны зеркала, радиусы колец зонной пластинки и длина волны синей линии спектра ртути.

**Изучение роли дифракционных явлений в формировании оптического изображения.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 114. С. 689-701. 1968. Задача 140. С. 524-536.

**Дифракция света на ультразвуковых волнах.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 115. С. 701-716. 1968. Задача 141. С. 536-551.

Показатель преломления среды зависит от плотности вещества. Поэтому распространение ультразвуковой волны в жидкости приведет к распространению в ней синусоидальной неоднородности показателя преломления. По отношению к световым волнам ультразвуковые волны будут играть роль дифракционной решетки с периодом, равным длине волны ультразвука. По результатам измерения характеристик дифракции вычисляется скорость ультразвука в жидкости.

**Изучение прозрачной дифракционной решетки.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. Работа 15. С. 100-105.

**Изучение отражательной дифракционной решетки.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. Работа 16. С. 106-111.

**Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 34. С. 72-80.

**Определение скорости ультразвука в жидкости оптическим методом.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 28. С. 28-34.

**Изучение дифракции Фраунгофера от щели.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1962. Работа 14. С. 92-99.

**Изучение отражательной дифракционной решетки.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1962. Работа 16. С. 106-111. 1967. Работа 11. С. 71-77.

**Исследование дифракции света на ультразвуке.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1962. Работа 17. С. 112-117. 1967. Работа 12. С. 78-84.

**Изучение явлений дифракции света на круглых и прямоугольных отверстиях и дисках.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 12. С. 670-680. 1968. Задача 138. С. 505-515.

**Усовершенствования в опыте по дифракции света на ультразвуковых волнах.** Armstrong H.L. Improvements in an experiment on diffraction of light by sound. "Amer. J. Phys.", 1963, 31, № 2, 132. [РЖ 1964 1 А93].

Для наблюдения дифракции света на ультразвуковых волнах, создаваемых в жидкостях, обычно применяют вязкие жидкости, не проводящие электрический ток, например, ксилол или ацетон. Однако эти жидкости обладают некоторыми недостатками: пары их неприятны для обоняния и опасны для здоровья, тем более, что опыты проводятся в затемненном и, следовательно, плохо вентилируемом помещении. Кроме того, ацетон разъедает некоторые пластмассы. Автор предлагает пользоваться жидкостью Dow sjrning 200, содержащей кремний, безопасной как для людей, так и для оборудования (скорость ультразвука в этой жидкости при комнатной температуре и при частоте в несколько мегагерц составляет  $\sim 9 \cdot 10^4$  см/сек.). Кроме того, для получения пучка монохроматического света автор рекомендует пользоваться специальными светофильтрами, стекла которых покрыты тонкими фильтрующими пленками. См. РЖФиз, 1960, № 7, 15799).

**Усовершенствование в опыте по дифракции света на ультразвуковых волнах.** Morgan J.S. Improvements in an experiment on diffraction of light by sound. "Amer. J. Phys.", 1963, 31, № 9, 735. [РЖ 1964 3 А93].

Рекомендуется при наблюдении дифракции света на ультразвуковых волнах (РЖФиз, 1964, 1А93) вместо пьезокварца использовать кристалл титаната бария в форме диска толщиной 0,5 мм и диаметром 15 мм, посеребряного с двух сторон. Резонансная частота такого диска 5, 2 МГц. При такой частоте кристалл ведет себя как электрический контур с очень малым сопротивлением. Кристалл соединяют с вибратором и укрепляют на боковой стенке сосуда, установленного на столика спектрометра. Если включить вибратор и повернуть столик так, что направление света составит 90° с направлением звука, в поле зрения спектрометра появятся дифракционные полосы. В качестве источника света может быть использована натриевая лампа. Отмечается, что, т. к. падение напряжения между поверхностями кристалла очень мало, не нужно выбирать жидкости, не проводящие электрический ток. Автор проводил опыты с водой, толуолом, ксилолом и четыреххлористым углеродом.

**Лабораторная работа по френелевой дифракции.** Young Paul A. A student experiment in Fresnel diffraction. "Amer. J. Phys.", 1964, 32, № 5, 367-369. [РЖ 1964 12 А87].

Установка состоит из точечного источника света (ртутная лампа высокого давления с желтым светофильтром, прикрытая экраном с отверстием диаметром 1/3 мм), диафрагмы с отверстием радиуса  $a = 1$  мм и окуляра, расположенных на оптической скамье длиной 150 см. Расстояние от источника до диафрагмы  $R_0 = 60 \div 80$  см. При передвижении окуляра вдоль оптической скамьи освещенность поля зрения периодически меняется почти от нуля до максимума, в соответствии с числом зон Френеля ( $n$ ), попадающих во входной зрачок окуляра (максимум освещенности при  $n$  нечетном, минимум – при  $n$  четном). Снимается зависимость  $n$  от расстояния от диафрагмы до окуляра ( $b_n$ ). Расчет дает для плоской волны формулу  $nb_n = a^2/\lambda$ , а для сферической волны  $nb_n = (a^2/R_0\lambda) \cdot b_n + a^2/\lambda$ . Результаты опыта явно не согласуются с первой формулой и подтверждают справедливость второй.

**Две лабораторные работы повышенной трудности по оптике: когерентность и корреляция.** Bloor D. Coherence and correlation – two advanced experiments in optics. "Amer. J. Phys.", 1964, 32, № 12, 936-941. [РЖ 1965 5 А84].

I. Для наблюдения дифракции Фраунгофера в условиях неполной когерентности предлагается использовать в качестве "источника света" круглую щель, на которую через линзу фокусируется свет от ртутной лампы. Свет от щели далее расщепляется и интерферирует по обычной для дифракции Фраунгофера схеме. Интерференционная картина наиболее отчетлива, когда диаметр щели имеет величину порядка диаметра первого дифракционного кружка от линзы (дифракция Френеля). По мере увеличения диаметра щели когерентность источника нарушается и дифракционная картина становится менее отчетливой. II. Для получения коррелограммы двух функций  $f_1(x, y)$  и  $f_2(x, y)$  предлагается оптический метод. Прямоугольный ящик содержит три прямоугольных, равноотстоящих апертуры. Нижняя равномерно освещается светом, средняя имеет размеры вдвое меньше нижней, верхняя служит для размещения матового экрана или фотопластинки. В нижней и средней апертурах помещены пленки, прозрачность которых меняется как  $f_1$  и  $f_2$  соответственно. Тогда распределение интенсивности света на верхнем экране будет представлять собой функцию корреляции:

$$I(r, s) = \frac{1}{ab} \int_{-a/2}^{+a/2} \int_{-b/2}^{+b/2} f_1(x, y) f_2\left(\frac{x+r}{2}, \frac{y+s}{2}\right) dx dy,$$

где  $a, b$  – размеры нижней апертуры;  $r, s$  – координаты точки в плоскости верхней апертуры;  $x, y$  – координаты точки в плоскости нижней апертуры; начало координат находится в центре апертур.

**Определение упругих констант стекла по дифракционной картине, возникающей при прохождении света через возбужденную ультразвуком стеклянную призму.** Seus Erwin. Bestimmung der elastischen Konstanten eines glaskorpers aus Beugungsbildern eines hochfrequent schwingenden Glaskorpers. “Prax. Naturwiss”, 1965, A14, № 12, “Physik”, 321-325. [РЖ 1966 8 A65].

В стеклянной призме, возбужденной ультразвуком, возникают продольные и поперечные волны, длина которых зависит только от упругих констант материала. Если через возбужденное стекло пропустить тонкий луч света, то прямое изображение пучка будет окружено двумя дифракционными кольцами, радиусы которых обратно пропорциональны длинам волн продольных и поперечных колебаний. В работе приведены формулы, связывающие частоту ультразвука  $f$ , длину волны света  $\lambda$ , радиусы дифракционных колец  $r_l$  и  $r_t$  и плотность стекла  $\rho$  с упругими постоянными Ламе  $\mu$  и  $\delta$ . Из последних, по известным формулам теории упругости, вычисляют обычные характеристики упругих свойств материала: модуль упругости  $\epsilon$  и коэффициент Пуассона  $\sigma$ . В описываемом опыте использована призма из флинтгласа с  $\rho = 3,5 \text{ г/см}^3$ ,  $f = 3 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ ,  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ . Вычисленные из данных опыта значения  $\epsilon = 0,5 \text{ кг/см}$  и  $\sigma = 0,25$  совпадают с табличными данными.

**О новой возможности исследования свойств дифракционной решетки в физическом практикуме.** Паэ А. “Изв. высш. учебн. заведений.. Физика”, 1965, № 3, 159-160. [РЖ 1965 12 A119].

Рассматривается зависимость угла отклонения лучей, прошедших через дифракционную решетку, от угла падения, где обнаруживается минимум отклонения, и использование этого явления в общем практикуме по физике.

**Изучение дифракции Фраунгофера.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 10. С. 64-70.

**Измерение интенсивности максимумов от двойной щели и от решетки.** Hartling Otto. Intensitätsmessungen an Beugungsmaxima von Doppelspalt und Gitter. “Prax. Naturwiss”, 1968, A 17, № 3, Physik, 75-77. [РЖ 1968 8 A107].

Ртутную лампу мощностью 200 Вт, конденсор, щель, фильтр, линзу и двойную щель (или решетку) устанавливают на оптической скамье в обычном порядке и измеряют интенсивность максимумов кадмиевым фотосопротивлением, соединенным сеткой электронной лампы однокаскадного усилителя. К выходу усилителя подключают миллиамперметр. Приведены результаты измерений, из которых следует, что в дифракционной картине от двойной щели с увеличением порядка максимума интенсивность уменьшается, а в дифракционной картине от решетки некоторые максимумы почти полностью отсутствуют, интенсивность ряда максимумов высшего порядка больше, чем интенсивность соседних максимумов более низкого порядка.

**Учебный эксперимент по определению длины световой волны с использованием штангенциркуля.** Lichtwellenlängen-Bestimmung mittels einer Schieblehre. Li “Leybold-Welle”, 1968, 9, № 31, 21-23. [РЖ 1968 12A94].

Луч He-Ne-лазера направляют под небольшим углом на миллиметровую линейку штангенциркуля, которая играет роль дифракционной решетки. При этом на экране, на который проектируются отраженные лучи, отчетливо видны максимумы, обусловленные интерференцией когерентных волн. Приведена схема установки, рисунок, поясняющий ход лучей, и вывод расчетной формулы для определения длины волны.

**Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. С. 104-110.

**Эксперименты по лазерной дифракции на больших объектах.** Berko Stephan > Lee Yon G., Wright Fulton, Jr, Rosenfeld Jon. Undergraduate laser diffraction experiments using large objects. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 3, 348-352. [РЖ 1970 9 A100].

Описана простая оптическая система, в которой узкий луч лазера превращен в широкий, что позволяет наблюдать интерференцию и дифракцию от больших объектов. Студенты могут самостоятельно проводить качественные и количественные опыты с самыми разнообразными предметами, от собственных пальцев до щелей и круглых или квадратных апертур.

**Простой опыт по определению количественных характеристик дифракционной картины (дифракция Френеля).** Haskell Richard E. A simple experiment on Fresnel diffraction. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 8, 1939-1042. [РЖ 1971 1 A82].

Описан эксперимент с применением лазера (He-Ne, мощность 1 мВт) для количественного исследования распределения интенсивности света в дифракционной картине с использованием осциллографа. Излучение лазера проецируется на вращающийся диск с радиальной щелью шириной 0,5 мм. Скорость вращения диска может изменяться в пределах 120–3600 об/мин. Верхний предел скорости, несмотря на увеличение стабильности изображения, ограничен полосой пропускания регистрирующего фотодетектора. Изображение щели увеличивается при помощи оптической системы и проецируется на фотодетектор. Сигнал усиливается интегральным операционным усилителем и подается на пластины осциллографа. Одновременно с экспериментальным исследованием профиль распределения интенсивности в дифракционной картине был рассчитан теоретически, смоделирован на ВМ (IBM 1130). Смоделированный сигнал подавался на осциллограф. Приведенные осциллограммы показывают очень хорошее соответствие между экспериментальными и теоретически смоделированными осциллограммами.

**Дифракция, преобразования и пространственная фильтрация.** Curtis W., Van Sciver W.J. Diffraction, transforms and spatial filtering. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 11, 1684-1687. [РЖ 1973 3 A127].

Подробно обсуждается теория эксперимента по оптической пространственной фильтрации, проводимого в учебной оптической лаборатории университета. Экспериментальное оборудование включает в себя исследуемый объект, две сферические линзы, фильтр (непрозрачный экран, щель и т. д.), устанавливаемые на стандартной оптической скамье. Отмечается, что описанный эксперимент не только объясняет студентам явление дифракции Френеля и Фраунгофера, но иллюстрирует полезность представления описания изображений в оптике через ряд Фурье и интеграл Фурье. Отмечается также, что хорошее объяснение результатов эксперимента дают приближения, применяемые в геометрической оптике.

**Восстановление дифракционных картин по замкнутой телевизионной системе.** Wild R.L., Morandi R.A. Reconstruction of diffraction patterns on closed circuit TV. "Amer. J. Phys.", **1972**, 40, № 11, 1693-1694. [РЖ 1973 3 A128].

Описан эксперимент по восстановлению источника по его дифракционной картине с использованием монитора. В качестве источника использовалась дуговая флуоресцентная лампа. Дифракционная картина получалась с помощью обычной дифракционной решетки; восстановление изображения источника формировалось с помощью второй дифракционной решетки, устанавливаемой перед объективом телевизионной камеры, на экране из картона. Все оборудование размещалось на обычном лабораторном столе. Описанный эксперимент является продолжением исследований по применению замкнутой телевизионной системы в учебных целях (наблюдение броуновского движения подпыленных частиц через микроскоп, контролирование капелек масла в аппарате Милликена) и может демонстрироваться в аудитории на 300 человек.

**Эксперименты по наблюдению взаимодействия света со звуком в лаборатории старших курсов.** Pierce D.T., Byer R.L. Experiments on the interaction of light and sound for the advanced laboratory. "Amer. J. Phys.", **1973**, 41, № 3, 314-325. [РЖ 1973 8 A85].

Описаны опыты по наблюдению дифракции света на бегущих звуковых волнах в воде, для проведения которых используются He-Ne лазер, источник звука в диапазоне 5–45 МГц, кварцевый преобразователь и кювета с водой. Этого достаточно для наблюдения дифрагированных световых пятен на экране. Для количественных измерений падающего и дифрагированного света применяются кремниевые детекторы. С их помощью, используя также вращающееся зеркало, можно наблюдать несколько дифракционных порядков на экране осциллоскопа. Изложена теория Рамана-Ната и теория Брэгга дифракции света на звуке и обсуждаются применения этих явлений.

**Нестандартные эксперименты с дифракционными решетками.** Darby M.I., Morton Nn. Extending the scope of diffraction experiments. "Phys. Educ.", **1974**, 9, 3 5, 361-363. [РЖ 1974 1 A101].

Рассмотрены две неэквидистантные дифракционные решетки. Одна из них представляет результат наложения двух эквидистантных решеток, сдвинутых на некоторое расстояние друг относительно друга. Приведенные расчеты показывают, что для определения интенсивности максимумов дифракционной картины от такой решетки необходимо ввести множитель структуры, аналогичный структурному множителю, вводимому при рассмотрении дифракции рентгеновских лучей на кристаллах, в которых не все атомы имеют идентичное окружение. Вторая решетка имеет переменный период, равные некоторой постоянной величине, умноженной на квадрат номера щели. Показано, что для такой решетки невозможно аналитически рассмотреть результат дифракции и следует обратиться к экспериментальному изучению. Описан простой фотографический метод изготовления рассмотренных неэквидистантных дифракционных решеток и результаты экспериментов с ними.

**Эксперимент по дифракции Фраунгофера на треугольном отверстии.** Moloney Michael J., Meeks Wilkinson. Experiment in Fraunhofer diffraction using a triangular aperture. "Amer. J. Phys.", **1974**, 12, № 8, 696-698. [РЖ 1975 1A102].

В лаборатории вводного практикума предлагается использовать эксперимент по дифракции Фраунгофера на треугольном отверстии, допускающий довольно простой количественный расчет. В качестве источника света используется лазер, треугольное отверстие размером 1–2 мм образовано безопасными лезвиями. Приведен расчет, позволяющий определить минимумы дифракционной картины, которая в этом случае имеет вид шестилучевой звезды. Студенту предлагается рассчитать положение I и II минимума, лежащих на биссектрисе между двумя соседними лучами, из соотношения  $L\sin\theta/2=n\lambda$ . Определяется также положение первого максимума. В первом приближении считается, что он лежит посередине между минимумами. При этом экспериментальное значение на 3–8% меньше рассчитанного. Если учесть, что более точно положение максимума определяется из соотношения  $\sin\theta=2,86\lambda/L$ , то согласие эксперимента и теории улучшается.

**Дифракция света на ультразвуковых волнах.** Зверев В.А., Иванов П.Б. Физический практикум. Учебное пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 29-37.

**Применение двухкоординатных самописцев при исследовании дифракционных картин лазерного света.** Linnemann Paul. Der Einsatz des XY-Schreibers bei der Untersuchung der Beugungsbilder des Laserlichtes. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1975, 24, № 9, 229-235. [РЖ 1976 2 А149].

Предложен метод записи графиков распределения интенсивности света, дифрагированного разными объектами, с использованием фотосопротивления с узкой щелью в качестве датчика интенсивности света и потенциометра в качестве датчика положения. Приведены записи дифракции на щели (ширина 0,25 мм) и на проволоке такого же диаметра.

**Простой опыт по определению длины световой волны.** Banik Ivan, Banik Rastislav. Jednoduchy sposob merania vlnvej dizky svetla. "Mat. a fyz. sk.", 1977, 7, № 8, 621-623. [РЖ 1978 1А60].

Для проведения опыта необходимы полупрозрачная дифракционная решетка с  $10^2$  штрихами и экран из плотной белой бумаги. На экране нанесены вертикальная осевая линия и вспомогательные поперечные линии на расстоянии порядка 2–3 см. При рассмотрении экрана через дифракционную решетку (в положении, когда ось экрана параллельна линиям дифракционной решетки) видна интерференционная картина осевой линии, которая совместно с поперечными линиями экрана образует прямоугольную сетку. Изменяя расстояние между экраном и решеткой, можно добиться положения, при котором ячейки сетки приобретут форму квадрата. Из измерений данного расстояния и стороны квадрата, равной расстоянию между интерференционными полосами, определяется длина волны излучения.

**Электронный аналог дифракционной решетки.** Macleod A. M. An electronic analog of the diffraction grating. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 11, 1158-1162. [РЖ 1979 7 А94].

Описана электронная схема, моделирующая принцип работы оптической дифракционной решетки или кристаллической структуры, на которых происходит брэгговское отражение рентгеновских лучей и электронов. Схема позволяет моделировать работу решетки, состоящей из 16 щелей, каждая из которых может быть закрыта или открыта, и облучаемой светом двух волн. Результирующее

распределение интенсивности выводится на экран осциллографа. Приведены примеры использования прибора для демонстрации существования 1 и 2 порядков отражений и ряда других явлений.

**Дифракция в дальней зоне (дифракция Фраунгофера).** Общий физ. практикум. Оптика. Под ред. проф. А.Н. Матвеева и доц. Д.Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. **1980**. Задача 402. с. 62-90.

В состав экспериментальной установки входит источник излучения, набор дифракционных препятствий, измерительная система и дополнительные приспособления. В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер ЛГ-52/2, дающий узкий, хорошо коллимированный пучок света с длиной волны 6328 Å. При наблюдении дифракции Фраунгофера на одной щели изучается зависимость интенсивности дифракционной картины от угла дифракции для щелей разной ширины. При наблюдении дифракции на проволоке проверяется принцип Бабине. Наблюдается также дифракция на нескольких щелях и на двумерной упорядоченной структуре – мелкой проволочной сетке.

**Дифракция в ближней зоне (дифракция Френеля).** Общий физ. практикум. Оптика. Под ред. проф. А.Н. Матвеева и доц. Д.Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. **1980**. Задача 403. с. 91-117.

В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер ЛГ-52/2. В плоскости объекта дифракции с помощью линзы формируется расходящаяся сферическая волна. Для облегчения наблюдений используется другая линза, увеличивающая линейные размеры наблюдаемой дифракционной картины. Фотоэлектрическая часть системы состоит из фотоэлектронного умножителя ФЗУ-51 и регистрирующего прибора. В ходе выполнения работы наблюдается дифракция на круглом отверстии, на краю экрана, на щели – при этом изучается зависимость интенсивности в центре дифракционной картины от ширины щели, а также распределение интенсивности во всей дифракционной картине.

**Изучение дифракции света в лабораторном практикуме по физике на основе количественных измерений освещенности.** Волков В.Ф., Стариков А. . “Сб. науч.-метод. ст. по физ.” (Москва), **1982**, № 9, 49-52. [РЖ 1983 8 А129].

Излагается методика измерения распределения интенсивности при дифракции и интерференции света, которая может быть использована в лабораторном практикуме.

**Изучение дифракции света.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.12. С. 462-471.

**Изучение дифракционной решетки с помощью гониометра.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.13. С. 471-477.

**Дифракция света на ультразвуковых волнах в жидкости.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.14. С. 477-485.

**Изучение дифракции света.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 64. С. 370-378. **1973**. Работа 65. С. 381-388. **1983**. Работа 5.12. С. 462-471.

**Изучение дифракционной решетки с помощью гониометра.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. Работа 58. С. 378-385. 1973. Работа 66. С. 388-395. 1983. Работа 5.13. С. 471-477.

**Дифракция света на ультразвуковых волнах в жидкости. Наблюдение акустической решетки методом темного поля.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. Работа 66. С. 385-393. 1973. Работа 67. С. 395-402. 1983. Работа 5.14. С. 477-485.

**Проверка теории относительности в опытах по дифракции электронов.** A test of relativity by electron diffraction. Brown L. M. "Phys. Educ.", 1983, 18, № 4, 174-176. [РЖ 1984 2 A117].

Студентам предлагается по ряду дифракционных картин, полученных на электронном микроскопе при разных энергиях электронов, проверить соотношение Эйнштейна, связывающее импульс электрона и его кинетическую энергию. Дифракционные картины были получены при пропускании электронного пучка сквозь тонкую поликристаллическую золотую фольгу. Измеряя соотношения между диаметрами дифракционных колец, можно установить зависимость энергии электронов от длины волны, которая, в свою очередь, связана с импульсом электронов соотношением Де-Бройля.

**Постановка лабораторной работы по акустооптическому отклонению светового луча.** Кухарский А.А. "Сб. науч.-метод. ст. по физ." (Москва), 1984, № 11, 100-103. [РЖ 1984 12 A128].

В лабораторной работе изучается отклонение лазерного пучка света после прохождения дифракционной решетки, образуемой в кристалле бегущей ультразвуковой волной. В качестве звукопровода акустооптического дефлектора света использован кристалл молибдата свинца. С поверхностью звукопровода соединен ультразвуковой преобразователь. Другой конец кристалла скошен для создания режима бегущих волн. Приведена блок-схема лабораторной установки, состоящей из акустооптического дефлектора, ВЧ-генератора, He-Ne-лазера ЛГ-36 и экрана. Описана методика выполнения работы по определению скорости звука в кристалле молибдата свинца и работы по определению разрешающей способности акустооптического дефлектора.

**Дифракция Фраунгофера на малых частицах.** Fraunhofer diffraction patterns of microparticles. Fischbach F.A., Bond J.S. "Amer. J. Phys.", 1984, 52, №6, 519-521. [РЖ 1985 1 A187].

Описан учебный эксперимент по изучению дифракции Фраунгофера на малых непрозрачных частицах с размерами в несколько десятков *мкм*. Приведены формулы для распределения интенсивности в дифракционной картине от круглого непрозрачного препятствия; дана таблица относительных интенсивностей максимумов различного порядка. Рекомендована общая методика расчета дифракционной картины от произвольного числа круглых непрозрачных дисков. В эксперименте использован луч He-Ne-лазера мощностью 1 *мВт* с диаметром сечения пучка 1 *мм*. В качестве непрозрачных частиц используются частицы ликоподия, размещаемые на стеклянной полированной пластине. Дифракционная картина наблюдается через оптический микроскоп. Приведены примеры дифракционных картин от одной частицы диаметром 33 *мкм*, а также от двух примыкающих друг к другу таких же частиц. В последнем случае на картину концентрических колец максимумов и минимумов накладывается система дифракционных полос, направ-

ленных перпендикулярно линии, соединяющей центры частиц. Для расчетов дифракционных картин в случае нескольких примыкающих частиц рекомендуется использовать специальную вычислительную программу. Кроме дифракционных экспериментов, на установке можно исследовать процессы рассеяния лазерного луча на системе микрочастиц различных размеров; по результатам таких измерений выявляется распределение частиц по размерам.

**Измерение расстояния между штрихами дифракционной решетки.** Measurement of the grating element of an optical transmission grating. Gupta P.D. "Phys. Teach.", 1984, 22, № 9, 583. [РЖ 1985 7 A100].

Лабораторную работу по изучению дифракции света предлагается проводить таким образом, чтобы в результате измерений определялась постоянная решетки  $d$ . Величина  $d$  может быть найдена с различной точностью тремя способами: путем прямого наблюдения штрихов решетки в оптическом микроскопе; путем сравнения фотографий, выполненных через микроскоп, мерных делений окуляра и штрихов решетки при одинаковом увеличении (наиболее точный способ); на основе измерения углов, под которыми видны максимумы и минимумы дифракционной картины при известной длине волны источника. Сравнение трех полученных значений  $d$  позволяет убедиться в волновой природе света и приобрести навыки правильной записи результатов с учетом погрешностей измерений.

**Практический подход к изучению когерентности.** Coherence— a practical approach. Mooney Robert J. "Phys. Educ.", 1985, 20, № 1, 29-32. [РЖ 1985 7 A99].

Рекомендуется методика постановки лабораторной работы для студентов по качественному изучению влияния когерентности источников на характер дифракционных явлений. Лабораторная установка включает в себя: источник — лампу с вольфрамовой нитью мощностью 100 Вт, четыре собирающих линзы, точечную диафрагму с диаметром отверстия 10 или 100 мкм, световой фильтр с известной полосой пропускания, ирисовую диафрагму, объект с решеточным изображением на фотопленке и экран для наблюдения дифракционной картины. Свет от источника фокусируется на точечной диафрагме, помещенной в фокусе следующей линзы; полученный параллельный пучок, ограниченный ирисовой диафрагмой, направляется затем на объект и после прохождения системы из двух собирающих линз дает на экране дифракционное изображение. Приведены фотографии изображений, получаемых на экране при различных степенях пространственной когерентности (различных размерах отверстия точечной диафрагмы) и различных степенях временной когерентности, определяемой полосой пропускания фильтра.

**Дырочные решетки для оптических экспериментов.** Hole gratings for optics experiments. Wiggings T.A. "Amer. J. Phys.", 1985, 53, 3 3, 2227-2229. [РЖ 1986 1 A140].

Дырочные решетки — это регулярно расположенные круглые отверстия в непрозрачном экране. Обсуждается их использование в лаборатории старших курсов. Показано влияние размера отверстий, промежутков между ними и способа освещения решетки на дифракционную картину. Предложены эксперименты, иллюстрирующие эффекты интерференции, дифракции и пространственной фильтрации света.

**Комментарии к статье "Простой эксперимент, иллюстрирующий свойства волн в преломляющей среде".** Comment on "Simple experiment illustration the properties of waves in a refractive medium". Yuste M., Carreras C. "Amer. J. Phys.", 1986, 54, № 7, 652-653. [РЖ 1987 6 A126].

В цитируемой работе Бодек ("Am. J. Phys.", 1984, 52, 77) предложен эксперимент, иллюстрирующий свойства света в преломляющей среде. Когда дифракционная решетка, освещаемая лазерным лучом, погружена в воду, расстояние между дифракционными максимумами меньше, чем в воздухе. Это объясняется тем, что при взаимодействии со средой частота света не меняется, но меняется длина волны. Экран необходимо помещать внутри аквариума. Вместо прямоугольного аквариума использован полый стеклянный цилиндр. Решетка располагается вдоль оси цилиндра, и тогда дифрагированные лучи падают на стенки цилиндра нормально, сохраняя изучаемый эффект. Смещение максимумов увеличивается при удалении экрана от решетки. Кроме того, замена решетки на тонкую медную проволоку позволяет исследовать и другие жидкости, в том числе химически активные, неприемлемые в экспериментах с решеткой.

**Определение длин световых волн с помощью дифракционной решетки.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б. П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 15. С. 58.

**Определение длин световых волн с помощью отражательной дифракционной решетки.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б.П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 20. С. 78.

**Применение видеокамеры и ЗРС-совместимого процессора в экспериментах с когерентными свойствами света.** An application of video-camera and PC-oriented image processor to an experiment on the coherent property of light. Wang J.R., Huang I.C., Fang T. a. o. Amer. J. Phys. 1990. 58, № 4. 405-407. [РЖ 1990 11 A168].

Описана лабораторная экспериментальная автоматизированная установка, позволяющая изучать явление дифракции на двух или нескольких щелях. В качестве источника излучения используется ртутная лампа высокого давления. Непосредственная запись структуры распределения интенсивности на экране наблюдения в буферную память исключает из эксперимента трудоемкий процесс фоторегистрации, фотообработки и сенситометрирования фотопластинок. Предусмотрено теоретическое моделирование распределения интенсивности на экране и сравнение его с результатами проведенного эксперимента.

**Компакт-диск как дифракционная решетка.** The compact disk as a diffraction grating. Kettler J.E. Amer. J. Phys. 1991. 59, № 4. С. 367-368. [РЖ 1992 9 A99].

Описано применение компакт-диска в качестве дифракционной решетки в экспериментах и демонстрационных опытах по оптике. Расстояние между соседними дорожками на диске  $16 \cdot 10^{-7}$  м, ширина дорожек  $5 \cdot 10^{-7}$  м, глубина канавки около  $2 \cdot 10^{-7}$  м. При отражении лазерного пучка с длиной волны  $\lambda = 6328$  Å (He-Ne-лазер) отчетливо наблюдаются нулевой и первый порядки дифракционной каротины. При уменьшении расстояния между экраном и диском возможно наблюдение более высоких порядков. Приведены формулы для определения периода дифракционной решетки и расстояния до экрана либо для определения длины волны лазерного излучения.

**Измерение длины световой волны с помощью дифракционной решетки и определение характеристик дифракционной решетки.** Физ. практ.-м. Томск. 1993. Лаб. работа 3-11. С. 70-73.

**Моделирование щели с переменной шириной для эксперимента Юнга на двух щелях.** A spreadsheet simulation for a Young's double slits experiment. Field R. Phys. Educ, 1995. 30, № 4. С. 230-235. [РЖ 1996 3 A97].

**Как измерить длину световой волны с помощью... логарифмической линейки.** Амстиславский Я. *Квант*. 1996. № 1. 47-48. [РЖ 1996 9 А74].

Рассказано об устройстве прибора по наблюдению дифракционных колец, создаваемых стеклянной пластинкой, запыленной ликоподием. Логарифмическая линейка применяется для измерения радиусов колец.

**Измерение показателя преломления покровного стекла по канавчатому спектру.** Амстиславский Я.Е. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1996. № 6. 33-39. [РЖ 1997 10 А162].

Рассмотрен дифракционный опыт, в ходе которого тень от края пластинки покровного стекла проектируется на щель однопризменного спектрометра. Выясняется природа появления темных полос канавчатого спектра и условия достижения высокой контрастности интерференционной картины. Обсуждается методика использования явления в общефизическом лабораторном практикуме по оптике.

**Дифракция и интерференция в видимом свете.** Diffraction et interferences de la pertinence du modele ondulatoire. Peries J. *Bull. Union phys.* 1996. 90. № 789, Cah. № 2. 109-117. [РЖ 1997 10 А167].

Описаны домашние задания и лабораторные работы для качественного и количественного изучения интерференции и дифракции излучения лазера и белого света от одной и двух щелей. Рекомендуются воспроизвести опыт Юнга, использовать компьютер для графического представления результатов измерений. Приведены программы и численные примеры.

**Простой опыт по дифракции света на ультразвуковой волне.** Леонов Ю.В., Леонова А.В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 1997. № 3. 44-45. [РЖ 1997 12 А164].

Описан демонстрационный эксперимент по дифракции света на ультразвуковой волне, который может быть использован в физическом практикуме для определения скорости звука в воде.

**Простой вариант измерения длины световой волны с использованием запыленной пластинки.** Бутырский Г.А., Злобин П.В. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 1998. № 4. 29-30. [РЖ 1999 1 А128].

Рассмотрен еще один вариант наблюдения дифракции на ликоподии и его применение для определения длины световых волн. С этой целью предлагается использовать стандартный прибор для измерения длины световой волны с помощью дифракционной решетки, вместо которой установлена стеклянная пластина с распыленным по ее поверхности ликоподием.

**Простая установка для вывода дифракционной картины на экран осциллографа.** Simple apparatus to display diffraction patterns on an oscilloscope. Ganci S. *Amer. J. Phys.* 1999. 67. № 4. 357-358. [РЖ 00.05-18А.160].

**Дифракция видимого света на трехмерных периодических структурах.** Иванова М.С. *Учеб. физ.* 2000. № 1. 56-61, 80. [РЖ 01.01-18А.144].

В настоящее время растет интерес ученых к системам типа фотонных кристаллов – периодических структур, имеющих фотонную запрещенную зону в той или иной области спектра электромагнитных волн. В качестве твердотельных фотонных кристаллов рассматриваются синтетические опалы, оптические свойства которых в основном определяются интерференционными эффектами, сопровождающими дифракцию света на трехмерной периодической решетке. Для структурного анализа

подобных систем с параметрами решетки в субмикронной области используется видимый свет, являющийся аналогом рентгеновских волн для обычных кристаллов. На основе этих исследований в учебной лаборатории реализована возможность экспериментального наблюдения дифракции видимого света на трехмерной периодической синтетического опала с последующим оптико-структурным анализом минерала.

**К изучению дифракции света на круглом отверстии.** Семенов И.Т. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2000.** № 10. 92-94, 141. [РЖ 01.02-18А.143].

В демонстрационном опыте по наблюдению дифракции света на круглом отверстии предлагается использовать видеокамеру и телевизор, а в лабораторной работе – малогабаритный универсальный монохроматор. Рассматривается содержание лабораторных опытов.

**Лабораторная работа по углубленному исследованию дифракции Фраунгофера на щели.** Н.Я. Молотков, В.Б. Дивак, О.В. Ломакина. *ФОВ.* **2002.** Т. 8. № 1, с. 57-64. [РЖ 03.01-18А.172].

Лабораторная работа общефизического практикума по волновой оптике поставлена в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн. Экспериментально исследуется дифракция Фраунгофера на щели, а также на щели, половина площади которой перекрывается пластинкой в полволны. Наблюдаемые результаты эксперимента согласуются с теорией дифракции.

**Эксперимент по измерению скорости звука в жидкости с помощью дифракции света.** Undergraduate experiment to measure the speed of sound in liquid by diffraction of light. Luna D.A., Real M. A., Duran D.V. *Amer. J. Phys.* **2002.** 70. № 8. 874-875. [РЖ 03.06-18А.154].

**Изучение дифракционной решетки помощью He-Ne лазера и CD-ROM.** Exploring the diffraction grating using a He-Ne laser and a Cd-ROM. Tellinghuisen Joel, Salter Carl. *J. Chem. Educ.* **2002.** 79. № 6. 703-704. [РЖ 03.08-18А.168].

Основы ультрафиолетовой спектроскопии рассмотрены на примере дифракции лазерного луча ( $\lambda=632,8$  нм) с использованием дисков CD-ROM в качестве дисперсионных элементов. Приведены примеры расчетов углов отклонения и расстояния  $d$ , а также возможные ошибки ( $<1,2\%$ ). Опыт занимает менее 10 минут, расчеты около 15–25 минут.

**Дифракция Фраунгофера.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. **2003.** Задача 4. С. 72-93.

Экспериментально изучается явление дифракции на одной и нескольких щелях, а также на проволоке. Плоская монохроматическая световая волна (луч лазера) попадает на исследуемый объект. Получающаяся на экране дифракционная картина регистрируется с помощью автоматизированной системы, включающей в себя компьютер. Последующая обработка результатов измерений позволяет определить параметры объекта дифракции.

**Дифракция Френеля.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. **2003.** Задача 5. С. 94-132.

Дифракция наблюдается на различных объектах – круглом отверстии, щели переменного размера, проволоке – при этом определяются параметры объекта и излучения. Объект освещается расходящимся монохроматическим пучком света, полученным в результате прохождения излучения полупроводникового лазера через рас-

сеивающую линзу. Дифракционная картина наблюдается на экране. С помощью фотодатчика исследуется распределение интенсивности излучения в плоскости экрана.

**Прибор для исследования распределения интенсивности света в дифракции Фраунгофера.** Жиренко Н.Г., Степанов А.А. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2003.** № 18. 31-32, 91. [РЖ 04.02-18А.167].

Применяемые в учебном процессе методы изучения распределения интенсивности света в дифракции Фраунгофера, основанные на визуальном сравнении яркости объекта изучения с яркостью отградуированного источника света, имеют очень большие погрешности, связанные, в основном, субъективным восприятием сравниваемых яркостей изучаемых объектов. А применение такого метода вызывает повышенное утомление зрения у обучающихся. В работе описывается прибор для лабораторных работ по оптике, обеспечивающий исследование распределения интенсивности света в дифракции Фраунгофера. В приборе для измерения интенсивности света используется фотодиод и усилитель, построенный по принципу модуляция–демодуляция. Представлены результаты апробации прибора.

**Принцип Бабиня в теории дифракции: экспериментальные исследования.** Митин И.В. *Физ. образ. в вузах.* **2004.** 10. № 1. 29-38. [РЖ 04.09-18А.181].

Сообщается о неожиданных дифракционных явлениях, наблюдаемых в экспериментах, объяснение которых может быть дано из принципа Бабиня. Этот принцип позволяет по виду хорошо известных дифракционных картин от одних объектов предугадывать вид дифракционной картины от других (дополнительных) объектов и связать между собой дифракционные картины, наблюдаемые при освещении этих, так называемых, дополнительных объектов (или экранов), “у которых отверстия одного точно совпадают с непрозрачными частями другого и наоборот”. Кратко излагается теория принципа Бабиня, дается описание экспериментов по наблюдению дифракции Фраунгофера и Френеля на автоматизированных учебных установках, созданных на физическом факультете МГУ. Управление работой установок осуществляется от компьютера. На этих установках все студенты второго курса выполняют задачи общего физического практикума по дифракции света. В качестве источника света используются He–Ne ( $\lambda=0.6328$  мкм) или полупроводниковый ( $\lambda=0,65-0,70$  мкм) лазеры. Компьютерная программа, созданная для управления установкой, позволяет также промоделировать дифракционные явления путем непосредственного численного расчета интегралов Френеля.

**Микроволновая дифракция Брэгга на модельной решетке кристалла для лабораторных работ студентов старшекурсников.** Microwave Bragg diffraction in a model crystal lattice for the undergraduate laboratory. Cornick M.T., Field S.B. *Amer. J. Phys.* **2004.** 72. № 2. 154-158. [РЖ 05.11-18А.135].

**Дифракционный метод измерения показателей преломления жидкостей.** Diffraction method measures refractive indices of liquids. Singh S. *Phys. Educ.* **2004.** 39. № 3. 235. [РЖ 06.07-18А.146].

В установке, предлагаемой для измерения показателей преломления жидкостей, используется прямоугольная стеклянная камера, дифракционная решетка и лазерное излучение низкой мощности, направленное перпендикулярно на решетку.

**Применение дифракции света для исследования структур биологических объектов.** Григал П. *Физ. образ. в вузах.* **2005.** 11. № 2. 116-123, 128. [РЖ 06.04-18А.156].

Дано описание простой методики определения размеров регулярных или нитевидных биологических структур в диапазоне 10–100 мкм. Методика доступна как студентам, так и школьникам, позволяет сравнительно быстро получить большие объемы статистических данных. Из специального оборудования требуется только лазерная указка с известной длиной волны.

**Изучение дифракции монохроматического света на дифракционной решетке.** Сидорова Ю.А., Пенина Л.Ю., Лукин Н.А. *Науч. вестн. Воронежск. Гос. архит.-строи. ун-та. Сер Студент и наука.* **2005.** № 1. 12-14. [РЖ 07.05-18А.144].

Дано описание лабораторной работы, целью которой является изучение дифракции монохроматического света на дифракционной решетке. Использование лазера в качестве источника монохроматического излучения (длина волны  $\lambda=650$  нм), позволило с хорошим разрешением наблюдать дифракционные максимумы вплоть до пятого порядка. Простота и наглядность созданной установки позволяет использовать ее для демонстрации явления дифракции на лекционных занятиях.

**Простой эксперимент по дифракции света с интерференцией волн на поверхности жидкости.** A simple experiment on diffraction of light by interfering liquid surface waves. Barik T. Kr., Roy A., Kar S. *Amer. J. Phys.* **2005.** 73. № 8. 725-729. [РЖ 07.09-18А.149].

**Дифракция пересматривается: положение дифракционных пятен при вращении прозрачной дифракционной решетки.** Diffraction revisited: Position of diffraction spots upon rotation of a transmission grating. Vollmer M. *phys. Educ.* **2005.** 40. 3 6. 562-565. [РЖ 07.11-18А.121].

**Обнаружение угла вспышки: простой эксперимент по визуализации дифракционных эффектов с помощью микроскопических и макроскопических решеток.** Revealing the blaze angle: A simple experiment for visualizing diffraction effects using microscopic and macroscopic gratings. Vandervoort K.J., Adams S.L., Hyder A.M. *Amer. J. Phys.* **2006.** 74. № 7. 649-651. [РЖ 08.04-18А.129].

**Дифракция ионов.** Ларин В.Л., Назаров П.А., Сотириади Г.Н. *Пробл. учеб. физ. эксперим. Мат. 11 Всеросс. науч.=практ. конф. "Учеб. физ. эксперим. Акт. Пробл. Современ. решения", Москва, 2006. Сб. науч. тр. Вып. 23. М., 2006.* 61. [РЖ 09.03-18А.99].

Ранее в литературе предлагалось описание установки и методик для изучения дифракции ионов на различных экранах с использованием электролитической ванны с раствором медного купороса, в которую опущены два электрода – медный анод и угольный катод. Перед катодом установлен диэлектрический экран с круглым отверстием. Определяя дифракцию как дифракцию Френеля по числу максимумов (или минимумов), находят число зон Френеля в отверстии. Их аналитических выражений легко подсчитать длину волны де Бройля для ионов меди и оценить постоянную Планка. Авторы используют экран с несколькими отверстиями разного диаметра. Это позволяет из сравнения дифракционных картин от разных отверстий рассчитывать скорость ионов с хорошей (~5–10%) экспериментальной ошибкой. Кроме этого авторы работают и с юнговским экраном (две щели в диэлектрической пластине), где все расчеты проводятся через параметры интерференционных картин. Эксперименты могут быть использованы в виде лекционных демонстраций и в лабораторном практикуме.

**Дифракция света на мнимой щели.** П.М. Меднис. *ФОВ.* **2007.** Т. 13, № 2, с. 104.

Рассматривается дифракция света на мнимой прямой щели, образованной экраном и перпендикулярным ему зеркалом. Рассчитаны интенсивности дифракционных полос для предельных случаев дифракции Фраунгофера и Френеля. Обсуждаются возможности наблюдения дифракции в условиях лабораторного эксперимента.

**Дифракция пучка на решетке Ронки: сравнение двух методов измерения размера гауссова пятна.** Diffraction of beams by Ronchi rulings: comparison between two methods for gaussian spot size measurements. Ortiz-Acebedo A., Mata-Mendez O., Chavez-Rivas F., Hernandez-Cruz D., Lessard Roger A. *Rev. tex. Fis.* **2007**. 53. № 2. 133-138. [РЖ 10.02-18А.112].

**Опыт Лауэ – возможности компьютерного моделирования.** А.Г. Хунджуа, Е.А. Бровкина, М. М. Мельников. *ФОВ*. **2008**. Т. 14, № 3, с. 133.

Излагаются принципы компьютерного моделирования опыта Лауэ. Представлены возможности программы, которая может быть использована в общем и специальном физическом практикуме.

**Кривизна волнового фронта и дифракция света.** Икрамов А.М. *Физика наукоемких технологий. Учебное пособие. Сб. науч. ст.* Вып. 2. Иркутск. **2008**. 204-206. [РЖ 09.07-18А.102].

Проведены экспериментальные исследования влияния величины радиуса кривизны волнового фронта световой волны в плоскости препятствия на вид дифракции от препятствий различной формы. Показано, что изменение кривизны волнового фронта не приводит к каким-либо заметным сдвигам в расположении дифракционных порядков. Это свидетельство того, что при явлении дифракции величина радиуса кривизны волнового фронта освещающей волны в плоскости препятствия, вопреки утверждениям теории дифракции Френеля, не влияет на вид дифракционной картины, по крайней мере, в тех областях, где происходит “чистая” дифракция без участия прямопроходящей волны.

**Датчик волнового фронта с френелевскими зонными пластинками для лабораторных работ студентов.** Wavefront sensor with Fresnel zone plates for use in an undergraduate laboratory. Migdal P., Fita P., Radzewicz C., Mazurek L. *Amer. J. Phys.* **2008**. 76. № 3. 224-235. [РЖ 09.ëë-ë8А.106].

**Изучение дифракции Френеля.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. **2008**. Задача № 43. С. 375-379.

**Изучение дифракции Фраунгофера на щели при помощи газового лазера.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. **2008**. Задача № 44. С. 380-390.

**Изучение дифракции Фраунгофера на одной щели и на дифракционных решетках.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. **2008**. Задача № 45. С. 391-394.

**Изучение дифракционной решетки.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. **2008**. Задача № 46. С. 395-399.

**Измерение ширины щели и разложения в эксперименте с дифракцией.** Measuring slit width and separation in a diffraction experiment. Gan K.K., Law A.T. *Eur. J. Phys.* **2009**. 30. № 6. 1271-1276. [РЖ 10.10-18А.102].

## Глава 4

### ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

**Изучение явлений поляризации света на простом приборе Норренберга.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 53. С. 156.

**Изучение явлений вращательной поляризации на сахариметре Солейля.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 54. С. 161.

**Определение процентного содержания сахара в растворе сахариметром Лорана.** Физический практикум. А. П. Соколов. М. 1909. Р. 55. С. 164.

**Исследование явлений поляризации света в параллельных лучах при помощи простого поляризационного прибора.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 68 а. С. 327-328.

**Исследование явлений хроматической поляризации света в параллельных лучах.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 68b. С. 329-334.

**Исследование явлений хроматической поляризации света в сходящихся лучах.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 68с. С. 334-340.

**Исследование вращательной поляризации света.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 69а. С. 341-343.

**Определение концентрации сахара в растворе при помощи полутеневого поляриметра.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 69b. С. 343-347.

**Изучение хроматической поляризации света в параллельных лучах.** Задача 2. С. 196.

**Изучение хроматической поляризации света в сходящихся лучах.** Задача 3. С. 203.

**Изучение явлений эллиптической поляризации на приборе Жамена.** Задача 13. С. 250.

**Исследование явлений поляризации света в параллельных лучах при помощи простого поляризационного прибора.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-. 1949. Работа 68а. С. 327-328.

**Исследование вращательной поляризации света.** Физ. практи. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 69а. С. 341-343.

**Определение концентрации сахара в растворе при помощи полутеневого поляриметра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.Л. 1949. Работа 69b. С. 343-347.

**Изучение основных явлений поляризации света в параллельных лучах.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 85. С. 528-540. 1962. Задача 116. С. 716-729. 1968. Задача 142. С. 551-563.

Излагаются методы получения плоскополяризованного света, определяется направление колебаний в нем компонент электромагнитной световой волны, пропущенной николем и естественным кристаллом исландского шпата, изучаются различные случаи интерференции поляризованного света, определяется толщина кристаллических пластинок и величина двупреломления кристаллической пластинки. Все указанные явления изучаются на простейшем приборе, на котором весьма наглядно с помощью отражения от черной стеклянной пластинки (диэлектрика) получается поляризованный пучок света.

**Изучение кристаллооптических явлений при помощи поляризационного микроскопа.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 86. С. 540-552. 1962. Задача 119. С. 748-760. 1968. Задача 145. С. 583-594.

Определяется показатель преломления порошков методом световой полоски (иммерсионный метод). При этом наблюдается перемещение световой полоски на границе двух сред с различными показателями преломления. Определяется толщина кварцевых пластинок и величина двупреломления кристаллов. Определяется оптический знак одноосных кристаллов и оптически йзнак и угол оптических осей двуосных кристаллов в сходящемся свете.

**Изучение явлений вращательной поляризации света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 87. С. 552-557.

Если в пространство между двумя скрещенными николями поместить сосуд с раствором сахара, то в монохроматическом свете наблюдается просветление поля. Это явление объясняется способностью раствора сахара вращать плоскость поляризации света. При измерениях поворота плоскости поляризации света применяется полутеневой поляриметр, устанавливаемый на равное освещение двух половин поля зрения.

**Эллиптический поляриметр для студенческой лаборатории: источник эллиптически поляризованного света.** Браун ( Elliptic polarimeter for the student laboratory: "specimens" of elliptically polarized light. Brown Thomas B.), Amer. J. Phys., 1958, 26, № 3, 183-187. [РЖ 1959 № 8 16934].

Описывается недорогой эллиптический поляриметр, точность которого приближается к точности исследовательского инструмента. Прибор состоит из компенсатора, превращающего эллиптически поляризованный свет в линейно поляризованный, и анализатора. В качестве компенсатора используется пластина в четверть волны, в качестве анализатора – поляроид и в качестве полутеневого пластинки – целлофан. Прибор дает возможность определить азимут большой оси эллипса относительно некоторого заданного направления, направление вращения светового вектора и отношение большой и малой полуосей эллипса.

**Определение концентрации сахарного раствора полутеневым сахариметром.** Работа 45. Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм.

Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . С. 177-181.

**Проверка закона Малюса.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–17. С. 93.

**Изучение поляризации при отражении от диэлектриков.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–18. С 96.

**Изучение вращения плоскости поляризации и определение концентрации сахарных растворов с помощью сахариметра.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–19. С. 98.

**Вращение плоскости поляризации в магнитном поле.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3– 20. С. 104.

**Получение и исследование поляризованного света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 129. С. 434-438. 1968. Задача 143. С. 564-575.

Основными элементами установки являются монохроматор и два поляроида (слюдяные пластинки). Исследуются: линейно поляризованный свет; пластинка  $\lambda/4$ ; свет, поляризованный по кругу; эллиптически поляризованный свет, полученный при помощи пластинки  $\lambda/4$ ; эллиптически поляризованный свет, полученный при помощи слюдяной неизвестной толщины пластинки.

**Измерения показателя преломления кристаллов при помощи кристалл-рефрактометра.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 118. С. 740-748. 1968. Задача 144. С. 575-582.

Объектами исследований являются образцы из стекла, исландского шпата и кварца. Значения показателя преломления для образца исландского шпата, имеющего форму цилиндра, найденные при различных его ориентациях относительно направления луча света, представляются в виде полярной диаграммы. Полученный график позволяет определить оптический знак кристалла и направление его оптической оси в кристалле. По этому же графику определяют максимальную величину двойного лучепреломления. По результатам измерений показателя преломления показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей, проведенных с образцом кварца, вырезанным параллельно оптической оси, определяют оптический знак кристалла кварца и направление оптической оси в образце по отношению к геометрической оси используемого цилиндра.

**Спектроскопическое исследование явления хроматической поляризации света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 120. С. 760-766. 1968. Задача 146. С. 594-600.

Исследуются случаи интерференции поляризованного света, которые приводят к возникновению *окраски* – селективной спектральной прозрачности вполне бесцветных кристаллических пластинок, когда они просматриваются между поляриза-

тором и анализатором. В данной задаче изучаются явления в плоскопараллельной пластинке одноосного кристалла, вырезанной параллельно оптической оси.

**Изучение явления естественного вращения плоскости поляризации света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 121. С. 766-771. **1968.** Задача 147. С. 600-605.

В работе с помощью полутеневого сахариметра измеряется удельное вращение плоскости поляризации раствором сахара известной концентрации и определяется процентное содержание сахара в исследуемых растворах.

**Изучение явления магнитного вращения плоскости поляризации.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 122. С. 772-778. **1968.** Задача 148. С. 606-612.

По результатам измерений строят графики зависимости угла вращения плоскости поляризации от величины и направления напряженности магнитного поля. Пользуясь этими графиками или формулой, связывающей непосредственно угол поворота плоскости поляризации с напряженностью магнитного поля, находят постоянную Верде для каждого исследованного вещества. Диамагнитными объектами исследований служат два стеклянных блока длиной по 4 см, изготовленных из тяжелых сортов стекла типа флинт, и слой воды толщиной 5 см, помещенный в плоскопараллельную кювету. Парамагнитным объектом исследований служит слой водного раствора хлорного железа толщиной 5 см, находящийся в плоскопараллельной стеклянной кювете.

**Изучение явления поляризации света.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1962.** Работа 19. С. 124-129

**Изучение естественного вращения плоскости поляризации.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1962.** Работа 21. С. 137-141. **1967.** Работа 16. С. 105-109.

**Изучение явления поляризации, определение концентрации раствора сахара.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К. Б. Котляревская, Э.А Майер и др. **1962.** Омск. Лаб. работа 35. С. 81-89.

**Изучение вращения плоскости поляризации света в магнитном поле.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1962.** Работа 22. С. 142-146.

**Изучение поляризованного света.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 67. С. 393-402. **1973.** Работа 68. С. 402-410. **1983.** Работа 5.16. С. 493-500.

**Изучение явления поляризации света.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1967.** Работа 13. С. 85-92.

**Исследование эллиптически поляризованного света.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1967.** Работа 14. С. 92-99.

**Изучение магнитного вращения плоскости поляризации.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1967.** Работа 17. С. 110-114

**Изучение поляризации света.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. С. 111-114.

**Определение концентрации растворов колориметром.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. С. 94-96.

Колориметр применяется для определения концентрации окрашенных растворов. В нем используется то свойство поглощающих веществ, что при равенстве яркостей двух пучков света, прошедших через два раствора с различными концентрациями, они обратно пропорциональны толщинам этих слоев. Если концентрация одного раствора известна, то определив на опыте толщины слоев, при которых яркости пучков света одинаковы, можем определить концентрацию другого раствора.

**Определение концентрации раствора сахара с помощью сахариметра.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. С. 114-117.

**Изложение теории явления Фарадея в руководстве к лабораторной работе.** Лукацкая Р.А., Трущановская Т. К. “Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1972, вып. 2, 78-81. [РЖ 1972 8 А70].

Даются методические указания к изложению теории явления магнитного вращения плоскости поляризации света (явление Фарадея) в руководстве к соответствующей лабораторной работе в физическом практикуме вузов.

**Изучение круговой и эллиптической поляризации с помощью лазера.** Рук. к лаб. работам по ф-ке. Ч. III. Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973. Работа № 161. С. 149.

**Изучение закона Малюса с помощью селенового фотоэлемента.** Длужневский Г.И. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1974, № 7, 134-136. [РЖ 1975 1 А97].

При измерении интенсивности света, прошедшего от источника  $S_1$  через поляризатор и анализатор, предложено использовать дополнительный источник  $S_2$  для исключения ошибок, связанных со старением фотоэлемента и изменением чувствительности со временем. В итоге работы при заданных углах  $\varphi$  сравнивают опытные величины  $(r_0/r)^2$  с теоретическими величинами  $\cos^2\varphi$ . Расстояния  $r_0$  и  $r$ , измеряемые от  $S_2$  до фотоэлемента, соответствуют равенству освещенностей поверхности фотоэлемента от источников  $S_1$  и  $S_2$  при  $\varphi=0^\circ$  и произвольном  $\varphi$ .

**О введении в лабораторный практикум по физике работы “Исследование зависимости степени поляризации света, отраженного водной поверхностью, от угла падения лучей”.** Стародубровская И.Н. “Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1975, вып. 4, 83-85. [РЖ 1976 5 А134].

Основной частью прибора для измерения степени поляризации света, отраженного водной поверхностью, является видоизмененный гониометр, ось которого располагается горизонтально. Свет от электрической лампочки попадает через регулируемую щель в коллиматорную трубу и далее направляется на поверхность воды в ванночке. Отразившийся от поверхности воды свет попадает в

трубу, в передней части которой установлен поляризатор, способный поворачиваться относительно трубы. На втором конце трубы закреплен фотоэлемент с запирающим слоем, подключенный к микроамперметру. Угол падения лучей на водную поверхность фиксируется по положению коллиматорной трубы при помощи лимба с делениями, находящегося в вертикальной плоскости. Коллиматор и труба, с укрепленными на ней поляризатором и фотоэлементом, могут вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр лимба, положение которой совпадает с поверхностью воды в ванночке. Степень поляризации света в результате отражения от поверхности воды определяется при помощи поляризатора, через который проходит отраженный луч света, и фотоэлемента, на который попадает луч, прошедший поляризатор. Описан порядок выполнения работы.

### **Об использовании сахариметра на лабораторных занятиях по физике.**

Ваксман А.И. “Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1975, вып. 4, 85-86. [РЖ 1976 5 A135].

Предлагается лабораторная работа с сахариметром, где кроме концентрации сахара определяются факторы, влияющие на угол поворота плоскости поляризации.

**Фарадеевское вращение в микроволновой области.** Yan Kam L., Long W.P. Microwave Faraday rotation. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 8, 718-720. [РЖ 1976 2A145].

Предложен относительно простой эксперимент по проверке эффекта Фарадея в микроволновом диапазоне. Показано, что экспериментальные данные совпадают с выводами теории с точностью 10% при вращении плоскости поляризации от  $0^\circ$  до  $70^\circ$ . Для проведения эксперимента в 3-см диапазоне длин волн необходимо иметь клистрон, аттенюатор и кристаллический детектор. Цель эксперимента – проверить линейную зависимость между углом поворота плоскости поляризации и напряженностью приложенного магнитного поля. Распространение волны в намагниченном феррите описывается волновым уравнением, из которого можно получить соотношение между вращением плоскости поляризации и намагничивающим полем. Линейно-поляризованная волна рассматривается как суперпозиция двух поляризованных по кругу в разных направлениях волн равной амплитуды. Эффект Фарадея в микроволновом диапазоне используется в радиоастрономии для получения информации о существовании и распределении магнитных полей в космическом пространстве.

**Поляризация рассеянного света.** Shaw D.E., Wunderlich F.J., Hones N.J. Polarization characteristics of scattered light. “Amer. J. Phys.”, 1977, 45, № 7, 638-639. [РЖ 1977 12 A120].

Описана лабораторная работа по курсу электромагнетизма или оптики для студентов старших курсов. В состав оборудования входит диэлектрический цилиндр диаметром 12 см – мензурка, наполненная смесью бензина с четыреххлористым углеродом в такой пропорции, чтобы уравнивать коэффициенты преломления стекла и жидкости на длине волны 632,8 нм; Ne-He-лазер с неполяризованным излучением, а также кремниевый фотоэлемент. При изменении угла падения луча света на поверхность цилиндра измеряется степень поляризации света, отраженного от задней поверхности цилиндра. Этот эксперимент позволяет количественно изучить такие явления, как образование радуги; поляризация света, отраженного от поверхности Луны и т. д.

**Изучение закона Малюса с помощью поляроидов.** The law Malus using polaroid polarizers. Leung A. F. "Phys. Teach.", 1980, 18, № 8, 612-614. [РЖ 1981 5 А 73].

Описаны лабораторные эксперименты, в которых демонстрируется закон Малюса и изучаются оптические свойства поляроидов. 1. Для демонстрации зависимости интенсивности линейно поляризованной волны, выходящей из анализатора, от угла между плоскостями поляризации входящего света и света, пропускаемого анализатором, используется установка, состоящая из вольфрамо-галогеновой лампы, коллиматора, двух поляроидов, собирающей линзы, интерференционного фильтра ( $600 \pm 4$  нм), диффузора (тонкий пластиковый лист с шероховатой поверхностью), фоторезистора, вольтметра. С помощью линзы добиваются, чтобы при параллельных осях поляроидов показания вольтметра составляли  $1,0$  В. Зависимость напряжения на вольтметре от угла между осями поляроидов представляются в графическом виде. Описана также процедура калибровки фоторезистора, приведена калибровочная кривая. 2. Сколлимированный пучок света от вольфрамо-галогеновой лампы проходит через два поляроида, фокусируется линзой на входную щель монохроматора, попадает на фоторезистор, сигнал с которого поступает на самописец. Получены спектры при параллельных и скрещенных осях поляризаторов. Эксперимент проводился с двумя различными парами поляроидов для диапазона  $400 \div 900$  нм.

**Лабораторная работа по фарадеевскому вращению для студентов старших курсов.** A Faraday rotation experiment for the undergraduate physics laboratory. Loeffler Frank J. "Amer. J. Phys.", 1983, 51, № 7. 661-663. [РЖ 1984 2 А104].

Предлагаемый эксперимент поясняет и соединяет воедино фундаментальные основы электромагнетизма и оптики. Исследуется вращение плоскости поляризации в прозрачных жидкостях, помещенных в магнитное поле (эффект Фарадея). Оборудование, необходимое для эксперимента, включает источник света (лампа накаливания), узкополосный цветной фильтр на длину волны  $5400$  или  $6000$  Å, поляризатор, анализатор, фотодиодный детектор, две линзы и соленоид с помещаемой внутри него кюветой с исследуемой жидкостью (вода,  $\text{CCl}_4$ , *o*-ксилен или  $\text{CS}_2$ ). Первая линза дает параллельный пучок света от лампы, который затем пропускается через фильтр и поляризатор направляется в кювету с жидкостью. После кюветы пучок проходит через анализатор и фокусируется второй линзой на детектор. Сигнал с детектора служит мерой интенсивности света, прошедшего через анализатор. При включении магнитного поля плоскость поляризации света, проходящего через жидкость, поворачивается на угол, пропорциональный приложенному полю. Интенсивность света, падающего на детектор, при этом изменяется пропорционально квадрату косинуса угла поворота плоскости поляризации.

**Исследование вращения плоскости поляризации света.** Лаб. занятия по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.17. С. 501-508.

**Двулучепреломляющая призма и пластина  $\lambda/4$  для сантиметрового диапазона.** Doppelbrechendes Prisma und  $\lambda/4$ -Platte für cm-Wellen. Gronemeier K.H., Steidl H. "Prax. Naturwiss. Phys", 1983, 32, № 4, 105-108. [РЖ 1983 10 А94].

Описана конструкция, приведены параметры устройств, являющихся аналогами оптических приборов для радиоволн сантиметрового диапазона. Устройства имеют размеры порядка нескольких десятков сантиметров и состоят из набора плоских металлических деталей различной формы. Изложена простая теория оптической активности этих конструкций. Приведены диаграммы

направленности. Даны фотографии призмы и пластин  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$  для длины волны 3,2 см

**Поляризация света.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 47. С. 308-317.

Исследуется преобразование поляризованного света при его прохождении через кристаллические пластинки.

**Вращение плоскости поляризации.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 48. С. 317-326.

Измеряется удельная постоянная вращения сахара и постоянная Верде для воды.

**Определение концентрации сахара сахариметром.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б.П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 16. С. 61.

**Лабораторная установка для проверки закона Малюса.** Еремин Д.М. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). 1988. № 14. 107-108. [РЖ 1989 2 А166].

Приведена общая конструктивная схема установки и представлена подробная детализировка отдельных элементов этой схемы.

**Учебный способ определения степени поляризации света:** А. с. 1517158А1 СССР, МКИ 4 G 09 В 23/22. Ветохин С.С., Ганчаренок И.И.; Белорус. Ун-т. № 4361060/31-12; Заявл. 07.01.88; Опубл. 23.10.89, Бюл. № 39. [РЖ 1990 7 А177].

Способ определения степени поляризации света включает введение светового луча в индикаторную среду, содержащую двухуровневые атомы с угловыми моментами, равными 1, в основном и возбужденном состояниях, выделяют спектральный интервал резонансного взаимодействия света в этой среде, измеряют интенсивность светового потока и определяют степень поляризации.

**Прибор для измерения изменений вращения плоскости поляризации света под действием электрического поля в полимерных растворах.** Apparatus for the measurement of electro-optical rotation changes in polymer solutions. Weir K., Jennings B. R.J. Phys. E. 1989. 22. № 12. С. 1037-1042. [РЖ 1990 9 А99].

Разработан прибор на основе лазера для точных измерений небольших изменений вращения плоскости поляризации света в полимерных растворах под действием импульсных электрических полей. Подробно описана схема прибора, содержащего два ротатора Фарадея, а также теоретические основы его работы. Оценена систематическая ошибка измерений, связанная с влиянием двойного лучепреломления в рабочей камере и с неточностью настройки прибора. Работа установки продемонстрирована при измерениях в растворах  $\alpha$ -спирального полипептида поли- $\gamma$ -бензил- $L$ -глутамата в дихлорэтане. Получена дисперсионная кривая вращения плоскости поляризации, а также ее изменение в импульсном электрическом поле. Погрешность измерений не превышала 7%. Прибор обладает хорошей надежностью и воспроизводимостью данных.

**Фарадеевское вращение в лаборатории общей физики продвинутого уровня.** Faraday rotation in the undergraduate advanced laboratory. Pedrotti Frank L., Bandettini Peter. Amer. J. Phys. 1990. 58, № 6. С. 542-545. [РЖ 1991 5 А96].

Описывается фарадеевский эффект по вращению плоскости поляризации во внешнем магнитном поле. В качестве образцов использованы флинтовые стекла, а в качестве источника излучения – гелий-неоновый лазер с длинами волн 632,8 нм и 543,5 нм. Для всех использованных образцов приведены экспериментальные зависимости угла поворота плоскости поляризации от произведения магнитной индукции на толщину образца. При изменении последнего в пределах от 0 до 1,5 Тл·см угол поворота изменялся по линейному закону в пределах нескольких сотен минут. По тангенсу угла наклона графиков определялась постоянная Верде. Приведена таблица экспериментальных результатов.

**Падерограф – как его сделать!** Un “podairographe”: pour quoi faire? Prie P. Bull. Union Phys. 1994. 88, № 767. С. 1369-1372. [РЖ 1995 4 А86].

При выполнении лабораторной работы с эллиптически поляризованным светом ученики получают кривую зависимости интенсивности поляризованного света от положения анализатора. Представление ее в координатах  $\sqrt{i(\alpha)}$  дает падеру (геометрическое место точек оснований перпендикуляров, опущенных из заданной точки на касательные к кривой) эллипса относительно его центра. Описано простейшее угломерное устройство, с помощью которого можно найти падеру эллипса относительно его центра.

**Поляризационное устройство Симона-Мукунды.** The Simon–Mukunda polarization ganget. Bagini V., Borghi R., Gori F. and. o. Eur. J. Phys. 1996. 17. № 5. 279-284. [РЖ 1997 5 А83].

**Новые приборы для экспериментального исследования различного характера поляризации электромагнитных волн.** Молотков Н.Я., Постульгин А.В., Хвостова Н.В. Пробл. учеб. физ. эксперим. 1996. № 2. 62-64, 105. [РЖ 1997 10 А158].

Поляризационные эффекты целесообразно моделировать с помощью сантиметровых электромагнитных волн. Это позволит связать изучаемые явления с электромагнитной теорией Максвелла и утвердить взгляд обучаемых на оптические явления как электромагнитные.

**Поляризационные двоякопреломляющие призмы для сантиметровых электромагнитных волн.** Молотков Н.Я., Постульгин А.В. Пробл. учеб. физ. эксперим. 1998. № 4. 44-48. [РЖ 1999 1 А127].

Разработана методика экспериментального изучения двойного лучепреломления сантиметровых электромагнитных волн. Она основана на использовании слоистой диэлектрической структуры, состоящей из системы параллельных пластин из оргстекла, разделенных воздушными промежутками. Предложены демонстрации призм Николя, волластона, Глана, Рошона, Сенармона.

**Изучение оптической анизотропии органического стекла.** Ковалев Л.С., Копосов Г.Д. Преподавание физ. в высш. шк. 1998. № 12, 1. 83-88. [РЖ 1999 1 А122].

Предлагается вариант лабораторной работы по изучению оптической анизотропии слабоанизотропного материала. Метод поляризационной интерферометрии, используемый в работе, предполагает прохождение света через систему “поляризатор-объект изучения-анализатор”. Применение лазера в качестве источника света позволяет исключить из системы поляризатор.

**Лабораторная работа по исследованию свойств фазовых двоякопреломляющих пластинок.** Молотков Н.Я., Дивак В.Б., Постульгин А.В. *Физ. образ. в вузах.* 1998. 4. № 2. 53-59, 116. [РЖ 1999 6 А128].

Кристаллооптика является наиболее трудным разделом курса общей физики для усвоения студентами вузов. В лабораторных практикумах по общей физике отсутствуют задания по экспериментальному исследованию свойств фазовых пластинок одноосных кристаллов в четверть волны и пол волны. В практикуме по волновой оптике Тамбовском государственном университете подобные экспериментальные исследования успешно реализованы в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн ( $\lambda=3,2$  см).

**Лабораторная работа по исследованию анизотропии отражения линейно поляризованной волны от одноосного кристалла.** Н.Я. Молотков, А.В. Постульгин. *ФОВ.* 2000. Т. 6. № 2, с. 66.

**Установка для наблюдения эффекта Коттона-Мутона в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн.** Молотков Н.Я., Дивак В.Б. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2000. № 10. 82-84, 140. [РЖ 01.02-18А.146].

Один из эффектов магнитооптики, эффект Коттона-Мутона, заключается в возникновении линейного двойного лучепреломления в среде, помещенной во внешнее магнитное поле, при распространении света перпендикулярно полю. Исследовано превращение линейно поляризованной электромагнитной волны сантиметрового диапазона в волну с эллиптической или круговой поляризацией при прохождении феррита, помещенного в поперечное магнитное поле. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими выводами.

**Поляриметр портативный П-161М.** *Мир измерений.* 2001. № 9-10. 93. [РЖ 03.05-18А.156].

Прибор предназначен для измерения угла вращения плоскости поляризации оптически активными прозрачными и однородными жидкостями и растворами. Диапазон измерения составляет  $\pm 20$  градусов.

**Изменение поляризации света с помощью четвертьволновых кристаллических пластин и полного внутреннего отражения.** Промяна на поляризацията насветлината чрез кристални пластинки и пълно отражение. Терзийски Т., Иванов Г., Христов М. и др. *Науч. тр. Физ. Пловдив. унив.* 2001. 34. № 4. 207-213. [РЖ 04.02-18А.169].

**О некоторых экспериментах по оптике.** Sur quelques experiences d'Optique. Pelletier R. *Bull. Union phys.* 2001. 95. № 835. 1051-1074. [РЖ 04.04-18А.157].

Представлены материалы, опирающиеся на недавно опубликованные опыты в статье под названием “Четвертьволновые пластинки высокого порядка и анализ направлений поворота при круговой поляризации” (*Rev. Sci. Instrum.*, 2000. V. 71, 3 1). Обсуждается близкая к этой теме идея: повторить опыт Френеля–Араго, но использовать при этом не обычный классический поляризатор-анализатор, а анализатор круговой поляризации, и рассмотреть все следствия, которые проистекают из колебаний с круговой поляризацией.

**Определение и поиск “медленной оси” у четвертьволновой пластинки.** Definitions et determinations de “l'axe lent” d'une lame quart d'onde. Dettwiller L. *Bull. Union phys.* 2001. 95. № 835. 985-1002. [РЖ 04.04-18А.158].

Предлагается использовать интерферометр Маха–Цендера, как наиболее известный и надежный, для того, чтобы определить “медленную” ось четвертьволновой пластинки, не прибегая к эталону. Представлена схема установки, собранной на основе этого интерферометра, и приведены полученные на ней данные для пластинок, изготовленных из двулучепреломляющего материала с ничтожной дисперсией.

**Лабораторная работа по поляризации света.** Майер В.В., Мамаева Е.С. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **2002.** № 15. 64-65, 92. [РЖ 02.11-18А. 152].

Предлагается простая установка для определения показателя преломления твердых тел методом измерения угла Брюстера. Даны схематическое изображение предлагаемой установки и описание эксперимента.

**Исследование двойного лучепреломления в сантиметровом диапазоне радиоволн.** Молотков Н. Я., Егоров А.А. *Вестн. Тамб. Ун-та. Сер. Естеств. и техн. н.* **2003.** 8. № 2. 295-301. [РЖ 04.11-18А.137].

Предлагается экспериментальное исследование двойного лучепреломления при различных условиях распространения излучения в одноосном кристалле провести в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн ( $\lambda=3,2$  см). В качестве модели одноосного кристалла для радиоволн использованы слоистые диэлектрические структуры, которые представляют собой набор большого числа тонких параллельных листов любого диэлектрика, разделенных воздушными промежутками. Обычно для изготовления слоистой диэлектрической структуры используются листы органического стекла толщиной 4 мм, разделенные воздушными промежутками той же толщины. Рассмотрены основные случаи падения плоской электромагнитной волны на поверхность модели двоякопреломляющего кристалла, выполненного в виде слоистой диэлектрической структуры.

**Поляризация света.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. **2003.** Задача 3. С. 48-71.

В качестве источника света в состав экспериментальной установки входит полупроводниковый лазер, приемник излучения – фотодиод типа ФД-24К, а также поляроид, пластинка  $\lambda/4$  и пластинка неизвестной толщины и ориентации. В ходе выполнения работы исследуется линейно поляризованный свет, с помощью двулучепреломляющих пластинок получается излучение с эллиптической и круговой поляризацией, а также изучаются основные свойства поляризационных устройств – пластинок  $\lambda/4$ .

**Простое наблюдение геометрической фазы Рытова.** Цой В.И., Мельников Л.А., Дербов В.Л., Железнов М.Б. *Физ. образ. в вузах.* **2006.** 12. № 3. 99-104, 134. [РЖ 07.03-18А.141].

Одним из фундаментальных понятий современной физики является понятие геометрической фазы, приобретаемой в случае параллельного переноса в криволинейных пространствах. Геометрическая фаза в оптике может проявляться в виде вращения плоскости поляризации при распространении света по неплоской траектории. Описан простой способ наблюдения вращения плоскости поляризации при распространении света по неплоским траекториям. Подобные наблюдения легко осуществимы в практикуме по общей физике.

**Использование жидкокристаллических индикаторов в учебном физическом эксперименте при изучении поляризации света.** Коврижных Ю.Т., Зуев П.В., Снигирев Н.С. *Учеб. физ.* **2007.** № 1. 101-102. [РЖ 08.06-18А.147].

Рассматривается применение жидкокристаллического индикатора в демонстрационном и учебном эксперименте, приводятся примеры учебных опытов с применением жидкокристаллических индикаторов. Жидкие кристаллы являются оптически анизотропными. При прохождении света через такой кристалл в нем наблюдается явление двойного лучепреломления.

**Эллипсометрия в лабораторном практикуме по физике.** Кураков Ю.И., Передерий М. ., Маликов И.Н. *Физика в системе совр. образ. (ФССО-7). Мат. 9 Межд. конф., С.-Пб, 4-8 июня, 2007.* Т. 1. СПб, **2007.** 244-246. [РЖ 08.07-18А.136].

Сущность эллипсометрического метода измерений состоит в анализе изменения состояния поляризованного света в результате его отражения от изучаемого объекта. Представлена оптическая схема эллипсометра. Отмечено, что, используя простую модель границы раздела двух сред, определяют некоторые эффективные значения, которые характеризуют скорее поверхность исследуемого образца, чем объемные параметры, какими являются показатель преломления и коэффициент поглощения.

**Использование жидкокристаллических индикаторов в учебном физическом эксперименте при изучении поляризации света.** Коврижных Ю.Т., Зуев П.В., Снигирев Н.С. *Учеб. физ.* **2007.** № 1. 101-102. [РЖ 09.11-18А.103].

При прохождении света через оптически анизотропные жидкие кристаллы в них наблюдается явление двойного лучепреломления. Предлагается проводить изучение оптических свойств жидких кристаллов в теме “Поляризация света”. После общего изложения явления двойного лучепреломления в оптически анизотропных кристаллах можно иллюстрировать практическое использование этого явления на примере одной из разновидностей жидкокристаллических индикаторов – на скрученных нематических кристаллах (Twisted Nematic – TN).

**Измерение параметров поляризации Стокса.** Measuring the Stokes polarization parameters. Schaefer B., Collett E., Smyth R., Barrett D., Fraher B. *Amer. J. Phys.* **2007.** 75. № 2. 163-168. [РЖ 10.01-18А.105].

**Прецизионные измерения фарадеевского вращения с помощью переменных магнитных полей.** Precise measurements of Faraday rotation using ac magnetic fields. Valev V.K., Wouters J., Verbiest T. *Amer. J. Phys.* **2008.** 76. № 7. 626-629. [РЖ 09.06-18А.103].

**О графических формах отображения состояния поляризации оптических волн.** В.П. Рябухо. *ФОВ.* **2008.** Т. 14, № 3, с. 88.

Обсуждаются особенности графического отображения состояния поляризации немонахроматических электромагнитных волн в учебных курсах физической оптики.

**Эксперименты по поляризации света.** Ю.А. Бражкин, С.Г. Каленков, В.В. Нижегородов. *ФОВ.* **2008.** Т. 15, № 1, с. 49.

Приводится описание и экспериментальная реализация опытов по демонстрации поляризационных явлений в оптике. Представлены схемы экспериментов по наблюдению поляризационных эффектов при прохождении света через скрещенные поляризаторы. Внесение в схему эксперимента третьего поляризатора приводит к появлению света на экране. Эксперимент распространен на случаи лазерного источника света, отражения света под углом Брюстера. Приводятся фотографии установок, реализующих данные эффекты.

**Измерение угла Брюстера при отражении света от стеклянной пластинки, нахождение направлений пропускания поляроидов и проверка закона Малюса.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 47. С. 400-411.

**Изучение основных явлений поляризации света.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 48. С. 412-424.

**Изучения явления прохождения света через два лучепреломляющих кристалла.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 49. С. 425-439.

**Изучение вращения плоскости поляризации света.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 50. С. 440-444.

**Дисперсия вращения плоскости поляризации.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИНФРА-М. 2008. Задача № 51. С. 445-448.

**Измерение малых вращений плоскости поляризации света.** Measurement of small optical polarization rotations. Kraftmakher Y. *Eur. J. Phys.* 2009. 30. № 2. 271-276. [РЖ 11.04-18А.97].

**Использование компьютеризированной лабораторной установки для проведения учебного исследования по оптике.** О.П. Матвеев, Е.Э. Фискинд. ФОВ. 2011. Т. 17, №. 2, с. 90-96.

Разработана и создана автоматизированная лабораторная установка с использованием шагового двигателя в качестве исполнительного устройства, обеспечивающего вращение анализатора при изучении поляризации света. Персональный компьютер используется для генерации импульсов, управляющих контроллером двигателя, регистрации и визуализации результатов. В рамках лабораторной работы предлагается изучение влияния спектральных характеристик источников и фотоэлектрических приемников излучения на результаты проверки закона Малюса.

## Глава 5

### СПЕКТРЫ

**Сравнение силы двух источников света фотометром Луммер-Бродхуна.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 39. С. 127.

**Сравнение силы двух источников света контрастным фотометром.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 40. С. 130.

**Изучение спектров раскаленных паров металлов.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 47. С. 142.

**Изучение спектров газов в гейслеровых трубках.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 48. С. 143.

**Изучение спектров поглощения.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 49. С. 145.

**Изучение искровых спектров металлов.** Физический практикум. А. П. Соколов. М. 1909. Задача 1. С. 193.

**Определение силы света в зависимости от расстояния при помощи фотоэлемента.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К. . Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 61а. С. 257-258.

**Определение силы света лампочки накаливания и исследование ее светового поля.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 61б. С. 261-264.

**Определение удельной мощности электрических лампочек накаливания.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 61с. С. 264-266.

**Изучения спектров поглощения в видимой части спектра при помощи спектроскопа.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 70а. С. 349-351.

**Определение коэффициента поглощения света в видимой части спектра при помощи спектрофотометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 70б. С. 351-357.

**Определение относительной энергии полного излучения абсолютно черного тела при различных температурах.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 71а. С. 360-362.

**Исследование распределения энергии в спектре абсолютно черного тела при различных температурах.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 71b. С. 362-363.

**Исследование линейчатых спектров испускания при помощи спектроскопа.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 72а. С. 366-368.

**Определение длин волн линий водородного спектра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 72b. С. 368-369.

**Определение силы света лампочки накаливания и изучение ее светового поля с помощью фотометра.** Физ. практ-м. Под ред. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. С. 433- Задача 68. С. 433-438. 1962. С. 412-417.

При сравнении различных источников света глаз легко устанавливает равенство освещенностей двух соприкасающихся поверхностей, но не может оценить, во сколько раз освещенность одной поверхности больше освещенности второй. Поэтому все фотометры – приборы, служащие для сравнения двух источников света, – устроены таким образом, что роль глаза сводится к установлению равенств освещенностей двух соприкасающихся полей, освещаемых сравниваемыми источниками. В работе определяется также коэффициент отражения поверхности пластинки. При измерениях используется *нормальная свеча*, представляющая собой горелку с фитилем, питаемым горючей жидкостью – амилацетатом.

**Определение удельной мощности электрических лампочек.** Физ. практ-м. Под ред. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 69. С. 438-440. 1962. С. 417-419.

Для измерения *силы света* употребляется фотометр, отличающийся от стандартного устройством призм. Для измерения второй необходимой величины – *мощности тока* – служат амперметр и вольтметр

**Изучение спектров излучения паров и газов, и спектральный анализ и градуирование шкалы спектроскопа.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 80. С. 499-504.

В ходе работы, после установки спектроскопа, вносят в пламя горелки поочередно фитили, пропитанные растворами солей металлов, имеющих в наборе, и отмечают положения линий спектра для каждой соли. Нанеся на миллиметровую бумагу деления, соответствующие делениям шкалы спектроскопа, зарисовывают на ней положение линий. Градуирование шкалы спектроскопа производится с помощью неоновой лампы.

**Качественный и количественный анализ сплавов с помощью стилоскопа.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 81. С. 504-511.

Спектроскопический метод анализа заключается в определении химического состава сплава по наличию характерных линий элементов в его спектре излучения и в установлении количественного содержания этих элементов в сплаве по интенсивности линий спектра. Принцип действия стилоскопа заключается в следующем: между подлежащим исследованию образцом и диском из чистой меди зажигают электрическую дугу. Свет этой дуги проектируют на щель спектрального аппарата. Получающийся спектр сравнивается с приложенными к прибору стандартами. Это сравнение позволяет определить, имеются ли в спектре характерные линии того или иного элемента. В работе применяется автоколлимационный стилоскоп ВС-1 НИИФ.

**Изучение спектров поглощения стилоскопом прямого зрения и изготовление светофильтров.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 82. С. 511-514.

Спектром поглощения или адсорбции данного вещества называется совокупность темных линий и полос, возникающая на непрерывном спектре излучения при прохождении света через поглощающую среду. Темные линии и полосы возникают вследствие поглощения исследуемым веществом определенных частот из состава проходящего света. Исследование спектров поглощения состоит в определении положения линий и полос поглощения в спектре и в определении величины поглощения. В работе используется стилоскоп прямого зрения.

**Измерение поглощения света твердыми и жидкими фильтрами при помощи спектрофотометра.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 84. С. 520-528.

Спектрофотометр позволяет сравнивать интенсивности света двух источников, точнее – освещенность двух его щелей в различных частях спектра. Прибор градуируется с использованием в качестве источника света ртутной лампы. Результаты измерений изображают графически, построив зависимость коэффициента поглощения от длины волны.

**Исследование спектров поглощения растворов с помощью фотометра.** Физ. практ-м. Электричество и оптика. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. М., 1951, 1953, 1955. Задача 83. С. 514-519. 1968. Задача 155. С. 665-671.

Работа заключается в получении спектров поглощения растворов красок, исследование влияния на спектр растворителя и концентрации растворенного вещества.

**Опыт обучения спектральному анализу.** Де-Врис (Experitnce in the teaching of spectrochemical analysis. De Vries Thomas), J. Chem. Educ., 1956, 33, № 9, 430-436. [РЖ 1957 № 6 13371].

Предлагается план лабораторных работ по спектральному анализу, рассчитанный на 12 занятий. Описан, между прочим, следующий метод количественного анализа: перед щелью спектрографа с большой скоростью вращается диск специальной формы. Различные части спектральной линии на фотопластинке получают разную экспозицию, что вызывает различную степень почернения пластинки для одной и той же линии. Вследствие существования предела чувствительности фотоэмульсии на пластинке изображается лишь часть спектральной линии, причем длина линии тем больше, чем больше интенсивность соответствующей линии в спектре. Таким образом, по длине линии, получающейся

на фотопластинке, можно вычислить концентрацию элемента в растворе. Форма кривой, ограничивающей диск, рассчитывается так, что длина спектральной линии на пластинке оказывается пропорциональной логарифму концентрации.

**Определение удельной мощности электрической лампочки.** Физический практикум. Рук-во к практич занятиям в физич. лабораториях. Часть 3. Волновые процессы и оптика. Под ред. Г.И. Красовской. М., 1957. 74 стр.

Лаб. работа № 28. С. 68-73.

**Спектрометр для учебных целей.** Маутон (Spectrometer for elementary work. Mouton W. L.), Amer. J. Phys., 1958, 26, № 8, 581-582. [РЖ 1959 № 7 14522].

Описано устройство оптического спектрометра для учебных целей, который может быть изготовлен в лаборатории силами студентов. Предложена методика юстировки прибора и работы с ним.

**Определение постоянной Планка.** Дрост (Bepaling van de constante van Planck. Drost H.J.), Faraday, 1959, 28, 3 5, 61-68. [РЖ 1960 № 7 15793].

Подробное описание лабораторной работы.

**Определение силы света лампочки накаливания.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . Работа 37. С. 142-147.

**Определение длины волны источника света с помощью спектроскопа.** Работа 41. Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . С. 162-165.

**Демонстрация обращения *D*-линии натрия.** Grull Kurt. Demonstration der Umkehrung der Natrium-D-Line. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, № 1, Physik, 19-20. [РЖ 1961 8A77].

Установка для демонстрации обращения *D*-линии Na состоит из куска железной трубы диаметром 5 см и длиной 15 см, в которой вырезано отверстие для сопла горелки Бунзена. Трубу устанавливают горизонтально так, чтобы пламя входило в нее сверху. Под сопло кладут несколько ложек поваренной соли. После того, как соль расплавится, в течение получаса происходит излучение паров натрия, и на фоне сплошного спектра можно видеть обращенную *D*-линию Na. Для наблюдения спектра используется оптическая схема, состоящая из осветителя, двух линз, щели, призмы и экрана.

**Определение постоянной Планка и работы выхода электронов.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А. Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача №2–25. С. 128.

**Исследование спектральной характеристики полупроводникового фотоэлемента с запирающим слоем.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–26. С. 132.

**Градуировка спектроскопа.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–27. С. 138.

**Изучение спектра водорода. Определение постоянной Ридберга и массы электрона.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–28. С. 143.

**Качественный спектральный анализ сплавов.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–29. С. 149.

**Определение постоянной Стефана-Больцмана.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–22. С. 109.

**К определению постоянной Планка.** Hoffmann Gunther. Zur Bestimmung der Planckschen Konstanten. "Prax. Naturwiss.", 1961, A10, 3 5, Physics, 125-127. [РЖ 1951 12A180].

С целью обсуждения методики и сравнения результатов измерений описываются три способа определения постоянной Планка. 1. Определение  $h$  измерением понижения напряжения зажигания лампы тлеющего разряда, связанного с освещением лампы лучами разной длины волны. 2. Определение  $h$  измерением изменения частоты релаксационных колебаний при освещении лампы тяжелым и синим цветом. 3. Измерение кванта действия с помощью вакуумного фотоэлемента.

**Изучение спектров излучения паров и газов и спектральный анализ смесей солей щелочных металлов.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 123. С. 778-783. 1968. Задача 149. С. 612-620.

В начале работы градуируют шкалу спектроскопа в длинах волн, используя богатый линиями спектр неоновой лампы. Затем вносят в пламя горелки – источник света – поочередно фитили, пропитанные растворами солей щелочных металлов, имеющих в наборе, отмечают положение линий спектра для каждой соли.

**Определение удельной мощности лампы накаливания.** В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. Лабораторные работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Методическое пособие по физическому практикуму. Часть III. Сибирский авто-дор. Ин-т им. В.В. Куйбышева. 1962. С. 58-63.

**Измерение высоких температур с помощью оптического пирометра с исчезающей нитью.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 134. С. 883-890. 1968. Задача 161. С. 726-733.

Основные цели настоящей задачи: 1) изучение работы оптического пирометра и измерение с его помощью температуры нагретого тела (спирали лампы накаливания при разных значениях подводимой к ней мощности); 2) отыскание зависимости от температуры интегрального лучеиспускания вольфрама; 3) наблюдение за изменениями оптического спектра твердого тела при изменении его температуры. В основу данного метода положено сравнение яркости нагретого тела с яркостью абсолютно черного тела в том же спектральном интервале. В ходе работы строятся графики зависимости расходуемой в лампе мощности от термодинамической температуры нити лампы, зависимости длины волны видимой синей границы спектра от термодинамической температуры.

**Измерение температуры излучателя при помощи оптического пирометра.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В. М. Бушмакина, К. Б. Котляревская, Э. А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 38. С. 106-112.

**К определению постоянной Планка при помощи ультрафиолетовых лучей.** Hoffmann Gunter. Zur Messung der Planckschen Konstanten mit UV-Licht. "Prax. Naturwiss.", 1964, A13, № 1, physic, 1-3. [РЖ 1964 7 А67].

Отмечается, что обычно при определении постоянной Планка при помощи дифракционной решетки и фотоэлемента используют спектр ртути и проводят измерения желтой, зеленой и синей линий. Но желтая и зеленая линии находятся так близко друг к другу, что разность их частот и энергий перекрывается ошибками измерений. В связи с этим рекомендуется проводить измерения с желтым, фиолетовым и ультрафиолетовым фильтрами. Описывается оптическая схема установки, результаты измерений и расчеты, согласно которым получено значение постоянной Планка, близкое к табличному.

**Определение силы света и яркости источников света. Фотометрическое обследование помещений.** С. 37-54. Прилежаев С.С. Физический практикум. Часть 3. Оптика. Методическое пособие для студентов санитарного факультета медицинского института. Ленинград. 1967.

**Определение температуры нити электрической лампы накаливания.** С. 54-67. Прилежаев С.С. Физический практикум. Часть 3. Оптика. Методическое пособие для студентов санитарного факультета медицинского института. Ленинград. 1967.

**Изучение спектральных закономерностей в спектре водорода.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 124. С. 783-786. 1968. Задача 151. С. 620-631.

Целью настоящей задачи является: измерение длин волн трех линий в спектре водорода  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  и вычисление значения постоянной Ридберга с помощью каждого найденного значения длины волны и соответствующего ему значения  $n$  – номера линии в рассматриваемой серии. Измерение длин волн линий водородного спектра производится при помощи дифракционной решетки и спектрометра-гониометра. Спектр водорода наблюдается при электрическом разряде в трубке, наполненной водородом при давлении 5-10 мм. рт. ст.

**Изучение спектрографа и измерение длин волн спектральных линий.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 125. С. 786-798. 1968. Задача 151. С. 620-631.

В задаче используется кварцевый спектрограф ИСП-22. Главная часть любого спектрографа – диспергирующее устройство, которое отклоняет проходящее через него излучение разных длин волн на разные углы. В используемом здесь спектрографе это диспергирующее устройство состоит из призмы Корню. В работе исследуются дисперсия и разрешающая сила спектрографа.

**Фотометрирование линейчатого спектра при помощи стилометра и спектральный анализ состава стали.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 126. С. 798-809. 1968. Задача 153. С. 642-652.

Используемая установка состоит из двух частей: источника света с его питанием и спектрофотометра-стилометра. В первой части работы используется ртутная лампа, во второй части – высокочастотная искра между анализируемым (сталь) и постоянным (электролитическая медь) металлическими электродами. В ходе работы интенсивности наблюдаемых спектральных линий сравниваются с помощью стилометра и выполняется спектральный анализ стали.

**Спектральная фотометрия.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 127. С. 809-821. 1968. Задача 154. С. 653-664.

В качестве спектрографа используется стеклянный спектрограф ИСП-51, позволяющий наблюдать спектр в области от 3000 до 10000 Å. В ходе выполнения работы определяется отношение интенсивностей некоторых линий ртутного спектра.

**Исследование спектров поглощения растворов с помощью фотометра.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 128. С. 821-827. 1968. Задача 155. С. 665-671.

Работа заключается в получении спектров поглощения растворов красок, исследований влияния на спектр растворителя и концентрации растворенного вещества. Объектами изучения являются следующие вещества; 1) водный раствор метилвиолета; 2) водный раствор фуксина; 3) раствор хлорофилла в спирте. Исследуется также влияние концентрации раствора на коэффициент экстинкции.

**Изучение спектров поглощения при помощи поляризационного спектрофотометра.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 129. С. 827-834. 1968. Задача 156. С. 671-679.

В результате измерений строятся графики зависимости пропускания и коэффициента поглощения светофильтра от длины волны, а также график зависимости коэффициента поглощения исследуемого раствора.

**Изучение эффекта Зеемана.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 131. С. 848-855. 1968. Задача 158. С. 691-698.

Настоящая задача посвящена изучению расщепления спектральных линий в магнитном поле (эффект Зеемана), ознакомлению с работой интерференционного спектроскопа – пластинки Люммера-Герке и определению отношения заряда электрона к его массе ( $e/m$ ) оптическим методом. Исследование проводится на спектральной линии кадмия  $\lambda=6438,47 \text{ Å}$ , дающей *нормальный эффект Зеемана*. Источником света в экспериментальной установке является газоразрядная кадмиевая лампа, располагаемая между полюсами сильного электромагнита, напряженность магнитного поля которого может изменяться от 0 до ~5700 эрстед. Свет от источника концентрируется с помощью трехлинзового конденсора на входную щель спектрального прибора – пластинки Люммера-Герке.

**Градуировка монохроматора.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. Работа 23. С. 147-152.

**Определение спектральных характеристик призмного спектрографа.** Физ. практ-м. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. М. 1962. Работа 24. С. 153-160.

**Изучение приемов качественного спектрального анализа.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. Работа 25. С. 161-165.

**Полуколичественный спектральный анализ на стилометре.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. Работа 26. С. 166-172.

**Определение удельной мощности лампы накаливания.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 32. С. 58-63.

**Изучение спектров поглощения при помощи поляризационного спектрофотометра.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 131. С. 848-855. 1968. Задача 156. С. 671-679.

В задаче предлагается построить графики зависимости пропускания светофильтра от длины волны и зависимости коэффициента поглощения от длины волны. Для градуирования прибора применяется ртутная лампа. Затем измеряется поглощение фильтров, коэффициенты поглощения растворов. Результаты измерений и расчетов представляются графически в виде зависимости коэффициента поглощения от длины волны.

**Изучение эффекта Зеемана.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 131. С. 848-856. 1968. Задача 158. С. 691-698.

Настоящая задача посвящена изучению расщепления спектральных линий в магнитном поле (эффект Зеемана), ознакомлению с работой интерференционного спектроскопа – пластинки Люммера-Герке и определению отношения заряда электрона к его массе ( $e/m$ ) оптическим методом. Исследование проводится на спектральной линии кадмия  $\lambda=6438,47 \text{ \AA}$ , дающей *нормальный эффект Зеемана*.

**Опыт по определению постоянной Планка.** Harder Max. Versuch zur Bestimmung der Planckschen Konstanten. "Prax. Naturwiss.", 1963, A12, № 3, Physik, 70-71. [РЖ 1963 10 A107].

Фотоэлемент соединяют с высоковольтным конденсатором емкостью  $\sim 0,25 \text{ мкФ}$ . Параллельно конденсатору подключают баллистический гальванометр. Если осветить фотоэлемент монохроматическим светом, конденсатор заряжается до предельного напряжения фотоэлемента  $U_g$ . Из опыта следует, что  $U_g$  не зависит от времени освещения и от расстояния от источника света до фотоэлемента. Если провести измерения с разными светофильтрами и построить график зависимости  $U_g$  от частоты, получится прямая линия, наклон которой численно равен  $h$ . Приведены методические указания к проведению опыта. Из результатов опыта следует, что полученное значение  $h$  близко к табличному.

**Опыты по тепловому излучению.** Backe Hans. Zur experimentellen Behandlung der Warmestrahlung. "Prax. Naturwiss.", 1965, A 14, 3 4, Physik, 87-93. [РЖ 1965 10 A90].

Установка для исследования зависимости поглощения от состояния поглощающей поверхности состоит из излучателя, приемника излучения и регистрирующего прибора. Приемник излучения сделан из четырех металлических цилиндров, расположенных горизонтально. В крышке каждого цилиндра сделано небольшое отверстие, в которое вставлена металлическая трубочка. Торцовые

поверхности (дноцилиндров) покрывают различными красками: матово-черной, блестящей черной, белой, дно последнего цилиндра просто зачищают. Кроме того, на каждую поверхность наносят цветное кольцо. Регистрирующий прибор состоит из четырех наклонных барометрических трубок, расположенных на вертикальной доске. Барометрические трубки резиновыми шлангами соединяют с металлическими трубочками, вставленными в крышки цилиндров, и заполняют водой, подкрашенной в тот же цвет, который имеет кольцо на соответствующей торцовой поверхности. В качестве источника излучения может быть использован любой электрический нагреватель, например, электрическая лампочка с рефлектором. Если осветить торцовые поверхности цилиндров, воздух в них расширяется и поднимает воду в соответствующих барометрических трубках. Описывается также прибор для изучения зависимости излучения от величины и состояния излучающей поверхности и несколько демонстрационных опытов.

**Получение спектров поглощения при помощи цветных пленок.** Krumm Erich. Absorptionsspektren von Farbfiltern. "Prax. Naturwiss.," 1967, A 16, № 8, Physik, 206-207. [РЖ 1968 2 А70].

На расстоянии 1 м от матовой лампочки накаливания помещают экран со щелью и рассматривают щель через призму, при этом наблюдают обычный спектр. Если часть щели закрыть цветной пленкой, возникают соответствующие спектры поглощения, положение и интенсивность которых могут быть определены сравнением с параллельно расположенным обычным спектром.

**Определение силы света и яркости источника света. Фотометрическое обследование помещений.** Физический практикум. Часть 3. Оптика. Ленингр. сан.-гигиенич. мед. ин-т. Ленинград. 1967. С. 37–54.

**Определение концентрации окрашенных растворов, эмульсий и суспензий с помощью колориметра.** С. 25-37. Прилежаев С.С. Физический практикум. Часть 3. Оптика. Методическое пособие для студентов санитарного факультета медицинского института. Ленинград. 1967.

**Определение потенциалов возбуждения и ионизации.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Электричество и оптика. 1968. Задача 136. С. 897-900.

Основным элементом экспериментальной установки является тиратрон, наполненный аргоном. В ходе выполнения эксперимента постепенно увеличивают сеточное напряжение, регистрируя величину сеточного тока и тока коллектора. Строятся графики этих зависимостей, и по ним определяются потенциалы возбуждения и ионизации аргона.

**Ознакомление с работой интерференционного спектроскопа Фабри-Перо.** Физ. практ-м. Электричество и оптика. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. М., 1968. Задача 152. С. 631-642.

Экспериментальная установка состоит из источника света, эталона Фабри-Перо и зрительной трубы. В качестве источника света используется ртутная лампа ПРК-2. Ознакомление состоит в наблюдении интер-

ференционных колец от ртутной лампы и измерениях их радиусов. Последующие вычисления позволяют получить величины смещения компонент тонкой структуры по отношению к основной спектральной линии  $\lambda=5460,73 \text{ \AA}$ .

**Лабораторная работа по спектроскопии комбинационного рассеяния для студентов старших курсов.** Fugitt B.R., Rupaal A.S. Raman spectroscopy experiment for the senior laboratory. "Amer. J. Phys.", **1968**, 36, № 1, 17-23. [РЖ 1968 8 А109].

Дано подробное описание простейшего спектрографа комбинационного рассеяния для лабораторных работ по курсу оптики и спектроскопии для студентов старших курсов. Кратко рассмотрена теория комбинационного рассеяния, приведено описание источника возбуждения спектров, основанного на использовании ртутной дуговой лампы низкого давления и эллиптического коаксиального осветителя с системой воздушного охлаждения. Для регистрации спектров использовался спектрометр фирмы Hilger and Watts модель D-186. Приведены снимки полученных спектров, рассмотрена методика расчета упругих постоянных молекулы  $CS_2$ .

**Использование спектрографа с решеткой в учебных лабораториях по оптике.** Groft John C. A fast grating spectrograph for use in undergraduate optics laboratories. "Amer. J. Phys.", **1968**, 36, № 11, Part 1, 1014. [РЖ 1969 4 А52].

Предложено использовать спектрограф с решеткой (РЖФиз, 1960, № 11, 31547) в учебных лабораториях по оптике. Делается ряд существенных изменений в спектральном приборе: 35-мм зеркальная фотокамера светосилой 1,5 заменяется ахроматической линзой диаметром 78 мм с фокусным расстоянием 381 мм, что увеличивает светосилу до 4,5. Линза помещается в алюминиевую трубку диаметром 100 мм. На конце трубки устанавливается скользящий держатель, в который вставляется либо подложка с фокусирующим экраном 5×4 см, либо фотопластинка (типа Polaroid) 3×4 см. Подложка и фотопластинка имеют 9 защелок на установочных фланцах, в которые вставляются автоматические стрелки скользящего держателя. Это позволяет помещать фотопластинку в любое из девяти вертикальных положений и фотографировать 9 отдельных спектров один выше другого, а затем проводить анализ неизвестных спектров методом сравнения с известными во время одного лабораторного занятия. В целях уменьшения стоимости прибора решетка размером 102×102 см (600 *штрихов/мм*) заменялась такой размером 52×52 см. Это ухудшает разрешающую способность прибора на 25 %, но все же дает возможность достаточно хорошо разрешить желтый дублет Na и фиолетовый дублет K. Приводится блок-схема спектрографа с решеткой.

**Изучение света с помощью спектроскопа. Спектральный анализ.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-га. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. **1969**. С. 96-101.

**Обращение D-линий. Резонансная флуоресценция натрия.** Vatter Hans. Die Umkehr der D-Linien-Natriumresonanzfluoreszenz. "Prax. Naturwiss.", **1970**, Teil 1, 19, № 3, 72-75. [РЖ 1970 9 А99].

Описывается опыт Кирхгофа 1860 г. по наблюдению D-линий натрия. Для большей наглядности и облегчения понимания учащимися предлагается несколько изменить этот опыт. Предлагаемая установка представляет собой стеклянную трубку длиной 170 мм и диаметром 42 мм. Создав в трубке высокий вакуум, в нее нагнетают многократно очищенные пары натрия; после этого трубку заполняют спектрально чистым аргоном, находящимся при атмосферном давлении. Затем трубку укрепляют на металлической стенке и помещают в печь Франка-Герца. Температура в печи регулируется от 120 до 240<sup>0</sup> С. Дана методи-

ка проведения ряда опытов с помощью этой установки: свечение натрия, вызванное нагреванием; наблюдение резонансного свечения внутри пучка и слабого вторичного свечения вне его; получение резонансных полос; поглощение натриевого излучения; на экране наблюдают темные полосы, ограниченные с обеих сторон желтыми полосами; индивидуальное наблюдение *D*-линий с помощью ручного спектроскопа. Демонстрируется также зависимость интенсивности наблюдаемых *D*-линий от температуры печи; наблюдение *D*-линий на экране. Приводятся схемы всех установок, используемых в опытах, а также фотографии спектров, полученных в ряде опытов. Дано объяснение результатов опытов.

**Изучение спектров излучения.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С. 39-45.

**Исследование спектров поглощения растворов с помощью фотометра.** Физический практикум. Часть 1. Оптика. Мордовский гос. ун-т. Саранск. 1971. С. 64–72.

**Измерение высоких температур с помощью оптического пирометра.** Физический практикум. Часть 1. Оптика. Мордовский гос. ун-т. Саранск. 1971. С. 48-55.

**Измерение высоких температур с помощью оптического пирометра.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С. 48-55.

**Определение постоянной Планка из закона смещения Вина.** George S., Fredrickson J.E., Sankaranayanan A. Planck's constant from Wien's displacement law. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, 3 4, 621-622. [РЖ 1972 9 А80].

В качестве лабораторной работы для студентов предложено реализовать возможность определения постоянной Планка путем сопоставления экспериментально полученного значения константы в законе смещения Вина и ее выражения из закона излучения Планка. Экспериментальная проверка метода проводилась при исследовании спектра излучения лампы накаливания с вольфрамовой нитью с помощью спектрофотометра. Фотометрирование проводилось в диапазоне длин волн от 5000 до 20000 Å при температурах 2033, 2433 и 2888° К. Температура измерялась оптическим пирометром с исчезающей нитью. Полученное среднее значение постоянной Планка равно  $6,58 \cdot 10^{-27}$  эрг·сек, что близко к принятому значению  $6,6256 \cdot 10^{-27}$  эрг·сек.

**Микроволновая спектроскопия: построение аналитического спектрометра.** Cuhtbert J., Denney E.J., Stratford R., Farren J., Jones T.L., Pooley D., Webster R.K., Wells F.H. Microwave spectroscopy: the design of an analytical spectrometer. "J. Phys. Sci. Instrum.", 1972, 5, № 7, 698-704. [РЖ 1973 1 А143].

Построен упрощенный вариант спектрометра со штарковской модуляцией для аналитических целей, работающий в Q-полосе (26,5–40 кМГц). Описаны схемы модуляции, измерителя частоты, источника излучения и поглощающей ячейки. Приведены микроволновые спектры ацетальдегида, ацетонитрила и нитробензола, полученные с помощью нового спектрометра.

**Изучение закона Стефана-Больцмана и распределения температурного излучения в лабораторных условиях.** Jaecks D.H., Du Bois R. Stefan–Boltzmann

and radiation distribution laws in the laboratory. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, № 8, 1179-1180. [РЖ 1973 1 А69].

Дается описание модифицированного и расширенного эксперимента по исследованию закона Стефана-Болцмана и распределения температурного излучения, впервые предложенного в работе Эдмондса (РЖФиз 1969, 2Д1051). Для получения количественных характеристик в лабораторных условиях используется известная зависимость между сопротивлением W-нити накала и ее температурой в широком диапазоне входных мощностей. Геометрические параметры нити определяются по результатам измерения ее сопротивления при комнатной температуре. Используя табличные данные зависимости удельного сопротивления от температуры, можно получить необходимую калибровочную кривую, не прибегая к гипотетическим предположениям о функциональной зависимости  $R$  от  $T$ . Такой подход позволяет расширить эксперимент и при помощи несложной лабораторной установки (монохроматор – фотоумножитель – детектор) получить количественные соотношения, определяющие характеристику спектрального распределения температурного (теплового) излучения.

**Закон излучения Планка и коэффициент полезного действия осветительной лампы накаливания.** Lehman Thomas A. The Planck radiation law and the efficiency of a light bulb. "Chem. Educ.", 1972, 49, № 12, 832-833. [РЖ 1973 7 А120].

Описана лабораторная работа физического практикума для химиков, состоящая в измерении коэффициента полезного действия (к. п. д.) осветительной лампы накаливания, определяемого как отношение испускаемой энергии в видимой области спектра к полной энергии, потребляемой лампой. Нить лампы предполагается абсолютно черным телом. Энергия, излучаемая в видимой области, измеряется калориметрически. Полученное значение к. п. д. сравнивается со значением, вычисленным по закону Планка для излучения абсолютно черного тела. Температура нити считается равной  $3000^0 K$ , а к. п. д. находится как отношение площадей, ограниченных кривой закона Планка в видимой области и соответствующей площади в области длин волн от 0,3 до 40 мкм. Работа позволяет использовать ЭВМ для студентов с различными уровнями подготовки в области вычислительной математики.

**Качественное доказательство закона смещения Вина.** Weitzel Martin. Qualitativer Nachweis des Wienschen Verschiebungsgesetzes, "Math. Und naturwiss. Unterr", 1973, 26. 3 1, 30-32. [РЖ 1973 6 А108].

**Нормальный и аномальный эффекты Зеемана – лабораторные эксперименты.** George S. Normal and anomalous Zeeman effect laboratory experiments. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, №3, 423-425. [РЖ 1973 8 А87].

Подробно описана постановка лабораторных работ по наблюдению нормального эффекта Зеемана в Ne и аномального эффекта – в Na и Hg. Автор руководствовался рекомендациями, предложенными ранее (РЖФиз, 1972, 3А61).

Установка состоит из лампы накаливания, щелевой диафрагмы, линзы, призмы, мостиковой схемы с двумя фотосопротивлениями в плечах моста, усилителя и стрелочного индикатора. Фотосопротивления, имеющие одинаковую чувствительность для голубого и красного участков спектра, расположены так, что одно из них освещается красным светом, другое – голубым (от лампы накаливания). При изменении тока накала лампы изменяется температура нити накала, а максимум излучения смещается по шкале длин волн. Происходит разбалансировка моста, что

регистрируется индикатором. Установка позволяет определить, к какому из фотосопротивлений поступает большая мощность, и, тем самым проверить (качественно) закон Вина. Указаны параметры элементов схемы.

**Работа студенческого физического практикума по проверке закона Стефана–Больцмана.** Tholfsen Paul. A student laboratory verification of the Stefan–Boltzmann law. “Phys. Teacher”, 1973, 11, № 5, 305-306. [РЖ 1973 9 А84].

Краткое описание лабораторной работы. Зная ток и напряжение вольфрамовой нити лампы накаливания, можно определить ее сопротивление, а по сопротивлению из температурной зависимости удельного сопротивления вольфрама – температуру нити. Определение коэффициента линейной зависимости логарифма мощности от логарифма температуры дает значение  $4,0 \pm 0,2$ .

**О постановке в вузах лабораторной работы по определению постоянной Стефана-Больцмана.** Тихомиров П.Л. В сб. “Физика”. Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 58-60. [РЖ 1974 2 А93].

Отмечаются неудобства использования в лабораторной работе по изучению законов излучения в качестве накаливаемого тела лампы накаливания с вольфрамовой нитью накала или окисленной никелевой пластины. С целью ослабления этих недостатков предлагается в качестве накаливаемого тела использовать нихромовую спираль, намотанную на керамическую трубку плотно, виток к витку. Даны советы по изготовлению такой спирали и ее использованию, по учету потерь тепла спиралью путем конвекции.

**Определение поглощательной способности нечерного тела.** Жежеров М.И., Селиванова И.А., Тихонов Н.А. В сб. “Физика”. Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 70-72. [РЖ 1974 2 А94].

Для изучения на лабораторных занятиях законов теплового излучения на кафедре физики Московского института химического машиностроения изготовлена установка, в которой источником излучения служит светоизмерительная лампа СИ8–300У с ленточным телом накала из вольфрама. Приведена принципиальная схема установки. Установка позволяет измерять постоянную Стефана-Больцмана и определять зависимость поглощательной способности вольфрама от температуры. Приведена таблица полученных опытных данных, по которым рассчитаны значения поглощательной способности и построен график ее зависимости от температуры. Поскольку лампа СИ8–300У является источником излучения со спектральным распределением энергии, то это ее свойство можно использовать для проверки формулы Планка и правила смещения Вина.

**Изучение тонкой структуры спектра натрия в лабораторном практикуме по курсу общей физики.** Лукацкая Р.А. В сб. “Физика”. Вып. 3. М., “Высш. школа”, 1973, 72-75. [РЖ 1974 2 А102].

Для лучшего усвоения понятия спина целесообразно предложить студентам выполнять лабораторную работу по изучению тонкой структуры спектра Na. Для постановки работы достаточно иметь гониометр-спектрометр ГС–5 и дифракционную решетку, имеющую 600 штрихов на 1 мм и общее число штрихов 24000. Дано объяснение мультиплетной структуры спектров на основе рассмотрения спин-орбитального взаимодействия, выведена формула для ширины спектральных дублетов, сформулированы задания лабораторной работы.

**Исследование спектра теплового излучения.** Кузнецов В.Д., Лебедев Р.В.

“Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1973, № 12, 150-151. [РЖ 1973 5 А91].

Предлагается установка для количественного исследования спектра теплового излучения (для лабораторной работы по курсу общей физики).

**Изучение спектра атома водорода.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1973. Работа 69. С. 410-414.

**Опыт Франка и Герца.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1983. Работа 5.22. С. 532-536.

**Значение и возможности измерения постоянной Планка на практических занятиях студентов.** Halasz Tibor, Kovacs Laszlo. A Planck-fele allando meresenek jelentosege es lehetosege a hallgatoi gyakorlatokon. “Szegedi tanarkepzo foisk. Tud. Kozl. 1973. 2 resz”. Szeged, 1973, 169-177. [РЖ 1974 № 6 А81].

Предложен метод измерения постоянной Планка, основанный на измерении вольтамперной характеристики фотоэлемента с внешним фотоэффектом. Для достижения 5% точности используется схема, позволяющая менять напряжение на 10–20 мВ и измерять ток в  $10^{-13}$  А. Указанная точность достигается также благодаря учету тока холодной эмиссии и других побочных эффектов.

**Линейное выравнивание интенсивности спектрального состава источника света в эксперименте с эталоном Фабри-Перо.** Rogers G.L. Line balancing in the Fabry-Perot experiment. “Phys. Educ.”, 1974, 9, № 1, 27. [РЖ 1974 6 А86].

Предлагается использовать специальный фильтр фирмы Iford при регистрации интерференционной картины в эксперименте с эталоном Фабри-Перо, в котором в качестве источника света применяется ртутно-кадмиевая лампа. Фильтр ослабляет зеленую и желтую линии ртути, частично ослабляет зеленую линию кадмия и совершенно не влияет на красную, синюю и фиолетовую линии кадмия. Применение данного фильтра позволяет выровнять интенсивности различных спектральных линий источника света и получить фотографическую запись интерференционной картины одновременно для всех длин волн.

**Гашение флуоресценции паров йода, возбужденной гелий-неоновым лазером. Эксперимент по кинетике спектроскопии.** Duchin Kenneth L., Lee Yoon S., Mills James W. Quenching of I<sub>2</sub> vapor fluorescence excited with He-Ne laser light. A kinetics-spectroscopy experiment. “J. Chem. Educ.”, 1973, 50, № 12, 858-861. [1974 6 А87].

Описана методика, теория и результаты учебного эксперимента по гашению флуоресценции, возбужденной с помощью недорогого He-Ne-лазера. Выполнение эксперимента помогает понять студентам кинетику устойчивого состояния конкурирующих процессов, теорию газокинетических столкновений, структуру и спектроскопию двухатомных молекул, свойства газовых лазеров, включая спектральное распределение и моды объемного резонатора, зависимость давления пара от температуры, сглаживание экспериментальных ошибок методом наименьших квадратов. Выполняя эксперимент, студент изучает также фотометрическую и вакуумную аппаратуру.

**Измерение температуры пламени методом обращения спектральных линий.** Рук. к лаб. работам по ф-ке. Ч. III. Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973. Работа № 143. С. 26.

**Измерение постоянной Планка с помощью светоизлучательного диода.** O'Connor Patrick J., O'Connor Leah R. Measuring Planck's constant using a light emitting diode. "Phys. Teacher.", 1974, 12, № 7, 423–425. [РЖ 1975 4 А105].

Рассмотрен физический принцип работы светоизлучательного диода; описаны постановка и результаты учебного эксперимента по измерению постоянной Планка с помощью простой цепочки, включающей светодиод. На светоизлучательный диод через сопротивление  $\sim 33 \text{ Ом}$  подается прямое напряжение от источника с э. д. с.  $\sim 3 \text{ В}$ . Измеряя напряжение на диоде и определяя с помощью спектрометра или на основе паспортных данных длину волны излучения, легко найти значение постоянной Планка, приравнивая энергию фотона к энергии, теряемой электроном в диоде.

**Определение постоянной Планка с помощью фотоэлемента.** Gubanski Zenon. Wyznaczenie stalej planska za pomoca fotokomorki. "Fiz. Szk.", 1974, 20, № 6, 52-53. [РЖ 1975 5 А99].

Описана методика выполнения практической работы по определению постоянной Планка с помощью фотоэлемента методом задерживающего потенциала. Приведены теоретические сведения, принципиальная схема установки и ее общий вид.

**Оптический анализатор спектров.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 38-58.

**Изучение эффекта Зеемана с помощью интерференционного спектроскопа.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 80-95.

**Простая проверка закона Стефана-Больцмана.** Wray E.M. A simple test of Stefan's law. "Phys. Educ.", 1975, 10, № 1, 25-27. [РЖ 1975 12 А191].

Отмечается, что опытная проверка закона Стефана, устанавливающего пропорциональность излучаемой черным телом мощности четвертой степени абсолютной температуры, представляет собой трудную задачу для лабораторного практикума. Однако ее можно выполнить, пользуясь обычной электрической лампочкой накаливания. Низковольтная лампочка ( $6,3 \text{ В}$ ,  $0,1 \text{ А}$ ) включается в одно из плеч моста Уитстона, позволяющего точно измерять ее сопротивление. В цепь питания моста включается амперметр для измерения тока, протекающего через лампочку. Высоковольтная лампа ( $240 \text{ В}$ ) питается от вариака, Мощность, потребляемая лампой, и ее сопротивление измеряются с помощью вольтметра и амперметра. Использование среднего значения температурного коэффициента сопротивления ( $\alpha_{\text{ср.}} = 0,0053 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ) дает хорошее приближение для определения температуры нити лампы по ее сопротивлению. Зависимость мощности от температуры в логарифмических координатах получается линейной с наклоном, соответствующим  $dE/dt \sim T^{3,9}$  только в том случае, если учитывается потеря мощности на конвекцию. Это можно сделать, если экстраполировать на область высоких температур начальный участок кривой, полученной при низкой температуре, когда излучаемая мощность пренебрежимо мала. Однако такое хорошее совпадение с законом Стефана в значительной мере случайно, хотя бы потому, что учет приближенно линейной зависимости излучательной способности вольфрама от температуры при  $T < 2000 \text{ } ^\circ\text{K}$  должен давать  $dE/dt \sim T^5$ . По-видимому, температурная зависимость потерь мощности на конвекцию более сложна, чем принять в этой работе.

**Синтезатор звездных спектров.** Landegren G.F. Stellar spectrum synthesizer. "Amer. J. Phys.", **1975**, 43, № 9, 821-823. [РЖ 1976 2 A150].

Описывается устройство из двух дифракционных решеток и трех или четырех простых линз, которое позволяет имитировать источник света с любым заданным спектром поглощения или испускания; может быть также задан доплеровский сдвиг этих спектров. При выполнении лабораторной работы студент с помощью обычной спектральной аппаратуры исследует эти спектры. Устройство работает следующим образом. Белый свет от точечного или линейного источника света разлагается в спектр первой дифракционной решеткой, пропускается через соответствующую маску и снова собирается в линию или точку второй дифракционной решеткой. Маски рисуют и фотографически изготавливают их копии, уменьшенные до размера  $5 \times 5$  см.

**Лабораторная работа "Исследование спектра теплового излучения".** Воробьев А.А., Кузнецов В.Д., Лебедев Р.В., Ярхо Г.А. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", **1975**, вып. 4, 62-65. [РЖ 1976 5 A125].

Предлагается лабораторная работа по исследованию спектра теплового излучения, в которой используется установка, позволяющая количественно исследовать тепловой спектр и провести сравнение с теоретической кривой, полученной по формуле Планка. Приводится описание лабораторной установки, рассматривается порядок выполнения работы.

**Опыт, демонстрирующий излучение черного тела от одномодового источника.** Dahm A.J., Langenberg D.N. Blackbody radiation from a single-mode source: a demonstration. "Amer. J. Phys.", **1975**, 43, № 11, 1004-1006. [РЖ 1976 5 A126].

Описан эксперимент по обнаружению и визуализации излучения абсолютно черного тела. Излучение испускается при комнатной температуре на одной из мод микроволнового резонатора. Специальная электронная схема обнаруживает тепловой шум, являющийся в данном случае аналогом излучения черного тела, и результирующий сигнал отображается на экране осциллографа. Приведена блок-схема экспериментального устройства, рассмотрены теория и результаты эксперимента. Отмечается, что постановка и проведение описываемого эксперимента поможет учащемуся более конкретно понять сходство между тепловым шумом и излучением абсолютно черного тела.

**Определение постоянной Планка с использованием фотодиода.** Kristoferson Tord. Bestämning av Plancks constant med lysdiod. "Elementa", **1975**, 58, 3 4, 203-206. [РЖ 1976 7 A129].

С помощью экстраполяции характеристики полупроводникового фотодиода к нулевому току находится напряжение, соответствующее энергетическому переходу из зоны проводимости в валентную зону при освещении фотодиода монохроматическим светом. За счет теплового движения это падение напряжения в 1,2 раза меньше ширины энергетической щели. Выводится выражение для значения постоянной Планка, которое в данном эксперименте оказалось равным  $6,67 \cdot 10^{-34}$  Дж·сек.

**Новый метод измерения молекулярных эмиссионных спектров.** Baise A.I. A novel method for measuring molecular emission spectra. "J. Chem. Educ.", 1976, 53, № 1, 58-59. [РЖ 1976 11 A158].

Описана работа студенческого практикума по изучению эмиссионного спектра молекулы  $C_2$ . В используемом спектрофотометре проведены усовершенствования, позволяющие получать развертку интересующих участков спектра со скоростью  $\approx 10$  нм/мин. Для градуировки применялся раствор, содержащий  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Ti^+$  и  $Na^+$ , который всасывался в пламя специальной горелки. Калибровочные линии сигналов давались в нм. Максимальная ошибка каждого измерения  $\pm 0,2$  нм, что приводит к ошибке в определении волновых чисел для спектров молекулы ( $\pm 10$  см $^{-1}$ ). Полученные значения волновых чисел для спектров молекулы  $C_2$  хорошо согласуются с литературными данными (ошибки  $< 0,1\%$ ), но и такие небольшие ошибки приводят к относительно большим ошибкам в значениях ангармонических констант. Обсуждаются возможные источники ошибок.

**Эффект Зеемана в физическом практикуме.** Работкин В.Л., Работкина Л.Р. В сб. "Физика". Вып. 5. М., "Высш. школа", 1977, 53-55. [РЖ 1977 8 A154].

Описаны простая установка для исследования "пространственного квантования" в магнитном поле с помощью интерферометра Фабри-Перо, его конструкция и методы юстировки при сравнительно малом расстоянии между пластинами.

**Определение солнечной постоянной во внеклассном физическом эксперименте.** Eaton B.G., DeGeer Richard, FReier Phyllis. The solar constant: a take home lab. "Phys. Teach.", 1977, 15, № 3, 172-173. [РЖ 1977 10A103].

Приведено описание работы физического практикума для студентов гуманитарных и технических специальностей. Определена солнечная постоянная без помощи какого-либо лабораторного оборудования. Необходимы лишь два пластмассовых стакана, два алюминиевых диска, зачерненных с одной стороны, и пластмассовый мерный шприц. Объемом 20 мл. Оба пластмассовых стакана заполняются на 2/3 тающим льдом, закрываются алюминиевыми дисками (один – зачерненной, другой – блестящей стороной диска) и выставляются на солнце. Измеряется время таяния льда в стаканах, а также количество воды в них. Выведена формула для нахождения солнечной постоянной, в которой учтено влияние температуры окружающей среды. Величина солнечной постоянной составляет 1,0–1,3 кал/см $^2$ ·мин. Предложенная методика может быть использована и для измерения интенсивности излучения сильной лампы.

**Универсальный спектральный прибор для школ и учебных лабораторий высших учебных заведений.** Абдуллаев Т.А., Иванцов Л.М. В сб. "Вопр. физ. формобразов. И фазовых превращений". Калинин, 1977, 150-151. [РЖ 1977 12 A121].

Описан многоцелевой спектральный прибор, блочной заменой преобразуемый в спектроскоп, монохроматор, спектрограф, визуальный и фотоэлектрический спектрофотометр, смеситель цветов, прибор для наблюдения предметов в монохроматических цветах. Обратная линейная дисперсия разработанного прибора  $25 \div 100$  Å/мм, разрешающая способность  $240 \div 140$ , относительное отверстие  $1 \div 5$ .

**Измерение энергии излучения небольшой лампы.** Orpegard Milo. Radiant energy measurement of a small lamp. "Phys. Teach.", 1977, 15, № 6, 362=363. [РЭ 1978 3 А115].

Предложен метод измерения мощности лампы, основанный на измерении с помощью радиационного калориметра энергии ее излучения. Энергия, излучаемая в единицу времени через поверхность, определяется по формуле  $P=4\pi S^2 E$ , где  $S$  – расстояние от нити накала лампы до поверхности поглощающего блока калориметра,  $E$  – величина потока, падающего на единицу поверхности, измеренная в  $Вт \cdot м^{-2}$ . Эта формула справедлива для точечного источника света. В качестве такого источника выбирается маленькая лампочка накаливания с большой интенсивностью свечения. Излучение такой лампы в заданном направлении зависит от положения нити накала лампы относительно этого направления. Средняя величина излучения лампы в различных направлениях может быть определена с помощью фотоэлемента, и из графика зависимости фотоэлектрического тока от угла  $\theta$  между плоскостью нити накала и исследуемым направлением определяется угол, при котором фототок равен среднему значению фототока ( $\theta=30^\circ$ ). Затем в этом направлении с помощью фотоэлемента определяется расстояние, на котором лампу можно рассматривать как точечный источник света, т. е. когда справедлива зависимость: фототок  $I \sim S^2$ . Однако при проведении эксперимента рекомендуется брать несколько меньшее расстояние, при котором чувствительность калориметра к излучению лампы больше. Для лампы мощностью 28 Вт это расстояние составляет 9,0 см. Измерения и расчеты проводились по методу, указанному Мю Опpegардом (см. РЖФиз, 1975, 8А77). Отмечается, что описанный эксперимент полезен для подготовки или замещения эксперимента по измерению энергии, излучаемой Солнцем, помогает освоить методику калориметрических измерений, демонстрирует различные методы измерения одной и той же физической величины.

**Лабораторный эксперимент по изучению закона Стефана с помощью электрической лампы с вольфрамовой нитью накала.** Prasad B.S.N., Mascarenhas Rita. A laboratory experiment on the application of Stefan's law to tungsten filament electric lamps. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 4, 420-423. [РЖ 1978 9А 84].

Описан лабораторный эксперимент по изучению закона Стефана, в котором используются обычные лампы с вольфрамовой нитью накала, а также газонаполненные лампы. В предположении, что излучение вольфрамовой нити постоянно, и вся энергия, выделяемая в нити, идет на излучение, устанавливается зависимость выделяемой мощности от температуры нити накала. Температура нити вычисляется из температурной зависимости сопротивления нити накала. Энергия, выделяемая в нити, находится как функция тока и сопротивления. Показано, что конвекционные потери пренебрежимы для обычных вакуумных ламп и становятся значительными для газонаполненных ламп. Отмечается, что экспериментальная процедура может быть упрощена при использовании ламп малой мощности.

**Простой метод определения постоянной Стефана.** Sacoо M.S. A simple method to determine the Stephen's constant. "Atti Fondaz. G. Ronchi", 1978, 33, № 1, 25-29. [РЖ 1978 11 А90].

Предлагается простой метод определения постоянной Стефана (Стефана-Больцмана), основанный на применении излучающего диска, состоящего из двух медных пластин и расположенного между ними электрического нагревателя. Постоянная Стефана вычисляется на основании результатов измерений силы тока и неапряжения на нагревателе и температуры пластин диска в условиях ста-

ционного нагрева. Техника эксперимента проста и метод рекомендуется в качестве лабораторного практикума для студентов.

**Измерения с лампой накаливания.** Messungen an einer Glühlampe. Vermes Nikolaus. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1979, 28, № 8, 212-213. [РЖ 1980 1 А93].

Описан эксперимент с вакуумной лампой накаливания, в ходе которого изучается изменение сопротивления, силы света и экономичности лампы в зависимости от величины напряжения питания. Показано, как, на основе закона Стефана-Больцмана, можно определить температуру нити лампы по величине подводимой мощности.

**Измерение расстояний при помощи спектрометра.** Distance measurement with a spectrometer. Holmes J.B, m Morgan R.M., King Robert. "Amer. J. Phys.", 1979, 47, 3 5, 472. [РЖ 1980 1 А92].

Описана лабораторная работа по курсу физики высшей школы. В работе изучается метод определения расстояний по параллаксу при помощи простого спектрометра, плоского зеркала и лазера. При проведении измерений спектрометр последовательно располагается в двух положениях, для которых снимаются отсчеты, задающие ориентацию оси камерного объектива по отношению к исследуемому объекту. Значения углов определяются с точностью  $\sim 0,1$ , что дает возможность определять расстояния  $\sim 30$  м с точностью  $\sim 2\%$ .

**Принцип действия Фурье-спектрофотометра инфракрасного диапазона.** How the Fourier transform infrared spectrophotometer works. Strong Frederics C., III. "J. Chem. Educ.", 1979, 56, 3 10, 681-684. [РЖ 1980 5 А129].

Обсуждается принцип действия спектрофотометра 318 S фирмы Willey Corporation (США), предназначенного для изучения спектров поглощения различных веществ в инфракрасном диапазоне. Основными элементами прибора являются интерферометр Майкельсона и кювета с исследуемым веществом. Действие спектрофотометра основано на сравнении дисперсионных кривых двух световых пучков: одного, прошедшего через интерферометр и кювету с поглотителем, и второго, прошедшего только через интерферометр (опорный пучок). Приводится принципиальная схема спектрофотометра, а также характерные спектры поглощения.

**Сравнительные измерения интенсивности солнечного излучения термостолбиком и кремниевым солнечным элементом.** Vergleichende Messung der Sonnenstrahlung mit einer Thermosaule und einer Silicium-solarzelle. Brockmeyer Heinrich. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1979, 28, 3 8, 208-209. [РЖ 1980 1 А94].

Описаны опыты по регистрации излучения лампы накаливания термостолбиком и фотоэлементом, присоединенными ко входам двухкоординатного самопишущего потенциометра. Изменяя расстояние между лампой и приемниками или изменяя напряжение накала лампы, можно убедиться в пропорциональности показаний обоих приемников. Проводя подобные эксперименты с излучением Солнца, можно установить, что в спектре солнечного излучения, достигающего Земли после полудня более интенсивна длинноволновая область, по сравнению с излучением, регистрируемым в утренние часы.

**Простой способ экспериментальной проверки закона Стефана-Больцмана.** Egyszeru módszer a Stefan-Boitzmann torveny kiserleti igazolasara. Szabo Jozsef. "Fiz. szemle", 1979, 29, № 4, 148-149. [РЖ 1980 4 А127].

Описан эксперимент по проверке закона Стефана-Больцмана. В качестве излучающего тела используются лампы накаливания. Энергия излучения пропор-

циональна квадрату тока и сопротивлению нити лампы  $I^2R$ . При проведении опыта необходимо учитывать потери на теплопроводность. Величина потерь пропорциональна первой степени температуры. Температура  $T$  нити определяется экспериментально с помощью формулы  $R=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$ . Результаты измерения представлены в виде зависимости  $I^2R=f(T)$ . первый участок кривой до  $500^\circ\text{K}$  аппроксимируется  $T^m$ , где  $m\sim 1$ , а второй –  $m\sim 4$ .

**Спектроскоп с дифракционной решеткой.** Физический практикум. Под ред. Г. С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 42. С. 283-287.

Измеряется постоянная дифракционной решетки и длины волн излучения ртутной лампы. Определяется угловая дисперсия и разрешающая способность решетки.

**Спектроскоп с призмой.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 43. С. 288-292.

Измеряются показатели преломления стекол для различных длин волн, строятся дисперсионные кривые, определяются угловая, линейная дисперсии и разрешающая способность призм.

**Поглощение света.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 44. С. 292-297.

Изучаются принцип измерения поглощения света с помощью фотокolorиметра КФК-2. Определяются коэффициенты пропускания и оптические плотности растворов.

**Экспериментальное определение второй константы излучения.** An experimental determination of the second radiation constant. Coppens P.J. *Chem. Educ.* 2003. 80. № 11. 1316-1318. [РЖ 04.09-18А.178].

Изложена методика лабораторной работы по определению второй константы излучения. Приведена схема лабораторной установки, в которой в качестве источника излучения использована лампа накаливания с вольфрамовой нитью. Описан порядок математической обработки экспериментальных данных.

**Оценка физического спектра отражения из экспериментов по уравниванию цвета наблюдателем.** Estimating physical reflectance spectra from human color-matching experiments. Kimball R.A., Indow T. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 2002. 99. 3 22. 14607-14610. [РЖ 04.09-18А.180].

**Оптическая и радиационная пирометрия в учебной лаборатории практической физики университета в Касселе.** Optical and radiation pyrometry in the training laboratory of practical physics at the University (Gesamthochschule) of Kassel. Euler Karl-Joachim, Kirchhof Robert, Ortelbach Otto. "Eur. J. Phys.", 1981, 2, № 3, 133-138. [РЖ 1982 10 А97].

Описаны работы физического практикума по оптическим методам определения температуры. Для измерения температуры муфельной печи (от  $750$  до  $1100^\circ\text{C}$ ) использовались разнообразные приборы: пирометр с исчезающей нитью, радиационный оптический пирометр с фотоэлектрической регистрацией и др. Планируется применение сканирующего пирометра. Методом обращения спектральных линий определяется температура пламени по  $\lambda=590\text{ нм}$  (примесь  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и по  $\lambda=670\text{ нм}$  (примесь  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ).

**Радуга. Возникновение и модельные эксперименты.** Der Regenbogen—Entstehung und Modellversuche. Bauer Michael. “Phys. Und Didakt.”, **1981**, 9, № 1, 69-75. [РЖ 1981 11 A134].

Причинами образования радуги являются преломление, отражение, дифракция и интерференция солнечных лучей в дождевых каплях. Размеры капли обычно таковы. Что дифракция и интерференция играют при этом незначительную роль, и образование радуги можно объяснить лишь преломлением и полным внутренним отражением света. Простой расчет показывает. Что для воды ( $n=1,5$ ) наибольшую интенсивность имеет свет, выходящий из капли под углом  $138^\circ$  к направлению падающего света. Под этим углом наблюдается наиболее яркая радуга. Цвета радуги отличаются от спектрально чистых цветов, что обусловлено смещением длинноволновой части спектра с менее интенсивной коротковолновой частью. Описаны лабораторные эксперименты, позволяющие наблюдать радугу с помощью источника света и шара, изготовленного из канифоли. Наблюдение можно производить на экране или непосредственно. Очень красивую радугу можно создать с помощью мелких прозрачных пластмассовых шариков, помещенных на черное сукно и освещаемых лампой. Описан также эксперимент, демонстрирующий роль дифракции в образовании радуги.

**Эксперимент по оптической пирометрии.** An experiment in optical pyrometry. Armstrong H.L. “Amer. J. Phys.”, **1983**, 51, № 1, 89. [РЖ 1983 7 A129].

Описан учебный эксперимент для студентов, в котором измеряются температуры различных источников света – пламени керосиновой лампы, пламени свечи и образцов для красна раскаленного металла. Цветовая температура измеряется как обычным способом, так и при рассматривании источников через нейтральные и цветные фильтры различной плотности. Исследуется связь между интенсивностью света и цветовой температурой. В эксперименте используются две линзы, лампа накаливания с прямой нитью и фильтры.

**Минимальное оборудование для определения постоянной Планка.** Minimal apparatus for determination of Planck's constant. Crandall R.E., Delord J.F. “Amer. J. Phys.”, **1983**, 51, № 1, 90-91. [РЖ 1983 7 A132].

Описан эксперимент, в котором в качестве излучателя используется обычная лампа накаливания с вольфрамовой нитью. Постоянная Планка определяется из отношения интенсивностей излучения, проходящего через одноцветный фильтр при двух подводимых к лампе мощностях. При этом считается, что излучение вольфрамовой нити близко к излучению черного тела. Интенсивность света измеряется простым фотоэлектрическим датчиком. Используя в качестве фильтра зеленый целлофан, получено значение постоянной Планка с точностью 15%.

**Изучение спектра атома водорода.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.18. С. 508-513.

**Изотопический сдвиг спектральных линий.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.19. С. 513-517.

**Опыт Франка и Герца.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л. Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.22. С. 532-536.

**Измерение линий He–Ne-лазера вблизи длины волны 633 нм.** Measurements on the He–Ne laser lines near 633 nm. Steinhaus David W. “Amer. J. Phys.”, **1983**, 51, № 9, 824-825. [РЖ 1984 4 A81].

Красная спектральная линия обычного He-Ne-лазера состоит из нескольких близко расположенных компонент. Чтобы различить эти компоненты, необходимо высокое спектральное разрешение. Этому требованию можно удовлетворить, модифицировав лабораторный интерферометр Фабри-Перо. Расстояние между компонентами линии определяется параметрами резонатора лазера. Общее число наблюдаемых линий определяется тем, сколько собственных частот укладывается в пределах доплеровской ширины линии люминесценции. Это число растет с увеличением температуры и с увеличением общей мощности излучения лазера (т. к. при этом в большем числе компонент интенсивность излучения превышает пороговое значение генерации). Предлагаемый лабораторный эксперимент помимо изучения перечисленных зависимостей, включает также определение поляризации в разных компонентах. Эксперимент выполняется в течение одного лабораторного занятия.

**Экспериментальное определение постоянной Ридберга с помощью дифракционной решетки.** Экспериментально определяне на Ридберг с дифракционна решетка. Иванов Драгия. “Физика” (НРБ). **1983**, 8, № 6, 28-31. [РЖ 1984 5 A153].

Для наблюдения и изучения спектра водорода предлагается использовать лабораторный прибор, предназначенный для экспериментального определения длины волны света с помощью дифракционной решетки с постоянной от 100 до 2000 линий/мм. По длине волны (частоте) света соответствующей линии в спектре 1-го порядка вычисляется постоянная Ридюерга, которая используется в теории строения атома водорода по Бору.

**Катодно-лучевая трубка с тонким электронным пучком. Наблюдательный и интересующийся студент. Ч. 7.** The fine-beam cathode-ray tube and the observant and enquiring student. Part 7. Webb John le P. “Phys. Teach.”, **1984**, 22, № 8, 509-513. [РЖ 1985 6 A169].

Описаны эксперименты по наблюдению и спектральному анализу излучения, вызываемого электронным пучком в специальной демонстрационной катодно-лучевой трубке. Электронный пучок из электронной пушки направляется в шарообразную колбу, помещаемую в магнитное поле катушек Гельмгольца. В колбе содержится гелий при пониженном давлении. Благодаря ионизации атомов гелия траектория электронов в трубке становится видимой. Регулируя величину и направление магнитного поля, добиваются приближения наиболее яркой части траектории к объективу спектрометра. Приведены системы энергетических уровней атомов гелия с электронами, имеющими антипараллельные и параллельные спины (в последнем случае атомы гелия находятся в метастабильном состоянии  $2^3S$ ). Для атомов гелия с антипараллельными спинами электронов наиболее вероятен излучательный переход  $4^1S-2^1P$  (зеленое свечение), для возбужденных атомов гелия с параллельными спинами электронов наиболее вероятным является переход  $3^3D-2^3P$  (желтое свечение). Приводятся рекомендации по методике проведения лабораторной работы студентами.

**Учебные опыты по атомной физике. Применения простого интерферометра Фабри-Перо.** Unterrichtsversuche zur Atomphysik. Anwendungen eines einfachen Fabry-Perot-Interferometers. Koppelman Gerd, Pfaffe Sigurd. “Phys. Und Didakt.”, **1985**, 13, 3 3, 181-190. [РЖ 1986 3 A113].

Прибор позволяет измерять длину волны монохроматического света, наблюдать тонкую и сверхтонкую структуру спектральных линий, уширение линий, с хорошей точностью измерять изотопический сдвиг в водородном и гелиевом

спектрах, а также наблюдать расщепление спектральных линий в магнитном поле (эффект Зеемана).

**К изучению в физпрактикуме зависимости энергии фотонов от частоты излучения.** Фетисов И.Н. “Изв. вузов. Физ.”, 1985, 28, № 9, 113-114. [РЖ 1986 7 А145].

Предлагается усовершенствование лабораторной задачи физпрактикума, в которой изучается зависимость энергии фотонов от частоты излучения. Применение газоразрядной лампы с линейчатым спектром излучения в сочетании с абсорбционным светофильтром обеспечивают необходимую точность при достаточной простоте установки.

**Спектроскоп с дифракционной решеткой.** Физ. практ-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 42. С. 283-287.

**Спектроскоп с призмой.** Физ. практ-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. С. 288-291.

**Спектроскоп с дифракционной решеткой.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Р. 42. С. 283-287.

**Спектроскоп с призмой.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Р. 43. С. 288-291.

**Определение постоянной Стефана-Больцмана и постоянной Планка.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б.П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 19. С. 75.

**Радуга. Явление природы в преподавании физики.** El arco iris. El fenomeno natural en la ensenanza de la fisica. Yuste M., Carreras C. Rev. esp. fis. 1988. 2, № 1. 28-39 (Исп.). [РЖ 1989 1 А128].

Предлагается использовать изучение радуги как явления природы для развития у студентов навыков физического исследования. Описывается содержание пяти лабораторных работ (длительностью 4 часа каждая), посвященных этой теме. Показано, что используя теорию Ньютона-Дирака, учащиеся могут объяснить следующие экспериментальные результаты: 1) форма радуги в виде дуги окружности; 2) значения углов, под которыми наблюдаются первичная и вторичная радуги; 3) спектральный состав радуги и порядок расположения полос разных цветов; 4) существование т. н. полосы Александра; 5) степень поляризации света, рассеянного при образовании радуги. Лабораторные работы помогают студентам глубже усвоить законы отражения и преломления света, формулы Френеля и др., являющиеся фундаментом геометрической оптики, а также теорию рассеяния света.

**Измерение величины дублетного расщепления D-линии натрия посредством интерферометра Фабри-Перо и определение постоянной тонкой структуры.** Амстиславский Я.Е. Сб. науч.-метод. ст. по физ. 1991. № 16. С. 90-100. [РЖ 1991 9 А70].

Обсуждается способ измерения спектральных интервалов величиной в несколько ангстрем посредством интерферометра Фабри-Перо с тонкой воздушной

прослойкой. Приволяются конструктивные особенности и характеристики используемого интерферометра, способ расчета оптимальных параметров установки.

**Лабораторная работа “Цвет и восприятие цвета” в практикуме по общей физике.** Барабанова М.А., Виноградова Н.Б., Сперантов В.В. Сб. науч.-метод. ст. по физ. **1991.** № 16. С. 95-99. [РЖ 1991 9 А69].

Описана серия лабораторных экспериментов, знакомящих студентов с основными явлениями и закономерностями физики цвета и физиологии его восприятия.

**Изучение спектров излучения.** Физический практикум для медиков. Часть III. Т. К. Мюйрсепп, Х. В. Тераль. Тарту. **1991.** Лабораторная работа 7. С. 39-41.

**Исследование спектров поглощения растворов с помощью фотометра.** Физический практикум для медиков. Часть III. Т.К. Мюйрсепп, Х.В. Тераль. Тарту. **1991.** С. 64-72.

**Исследование спектра атома водорода и определение постоянных Ридберга и Планка.** Физ. практ-м. Томск. **1993.** Лаб. работа 3-07. С. 64-68.

**Определение постоянной Стефана-Больцмана и постоянной Планка при помощи оптического пирометра с исчезающей нитью.** Физ. практ-м. Томск. **1993.** Лаб. работа 3-14. С. 73-78.

**Изучение принципов Фурье-спектроскопии в курсе общей физики.** Мальцев А. С. *Преподавание физ. в высш. шк.* **1994.** № 1. 92-96, 106. [РЖ 1997 4 А92].

Рассматриваются аспекты сквозного изучения принципов фурье-спектроскопии в курсе “Оптика”. Комплекс программ для ЭВМ IBM 486DX2 позволяет на базе промышленных и самодельных аппаратных средств решать учебные и научные задачи, показать взаимосвязь физики, математики, теории информации, техники и применение высоких технологий в науке.

**Изучение Фурье-спектроскопии в специальном физическом практикуме.** Веревкин А.А., Ильин В.А., Липатов А.П., Петрова Е.Б., Чернов Д.Я. *Преподавание физ. в высш. шк.* **1994.** № 1, 7-14, 101. [РЖ 1997 4 А93].

Рассмотрены особенности лабораторной работы, поставленной в специальном радиофизическом практикуме педагогического вуза. Изучаются принципы и методы осуществления Фурье-спектроскопии с помощью специально разработанного модельного устройства, работающего в миллиметровом диапазоне волн. В работе экспериментально и теоретически определяется разрешение спектрометра и анализируется применимость критерия Релея при изучении системы из двух монохроматических источников с близкими частотами.

**Метод экспериментального изучения функции Планка в физическом практикуме вуза.** Рязанцев О.В., Таран В.Г., Шульга В.И. Днепродзерж. гос. техн. ун-т. Днепродзержинск, **1995.** 8 с. [РЖ 1996 1 А87].

Предложен метод экспериментального определения испускательной способности нагретых тел (функция Планка) без использования спектральных приборов. В его основу положено электрическое фильтрование фотоэлектронов при внешнем фотоэффекте, вызванном исследуемым излучением нагретого тела. Регистрируется зависимость фототока от обратного напряжения на фотоэлементе и пересчитывается в

соответствующее спектральное распределение испускательной способности нагретого тела. Описана схема лабораторной установки и особенности ее использования. Приведено описание методики измерений и расчетов в условиях практикума вуза применительно к распределению испускательной способности Солнца.

**Изучение Фурье-спектроскопии в физическом практикуме.** Веревкин А.А., Ильин В.А., Липатов А.П., Петрова Е.Б., Чернов Д.Я, Изв. вузов. Физ. **1995.** 38, № 8. С. 125-127. [РЖ 1996 4 А85].

Экспериментально исследуются принципы Фурье-спектроскопии, определяются основные параметры спектрометра и изучается спектр сигналов от источников монохроматического излучения 8-мм диапазона волн. Создан пакет программ, выполняющих сбор информации, ее обработку, визуализацию и запись полученных результатов. В начале каждого измерения запускается программа регистрации интерферограммы, где после задания количеств снимаемых точек начинаются измерения. Из-за большого объема вычислений должен использоваться персональный компьютер достаточно высокого класса.

**Лабораторные исследования спектров с помощью трубы ХК.** Хлыбов Н.Ф., Каширина Н. Н. *Метод. преп. физ. в соврем. условиях : Матер. межвуз. семин., Йошкар-Ола, 26-29 марта, 1995.* Йошкар-Ола, 1995. 27-29. [РЖ 1997 6 А90].

Сконструирована специальная труба, с помощью которой студенты физмата в лаборатории методики физики исследуют как дисперсионные, так и дифракционные спектры испускания и поглощения, проводят спектральный анализ объектов.

**Измерение длины волны инфракрасного излучения в лабораторной работе.** Акатов Р.В., Майер В.В. *Пробл. учеб. физ. эксперим. 1995.* № 1. 46-50, 132. [РЖ 1998 1 А133].

Предлагаются приборы, допускающие возможность сборки экспериментальной установки для измерения длины волны инфракрасного излучения. Выполнив этот эксперимент, учащийся познакомится с одним из методов измерения длины волны невидимого излучения и оценит порядок этой величины.

**Учебная установка для регистрации сверхслабого свечения физических объектов в видимой и инфракрасной областях спектра.** Жаворонков В.И. *Пробл. учеб. физ. эксперим. 1995.* № 1. 60-61, 132. [РЖ 1998 1 А134].

Разработана и создана учебная установка для визуального наблюдения изображений слабосветящихся объектов, а также регистрации их инфракрасных излучений. Приведена блок-схема установки.

**Ультрафиолетовый фотоприемник в физическом практикуме.** М.И. Федоров. *ФОВ. 1997.* Т. 3, № 2, с. 92.

**Простой ручной спектрометр.** A simple hand-held spectrometer. Daw H.A. *Amer. J. Phys. 1997.* 65. № 3. 251-254. [РЖ 1998 6 А145].

**Ультрафиолетовый фотоприемник в физическом практикуме.** М.И.Федоров. *ФОВ. Т. 3, № 2, 1997.* С. 92–94.

**Применение метода спектральных отношений в лабораторной работе по тепловому излучению.** А.М.Погорельский, В.В.Христофоров. *ФОВ.* Т. 3, № 2, 1997. С. 90–91.

**Исследование эффективности лампы накаливания фотометрическим методом.** Badanie sprawnozciswieltnej zarowki metoda fotometryczna. Borska Alicja, Tratkiewicz Tomasz. “*Fiz. Szk.*”, 1980, 26, №№3, 182-185. [РЖ 1980 11 А98].

Предлагаемая лабораторная работа рекомендуется как иллюстративный материал при изучении фотометрических понятий и единиц. Цель работы – нахождение эффективности, т. е. отношение светимости к мощности лучистой энергии во всем спектральном иньервале. Показано, что эффективность возрастает с мощностью потребляемого тока как степенная функция ( $\eta \sim P^n$ ). Экспериментальная установка состоит из исследуемой и эталонной лампы накаливания, а также фотометра, который располагается между лампами и действует по принципу выравнивания освещенностей световых полей. Увеличением накала исследуемоц лампы находят точку, соответствующую равным освещенностям. Зная угол наклона к оси абсцисс прямой  $\lg(y/x)=f(P)$ , где  $y, x$  – соответственно расстояния от фотометра до исследуемой и эталонной лампы, определяют показатель  $\gamma$  и эффективность.

**Исследование чувствительности глаза в области ультрафиолета.** Голдин А.В., Сперантов В.В. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1996. № 6. 40-44. [РЖ 1997 10 А161].

Описана методика, позволяющая в условиях студенческого лабораторного пратктикума подтвердить факт чувствительности глаза к ультрафиолетовому излучению. Результаты эксперимента дают основание предполагать существование двух типов реакции глаза на ультрафиолет и оценить характерные для этих типов значения длин волн, при которых зрительные ощущения исчезают.

**Спектроскопия вынужденного Рамановского рассеяния малых молекул.** Эксперимент в физико-химической лаборатории. Stimulated Raman spectroscopy of small molecules: A physical chemistry laboratory experiment. Grant Ch.A., Hardwick J.L. *J. Chem. Educ.* 1997. 74. № 3. 318-321. [РЖ 1997 10 А165].

Описана установка для наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния и когерентного антистоксового комбинационного рассеяния в свете Nd:YAG лазера. Измерены фундаментальные частоты 2942,7; 992,3 и 2115,5; 945,2  $см^{-1}$  ацетонитрила, бензола и их дейтероаналогов и частоты 2, 3 4-й гармоник.

**Лабораторная работа “Фотометрическое исследование лампы накаливания”.** Захаров Ю.А., Нагулин К.Ю. *Использ. Науч.-техн. достиж. В учеб. физ. эксперим. Пенз. гос. пед. ун-т.* Пенза. 1997. 23-26. [РЖ 1999 1 А123].

Представлена лабораторная работа, в которой фотометрические параметры лампы накаливания определяются с помощью люксметра. Ее достоинствами являются сравнительная простота в изготовлении и обслуживании экспериментальной установки, англядность опытов и широкий круг имеющих место оптических явлений.

**Лабораторная работа “Тепловое излучение”.** Фетисов И.Н. *Учеб. эксперим. в высш.шк.* 1998. № 2. 45-48. [РЖ 00.03-18А.138].

С помощью простой установки изучается температурная зависимость испускательной способности модели абсолютно черного тела, определяется постоянная Стефана-Больцмана, изучается энергетическая фотометрия, демонстрируется закон Кирхгофа.

**Простой тепловой приемник для измерения энергии оптического излучения в учебной лаборатории.** Фетисов И.Н. *Учеб. эксперим. в высш.шк.* 1998. № 2. 12-15. [РЖ 00.03-18А.139].

Приводится описание полупроводникового компенсационного болометра с электрическим замещением, который легко изготовить из терморезистора косвенного подогрева.

**Определение светового потока протяженных разрядных источников света косвенным методом.** Свешников В.К., Королев В.И. *Учеб. эксперим. в высш.шк.* 1998. № 1. 35-38. [РЖ 00.03-18А.140].

Рассматриваются методы определения светового потока люминесцентной лампы, основанные на определении ее средней яркости или путем сравнения силы света лампы с известной силой света лампы накаливания.

**Наблюдение спектральных линий Солнца в астрофизическом практикуме.** Виноградова Н.Б., Максименко Е.В. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1999. № 16. 24-25. [РЖ 01.02-18А. 150].

Как правило, постановка лабораторных работ по астрофизике вызывает значительные трудности, в первую очередь потому, что современная наука пользуется сложными и дорогостоящими приборами, недоступными обычному педагогическому вузу. Поэтому в большинстве случаев астрономический практикум ограничивается работами по астрометрии, звездными картами и другими материалами иллюстративного характера. В статье описана лабораторная работа по изучению спектра Солнца, успешно используемая в общем физическом и астрофизическом практикумах педагогического вуза.

**Лабораторная работа по исследованию инфракрасных спектров.** Жаворонков В.И., Жаворонков С.И. *прбл. Учеб. физ. эксперим.* 2001. № 11. 41-42, 102. [РЖ 02.01-18А.111].

Целью работы является наблюдение спектров испускания различных источников (водородной, ртутной, неоновой, азотной, гелиевой, аргоновой ламп и окрашенного солями пламени), спектров поглощения различных растворов в инфракрасной области ( $0,8 \div 1,3$  мкм), а также измерение длин волн излучения и поглощения. Дана схема установки для наблюдения спектров испускания различных источников (газов и паров) в инфракрасной области спектра. В работе используются монохроматор, однокамерный и двухкамерный электронно-оптические преобразователи.

**Экспериментальное изучение физики цвета.** Un estudio experimental de la fisica del color. De Pena Segador L., Fernandez M. Fernandez, Cruz R. Fernandez. *Rev. esp. fis.* 2001. 15. № 2. 46-48. [РЖ 03.02-18А.153].

**Установка для проведения лабораторных работ по квантовой физике на основе прибора ночного видения.** Выборнов Ф.И., Чандаева С.А. *Учеб. физ.*

*эксперим. и его совершенствование. Науч.-методич. конф. Пенза, 22-24 нояб., 2000: Межвуз. сб. науч. тр. Пенза, 2002. 56-57. [РЖ 03.08-18А.171].*

Основным содержанием работ цикла “Квантовая физика” лабораторного практикума по физике Нижегородского филиала военно-инженерного университета является изучение спектров излучения – линейчатых и сплошных. Приведена схема лабораторной установки на основе прибора ночного видения ПНВ-57. Установка позволяет осуществить: 1) градуировку монохроматора в видимой и в инфракрасной области; 2) изучение спектра атома водорода и расчет значения постоянной Ридберга; 3) изучение законов фотоэффекта и определение работы выхода электронов соединений цезия по красной границе фотоэффекта с катода электронно-оптического преобразователя ПНВ; 4) определение технических характеристик электронно-оптического преобразователя ПНВ.

**Проведение экспериментов с целью проведения широкого исследования: Гете, Ленд и теория цветов.** Exploratory experimentation: Goethe, Land, and color theory. Ribe N., Steinle Fr. *Phys. Today*. 2002. 55. № 7. 43-49. [РЖ 03.06-18А.163].

На примерах исторических опытов Гете (Wolfgang von Goethe “Theory of Colors”, 1810 г.), наблюдавшего через призму картины окраски в изображениях чернобелых фигур, и сравнительно недавних опытов Лэнда, подтвердивших идею константности зрительного восприятия цвета, представлен особый класс экспериментов, проводимых с целью широкого исследования сложного предмета (без жесткого выделения простых одномерных связей, примером чего в работе служат опыты Ньютона). В качестве дополнительной иллюстрации названного класса исследований приведены две экспериментальные работы Фарадея по электромагнетизму.

**Спектральный анализ.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А. В. Червяков. М. 2003. Задача 6. С. 133-170.

Целью работы является определение основных характеристик дифракционного спектрометра и проведение качественного спектрального анализа.

В частности, определяется спектральная чувствительность экспериментальной установки, линейная дисперсия спектрометра, получается зависимость разрешающей способности спектрометра от ширины его щелей, устанавливается тип газа по спектральному составу его излучения.

**Электронные спектры поглощения.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. 2003. Задача 7. С. 171.

Изучаются спектры поглощения полимерных пленок, проверяется закон Бугера-Ламберта-Бера.

**Определение температуры пламени методом обращения спектральных линий.** Шеффер Н.И., Букина Н.В., Карелов В.В. *Физ. в шк.* 2003. № 2. 45-50. [РЖ 04.01-18А.158].

Рассматривается природа явления обращения спектральных линий с точек зрения волновой электромагнитной и квантовой теорий света. Приводится описание работы по наблюдению в спектре пламени линии испускания и поглощения желто-голублета натрия на фоне сплошного спектра электрической лампы накаливания и определению температуры пламени методом обращения спектральных линий. Представлена схема установки, последовательность возможного варианта выполнения работы, контрольные вопросы, методические указания, оформление результатов эксперимента в графической и табличной формах.

**Спектроскопия Солнца как вариант выполнения классической лабораторной работы по изучению сериальных закономерностей в спектре водорода.** А.Р. Нестеренко. ФОВ. **2005.** Т. 11, № 4, с. 102.

В статье будет представлен один из способов регистрации спектров, который был разработан и применяется в настоящее время в Учебном Астрофизическом Комплексе “Вега”. Проведена идентификация основных фраунгоферовых линий поглощения в спектре Солнца в диапазоне 350 – 800 нм. Наблюдение и измерение линий поглощения в серии Бальмера на Солнце и на лабораторной установке еще раз подтверждает универсальность законов природы.

**Конструкция и калибровка недорогого интерферометра Фабри-Перо для экспериментов по спектроскопии.** Construction and calibration of a low cost Fabry–Perot interferometer for spectroscopy experiments. Fletcher Colin D., Orzel Chad. *Amer. J. Phys.* **2005.** 73. № 12. 1135-2238. [РЖ 07.05-18А.146].

**Универсальный спектрофотополяриметрический комплекс для учебно-научных целей.** Макаров Л.В., Нагулин К.Ю., Гильмутдинов А.Х. ( *Межд. молодежн. Научн. Шк. “Когерентн. Оптика и оптич. спектроскопия”*, Казань, 27-29 окт., 2005. Сб. ст. Вып. 9. Казань. **2005.** 193-196. [РЖ 07.02-18А.144].

Разработана конструкция и создан опытный образец недорогого, малогабаритного, автоматизированного, модульного универсального спектрофотополяриметрического комплекса широкого применения открытой конфигурации. Путем простейшей замены съемных модулей, спектрофотометр может работать как атомно-абсорбционный спектрофотометр, эмиссионный фотометр, фотоколориметр, сканирующий спектрофотометр ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного диапазонов и спектрополяриметр. Прибор сопровождается учебно-методическим обеспечением, позволяющим применять его в курсах “Оптика”, “Спектроскопия” и “Аналитическая химия”.

**Изучение основ спектрального анализа на базе “Виртуального монохроматора”.** В.А. Белавин, В.А. Квливидзе, М. В. Терешонок. ФОВ. **2006.** Т. 12, № 2, с. 96.

В работе представлена концепция реализации виртуального эксперимента по изучению основ спектрального анализа и работы оптического монохроматора физического практикума вуза. Описана технология моделирования экспериментальных спектров, основанная на реальной спектральной базе данных, полученной на высокоточном научном спектральном оборудовании, а также методика выполнения соответствующей лабораторной задачи практикума.

**Спектрограф с ПЗС-детектором, собранный студентами в помощь при обучении для понимания функций спектрометрии и использования ее свойств.** A student assembled spectrograph with a CCD detector to assist with students' understanding of spectrometry. Grove T.T., Masters M.F. *Eur. J. Phys.* **2007.** 28. № 4. 747-753. [РЖ 09.01-18А.111].

**Эксперимент по спектроскопии внутрирезонаторного затухания для продвинутой лабораторной работы студентов.** Cavity ring down spectroscopy experiment for an advanced undergraduate laboratory. Stacewicz T., Wasylczyk P., Kowalczyk P., Semczyk M. *Eur. J. Phys.* **2007.** 28, [РЖ 09.01-18А.112].

**Наблюдение солнечного спектра в Доме науки.** Observing the solar spectrum at the House of Science. Johansson K.E., Kozma C., Nilsson Ch. *Phys. Educ.* **2007.** 42. № 1. 41-44. [РЖ 09.01-18A.113].

**Эксперименты по смешиванию цветов с помощью спектрофотометра.** Experiments on subtractive color mixing with a spectrophotometer. Gilbert P.U. P. A., Haerberli W. *Amer. J. Phys.* **2007.** 75. № 4. 313-319. [РЖ 09.02-18A.100].

**Оптические эксперименты, использующие минилампы с красными, зелеными и голубыми светодиодами.** Optical experiments using mini-torchers with red, green and blue light emitting diodes. Kamata Masahiro, Matunaga Ai. *Phys. Educ.* **2007.** 42. № 6. 572-578. [РЖ 09.08-18A.120].

Разработаны два типа оптических экспериментов с использованием явлений цветового смешения и флуоресценции. Эксперименты осуществляются с помощью миниламп со светодиодами, которые излучают три первичных цвета. Разработанные эксперименты предлагаются в качестве учебных лабораторных работ для студентов.

**Насколько хороши мои солнцезащитные очки?** How good are my sunglasses? Zetic K. *Phys. Educ.* **2007.** 42. № 1 24. [РЖ 09.08-18A.121].

При изложении студентам темы о влиянии ультрафиолетового излучения на здоровье предложено воспользоваться солнцезащитными очками. Описан ряд демонстрационных опытов, для проведения которых использованы также спектрометр с рабочим диапазоном от 405 до 576 нм, две лампы в качестве источника ультрафиолетового излучения и обычное стекло. Одна лампа – флуоресцентная, в другой используется фотоэлектрический эффект. Проведен сравнительный анализ спектров излучения.

**Изучение спектра излучения нагретого вольфрама.** Шапочкин М.Б. *Физ. обзор. в вузах.* **2008.** 14. № 1. 35-41, 121. [РЖ 08.10-18A.118].

Описываются исследования по измерению распределения энергии излучения в спектре вольфрама. Показано, что результаты эксперимента хорошо иллюстрируют распределение Планка для фотонов бозе-частиц, имеющих нулевой спин. Предлагаемые измерения энергии излучения в спектре вольфрама позволяют студенту “убедиться” в том, что распределение Планка применимо для описания излучения твердого тела. Экспериментальное “подтверждение” в рамках одного эксперимента законов Планка, Вина и Стефана-Больцмана дает зримую связь законов квантовой физики с законами классической физики. Описываемые исследования подразумевают возможность выполнения заданий решением задач, дополняющих положения теории и иллюстрирующих область практического применения квантовой статистики.

**Исследование спектральных зависимостей оптического поглощения в нелинейных кристаллах в лабораторном физическом эксперименте.** С.М. Шандаров, М.Г. Кистенева, А.С. Акрестина и др. *ФОВ.* **2011.** Т. 17, № 1, с. 68-74.

Рассмотрено применение лабораторного комплекса, используемого для исследования спектральных зависимостей оптического поглощения в нелинейных и фоточувствительных материалах на них различных воздействий, в процессе проблемно-ориентированного обучения студентов по направлениям подготовки “Электроника и микроэлектроника”, “Фотоника и оптоинформатика” и специальности “Электронные приборы и устройства”.

## Глава 6

### ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ДИСПЕРСИЯ

**Определение показателя преломления стеклянной призмы спектрометром.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 50. С. 149.

**Определение показателя преломления твердых тел тоталь-рефлектометром Кольрауша.** Физический практикум. А.П. Соколов. М. 1909. Р. 51. С. 152.

**Определение коэффициента преломления и дисперсии оптического стекла при помощи спектрометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 64а. С. 290-298.

**Определение коэффициента преломления твердых тел при помощи тотальрефлектометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 64б. С. 298-301.

**Определение коэффициента преломления жидкостей при помощи рефрактометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 64с. С. 301-304.

**Определение коэффициентов преломления кристаллов при помощи кристалл-рефрактометра.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 67а. С. 321-324.

**Определение показателя преломления, дисперсии и разрешающей силы стеклянной призмы спектрометром.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В. И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 73. С. 463-472. 1962. Задача 102. С. 588-597. 1968. Задача 128. С. 425-434.

Показатель преломления изотропного твердого прозрачного вещества определяется по измеренному преломляющему углу призмы из данного вещества и по углу наименьшего отклонения параллельного пучка монохроматического света, прошедшего призму. Дисперсия стеклянной призмы и ее разрешающая способность определяются по ширине светового пучка, падающего на призму.

**Определение показателя преломления жидких и твердых тел рефрактометром Пульфриха.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 74. С. 472-476. 1962. Задача 103. С. 597-602. 1968. Задача 129. С. 434-438.

Используемый метод состоит в определении предельного угла преломления скользящего пучка света, падающего на границу раздела двух сред (исследуемое вещество и эталонная стеклянная призма).

**Определение размеров малых объектов и определение показателя преломления прозрачных материалов с помощью микроскопа.** Физ. практикум.

Рук-во к практ. занятиям в физ. лаб. Часть 3. Волновые процессы и оптика. Под ред. Г.И. Красовской. М., 1957. Лаб. работа № 22. С. 18-25.

**Преломление на цилиндрической поверхности.** Армстронг, Хокинс (Refraction at a single cylindrical surface. Armstrong D.M.G., Hawkins A.E.), School Sci. Rev., 1957, 36, № 137, 113-115. [РЖ 1958 № 12 26653].

Используется стеклянный цилиндр толщиной 2 см и диаметром 10 см, в котором просверливаются перпендикулярно его основанию узкие отверстия на разных расстояниях от оси, которые рассматриваются как объекты, расположенные на разных расстояниях от преломляющей поверхности. Поворотом цилиндра нужное отверстие устанавливается на его диаметре. При рассматривании глазом отверстие кажется находящимся ближе или дальше, чем в действительности. Положение изображения отмечается воткнутой булавкой, головка которой видна поверх цилиндра. По измеренным расстояниям между объектом и изображением может быть составлен соответствующий график. Он представляет собой прямую, по наклону которой может быть определен показатель преломления.

**Студенческая лабораторная работа по оптике.** Tuttle Elizabeth R., Pierce John G. Laboratory problem for students in intermediate optics. "Amer. J. Phys.", 1960, 28, № 9, 814-815. [РЖ 1961 8A76].

Рассматривается явление трехкратного внутреннего отражения части лучей, падающих на грань треугольной стеклянной призмы с преломляющим углом  $<90^\circ$ , наблюдаемое в опыте по определению коэффициента преломления по методу наименьшего угла отклонения. Рассматриваемые лучи выходят из призмы под тем же углом, под каким они на нее падают. Поэтому линия, полученная путем трехкратного внутреннего отражения, имеющая цветность источника света, всегда совпадает с цветной линией спектра, коэффициент преломления которой определяется, при установке призмы на наименьший угол отклонения лучей этой цветной линии. Призму можно установить на наименьший угол отклонения лучей данной цветности с точностью до 5", тогда как при обычном способе точность установки не превышает  $0,5^\circ$ .

**Изучение зависимости показателя преломления призмы от длины световой волны при помощи гониометра.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . Работа 40. С. 157-162.

**Измерение поглощения света твердыми и жидкими фильтрами при помощи спектрофотометра.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . Работа 44. С. 171-177.

**Определение показателя преломления стекла при помощи микроскопа.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . Работа 35. С. 137-139.

**Лабораторная работа по определению показателя преломления жидкости.** Cjntet. Exercices pratiques sur le dioptré plan. "Bull. Union physicians". 1960, 55, № 455, 269-271. [РЖ 1961 9A54].

В работе используется лупа, две линейки, сделанные из дюралюминия или нержавеющей стали, с миллиметровыми делениями и нулем на конце, стеклянный стакан высотой  $\sim 10$  см и маленький плоский предмет. На дно стеклянного сосуда кладут предмет, после чего сосуд ставят на подставку лупы. Затем наводят лупу на предмет путем вертикального перемещения вдоль штатива, оставляя кремальеру лупы неподвижной, и наливают в сосуд дистиллированной воды (высотой 2 см). При помощи линейки, погруженной в жидкость и касающейся концом предмета, измеряют глубину жидкости  $p$ . Путем поворота кремальеры наводят лупу на предмет и при помощи второй линейки измеряют высоту  $z$ , на которую нужно поднять лупу. Расстояние  $p'$  от мнимого изображения до границы воздух–вода может быть получено как разность  $p'=p-z$ . Глубину жидкости постепенно увеличивают и по результатам измерений строят график  $p'=f(p)$ . Величину показателя преломления определяют как  $p/p'$ . Опыты повторяются с другими жидкостями, например, с бензином или спиртом.

**Определение среднего показателя преломления стеклянной призмы с помощью фокометра.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–02. С. 25.

**Определение показателя преломления стеклянной пластинки при помощи микроскопа.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–06. С. 40.

**Определение показателя преломления жидкостей с помощью рефрактометра Аббе.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–07. С. 43.

**Изучение поглощения света в жидкостях и твердых телах.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–23. С. 117.

**Изучение температурной зависимости показателя преломления жидкостей с помощью рефрактометра ИРФ-23.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–09. С. 50.

**Исследование дисперсии показателя преломления “методом крюков” Рождественского.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 130. С. 835-847. 1968. Задача 157. С. 679-691.

Цель настоящей работы: 1) наблюдение явления дисперсии и поглощения света в линейчатом спектре; 2) ознакомление с работой интерферометра Рождественского и с методом скрещенных дисперсий; 3) изучение “метода крюков” Рождественского; 4) количественное определение дисперсии паров Na вблизи их линий поглощения.

**Определение показателя преломления стеклянной призмы и построение дисперсионной кривой.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение ато-

ма). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. **1962**. Омск. Лаб. работа 31. С. 49-57.

**Определение показателя преломления стекла и построение дисперсионной кривой.** С. 49-57. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. Лабораторные работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Методическое пособие по физическому практикуму. Часть III. Сибирский авто-дор. Ин-т им. В.В. Куйбышева. **1962**. 143 с.

**Определение зависимости показателя преломления призмы от длины световой волны.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. **1962**. Работа 5. С. 29-35.

**Изучение поглощения в твердом теле.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962**. Работа 4. С. 24-28.

**Определение показателя преломления стекла при помощи микроскопа.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практ-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А. Майер и др. **1962**. Омск. Лаб. работа 27. С. 42-48.

**Определение показателя преломления и средней дисперсии жидкостей и твердых тел с помощью рефрактометра Аббе.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В. И. Ивероной. Часть четвертая. Оптика. **1962**. Задача 104. С. 602-606. **1968**. Задача 130. С. 438-443.

В задаче измеряются: 1) показатели преломления эталонных смесей глицерина в воде, строится график зависимости показателя преломления от концентрации раствора, измеряется показатель преломления смеси с неизвестным содержанием глицерина и по графику определяется концентрация глицерина; 2) измеряется показатель преломления стекла; 3) измеряется средняя дисперсия испытуемого стекла или жидкости. Основа установки – рефрактометр ИРС-22. Призмы изготовлены из тяжелого стекла (флинт), показатель преломления которого больше 1,70.

**Определение дисперсии стеклянных призм с помощью гониометра.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 61. С. 351-356. **1973**. Работа 61. С. 356-361.

**Измерение показателя преломления стеклянной пластинки с помощью микроскопа.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л. Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 59. С. 342-346. **1973**. Работа 60. С. 352-356.

**Измерение показателей преломления жидких и твердых тел с помощью рефрактометра Аббе.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964**. Работа 60. С. 346-351.

**Показатель преломления льда.** Horton George W. Index of refraction of ice. "Amer. J. Phys.", **1964**, 32, № 4, 320. [РЖ 1965 1 А97].

Практическая проверка студентами формул для расчета линз может производиться при изготовлении в лабораторных условиях линз из льда. Для этого используются два сложенных часовых стекла, между которыми вводится кипяче-

ная вода (для устранения растворенного воздуха). Стекла с водой помещают в холодильник и замораживают. Вычисленное по известным значениям радиусов кривизны часовых стекол и показателю преломления льда (1,29– 1,36) фокусное расстояние линзы сравнивается с измеренным.

**Аномальная дисперсия и метод “крюков” Д.С. Рождественского.** Перскальскис Б.Ш., Ларин В.Л. “Изв. высш. учебн. заведений. Физика”, 1965, № 3, 171-173. [РЖ 1966 2 А74].

Для ознакомления студентов с методом “крюков” Д.С. Рождественского при исследовании аномальной дисперсии в Московском университете собрана установка на базе интерферометра Жамена ИЗК-453, использование которого возможно, если для регистрации спектров применяется фотопленка высокой чувствительности. Установка состоит из интерферометра, лампы накаливания СЦ-62Г, двух кварцевых трубок длиной 50 см и диаметром 4 см, коллиматорного объектива с  $F \approx 200$  мм, призмы Аббе (или реплики дифракционной решетки) и длиннофокусного объектива фотоаппарата “Зенит”. При определении длины волны, соответствующей вершине “крюка”, спектром сравнения служит спектр Fe.

**Исследование дисперсии стеклянной призмы.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 3. С. 18-25.

**Исследование поглощения света.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 4. С. 26-30.

**Изучение поглощения света в твердом теле.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И.Е. Иродова. 1967. Работа 4. С. 24-28.

**Опыты по проверке закона преломления света.** Krumm Erich. Vom Brechungsgesetz des Lichtes. “Prax. Naturwiss.”, 1967, A 16, № 6, Physik, 144-147. [РЖ 1968 2 А69].

Метод трассирования луча света с помощью булавок применен для проверки закона преломления света в формулировке Снеллиуса (отношение отрезков отклоненного и неотклоненного луча, измеренных от точки падения до любой линии, перпендикулярной плоскости раздела и лежащей в плоскости падения света, постоянно), в формулировке Декарта (отношение проекций равных отрезков неотклоненного и отклоненного луча на плоскость раздела постоянно) и в ныне принятой формулировке (отношение синусов углов падения и преломления постоянно).

**Изучение дисперсии, отражения и собственных частот на волновой машине.** Burgel В.А. Dispersion, reflection, and eigenfrequencies on the Wale Machine. “Amer. J. Phys.”, 1967, 35, № 10, 913-915. [РЖ 1968 7 А78].

Используемая в качестве пособия для обучения студентов волновая машина, разработанная лабораториями фирмы Bell Telephone и изготавливаемая фирмой Allegri-Tech, состоит из ряда идентичных железных стержней, находящихся на одинаковых расстояниях друг от друга и заземленных перпендикулярно на общем крутильном стержне. В невозмущенном состоянии инерционные стержни находятся в одной плоскости, и их центр тяжести лежит несколько ниже крутильного стержня. В связи с тем, что результаты экспериментов, проведенных студентами на этой машине, находятся в противоречии с теорией, разработанной в книге J. N. Shive, Similarities in Wale Behaviour, автор дает упрощенный вариант теории волновой маши-

ны, учитывающий ее дискретное строение. В рамках этой теории появляется возможность объяснить наблюдаемую дисперсию. Приведены вывод дисперсионного соотношения, формулы отражения при фиксированном и свободном конце и соответствующие собственные частоты. Проведено сравнение фазовых скоростей, наблюдаемых на типовой волновой машине, с вычисленными.

**Определение показателя преломления стеклянной призмы спектрометром.** Физ. практ.-м. Оптика. Часть 1. Саранск. 1971. С. 3-9.

**Определение показателя преломления стекла при помощи микроскопа.** Физический практикум. Часть 1. Оптика. Мордовский гос. ун-т. Саранск. 1971. С. 45–47.

**Экспериментальная проверка формул Френеля-Эйри для системы воздух-стекло-воздух.** Shaw D.E., Wunderlich Francis J. Experimental verification of the Fresnel and Airy equations for an air-glass-air system. "Amer. J. Phys." 1972, 40, № 12, 1791-1793. [РЖ 1973 5 A75].

Описаны два эксперимента для студенческой лаборатории по измерению коэффициента пропускания стеклянной пластинки как функции угла падения. В одном опыте пластинка имеет слегка непараллельные поверхности, что исключало эффект многократной интерференции волн, в другом – поверхности были параллельными, что позволило наблюдать эффект многолучевой интерференции. Экспериментальная установка включала He–Ne ОКГ (~0,5 мВт), поляризатор, стеклянную пластинку, гониометр, фокусирующую линзу, кремниевый солнечный элемент в качестве приемника света и микроамперметр. Полученные результаты позволили проверить формулы Френеля для случая различной поляризации падающего света в функции угла падения, получить зависимость коэффициента пропускания в функции угла падения для многолучевой интерференции.

**Измерение отраженной и проходящей энергии вблизи критического угла.** Shaw D.E., Hones M.J., Wunderlich F.J. Measurements of reflected and transmitted energies near the critical angle. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 4, 561-563. [РЖ 1973 10 A109].

Описана лабораторная работа по измерению коэффициентов пропускания и преломления излучения в зависимости от угла падения. В работе используются He–Ne-лазер мощностью 0.5 мВт, поляризатор, стеклянная призма с углами 45°–90°–45°, кремниевый фотодетектор и микроамперметр. Измеряются доли проходящей и преломленной энергий вблизи угла полного отражения и показатель преломления стекла. Эти же величины определяются по формулам Френеля и сравниваются с измеренными.

**Эллипсометрические измерения на тонких пленках, полученных тепловым испарением.** Hilton John, Hilton Wallace A. Ellipsometric measurements on thermally evaporated thin films. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 5, 702-705. [РЖ 1973 10 A114].

Описана работа оптического раздела студенческого физического практикума. Тонкие алюминиевые пленки (толщиной 15–700 Å) получены путем испарения алюминия при давлении  $10^{-5}$  мм. рт. ст. С помощью эллипсометрического метода Друде измеряются толщина пленок и значения угла падения света, при котором фаза световой волны изменяется на 90°, а также угла главного азимута, при котором от-

ношение амплитуды параллельной компоненты электрического вектора отраженного света к соответствующей амплитуде перпендикулярной компоненты минимально.

**Определение показателя преломления жидкости методом вогнутого зеркала.** Коба В.В. “Физика в школе”, 1973, № 1, 54-55. [РЖ 1973 4 А125].

Для определения показателя преломления жидкости методом вогнутого зеркала проводят следующий опыт. Кладут вогнутое зеркало на стол, перпендикулярно его главной оптической оси располагают предмет и передвигают его вдоль этой оси до совмещения с его действительным изображением. Такое совмещение возможно, когда предмет находится в оптическом центре вогнутого зеркала. Измерив расстояние от этой точки до полюса зеркала (равное в данном случае радиусу кривизны  $R_1$ ), находят фокусное расстояние  $F_1$  этого зеркала ( $F_1=R_1/2$ ). Затем наливают в вогнутое зеркало немного воды и определяют аналогичным образом фокусное расстояние  $F_0$  получившейся системы водяная линза – зеркало. Показано, что показатель преломления жидкости (например, воды)  $n=F_1/F_0$ .

**Измерение коэффициента преломления жидкостей с помощью лазера.** Noll Ellis D. Measuring the index of refraction of liquids with a laser. “Phys. Teacher”, 1973, 11, № 5, 307-309. [РЖ 1973 9 А82].

Описаны два лабораторных эксперимента, в которых с помощью He–Ne-лазера определяется коэффициент преломления жидкостей. В первом эксперименте исследуемая жидкость заполняет круговой цилиндр емкостью 200 мл. Во втором эксперименте в качестве резервуара для жидкости используется полукруговой прозрачный пластмассовый цилиндр, а свет направляется на цилиндр под критическим углом. Проведение простых математических выкладок с использованием простейших геометрических построений позволяет легко определять коэффициент преломления любой жидкости.

**Лабораторная работа “Определение показателя преломления прозрачной пластинки с помощью микроскопа”.** Димитров Г. Лабораторна оабота “Определяне показателя на пречупване на прозрачна пластинка с помошта на микроскоп”. “Мат. и физика”. (НРБ), 1973, 16, № 4, 27-29. [РЖ 1974 3 А118].

Описан лабораторный эксперимент по изучению избирательного рассеивания солнечного света частицами атмосферы. Экспериментальное оборудование состоит из резервуара, наполненного водой, источника белого света и экрана. Перед началом эксперимента в резервуар добавляют  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и концентрированную соляную кислоту. По мере протекания химической реакции можно наблюдать, как пропущенный через него белый свет будет приобретать сначала синюю окраску, затем желто-оранжевую и, наконец, красную. Описываемый эксперимент позволяет также исследовать поляризацию проходящего света.

**Определение показателя преломления стекла.** Palmer G., Clarc T.A. Determination of the refractive index of glass. “Phys. Educ.”, 1976, 11, № 6, 424-425. [РЖ 1977 4 А110].

Описан метод измерения показателя преломления вещества с помощью интерферометра Майкельсона, когда образец в виде плоскопараллельной пластинки помещают в одно из плеч интерферометра. Поворот пластинки увеличивает длину пути луча внутри нее, что приводит к смещению интерференционных полос. Источником света служит He–Ne-лазер. Для вычисления показателя пре-

ломления  $\mu$  использована приближенная формула  $\sin^2 i = n\lambda/t(1-1/\mu)$ , где  $i$  – угол поворота пластинки,  $t$  – толщина пластинки,  $n$  – номер полосы. Для удобства отсчета больших значений  $n$  рекомендуется фотоэлектрическая регистрация движения интерференционных полос.

**Измерение показателя преломления методом сравнения действительной и кажущейся толщины образца.** Greenslade Thomas B., Jr. Index of refraction by the apparent thickness method. "Phys. Teach.", 1977, 15, 3 2, 114-115. [РЖ 1978 1А59].

Обычно в лабораторных опытах измерение показателя преломления производится методом сравнения истинной и кажущейся толщины образца – плоскопараллельной пластины, причем толщина измеряется с помощью микроскопа с горизонтальной микрометрической подачей. При отсутствии такого микроскопа показатель преломления может быть измерен с помощью микроскопа другого типа, у которого ось строго зафиксирована в направлении, перпендикулярном направлению перемещения тубуса. При измерениях показателя преломления на предметный столик такого микроскопа помещается лист белой бумаги с нанесенной меткой, тубус микроскопа устанавливается под некоторым углом к нормали к плоскости пластины. Для фиксирования этого угла рекомендуется использовать чертежный треугольник. Тубус микроскопа сначала фокусируется на метке (точке) на листе бумаги, затем на этот лист помещается плоскопараллельная стеклянная пластина, и микроскоп вновь фокусируется на метке. Показатель преломления вычисляется из значений расстояния между двумя положениями тубуса микроскопа и истинной толщины пластинки. Описанный метод может также быть применен для измерения показателя преломления жидкости. В этом случае на предметный столик микроскопа помещается прямоугольный сосуд с исследуемой жидкостью.

**Простой точный способ определения показателя преломления призмы методом минимального отклонения.** Walderstrom S., Razi Naqvi K. A simple accurate alternative to the minimum-deviation method for the determination of the refractive index of a prism. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 10, 1009-1011. [РЖ 1979 5 А90].

Предложен простой способ определения показателя преломления  $n$  призмы. В указанном методе создаются условия, когда угол падения  $\alpha_1$  становится равным углу  $\varphi$  призмы. Экспериментально это достигается таким положением призмы, при котором падающий луч и луч, дважды преломленный и отраженный от задней грани призмы, становятся параллельными. При этом угол преломления  $\alpha_2$  равен углу отклонения призмы  $\delta$ . Выведено уравнение, связывающее искомую величину  $n$  со значениями  $\varphi$  и  $\delta$ .

**Измерение показателя преломления.** Measurement of index of refraction. Neuberger J. "Phys. Teach." 1980, 18, № 1, 54. [РЖ 1980 9 А107].

Описан простой и точный метод измерения показателя преломления стекла. Лазерный луч направляется на стеклянный диск, расположенный в плоскости распространения луча. Вместо стеклянного диска можно использовать собирающую или рассеивающую линзу. Для определения показателя преломления достаточно измерить угол между направлением падающего луча и касательной к точке падения и угол отклонения луча диском. Другой способ определения показателя преломления заключается в том, что луч направляется по касательной к диску и показатель преломления вычисляется по формуле  $n = \sec(\delta_m/2)$ , где  $\delta_m$  – максимальный угол отклонения. Эта часть эксперимента иллюстрирует обратимость световых лучей. Затем для веществ с различным показателем преломления может быть вычислена и про-

анализирована величина расстояния между направлением касательного луча и точкой выхода из стекла луча, по формуле  $d=2a(1-1/n^2)$ , где  $a$  – радиус диска. Отмечается, что ошибка полученных результатов не превышает 5%.

Среда с переменным показателем преломления – удачная тема для занятий со студентами. Spatially varying index of refraction: An open ended undergraduate topic. Krueger david A. “Amer. J. Phys.”, 1980, 48, № 3, 183-188. [РЖ 1980 11 A100].

Приводится теория распространения электромагнитной волны в среде с переменным показателем преломления. Предлагается учебный эксперимент, иллюстрирующий основные положения теории. В качестве среды берется вода, в которую специальным образом заливается раствор сахара. Приготовленная указанным способом такая среда имеет значительный градиент концентрации вдоль вертикальной оси. При пропускании через среду лазерного луча последний искривляется, смещаясь от первоначального направления. Показатель преломления может быть определен по смещению луча или углу поворота плоскости поляризации.

**Определение дисперсии стеклянных призм с помощью гониометра.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.4. С. 408-414.

**Измерение показателя преломления жидких и твердых тел с помощью рефрактометра Аббе. Рефрактометрия.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.3. С. 400-408.

**Исследование явления туннелирования на СВЧ.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.5. С. 415-421.

**Измерение коэффициента преломления прозрачных пластин с помощью куска бумаги и лазерного источника.** Measurement of refractive index in transparent plates with a piece of paper and a laser source. Reich S. “Amer. J. Phys.”, 1983, 51, №5, 469. [РЭ 1984 1 A115].

Предложен простой метод измерения коэффициента преломления стеклянных пластин с помощью куска влажной фильтровальной бумаги, приложенной к стеклу, и узкого лазерного пучка, освещающего пластину со стороны бумаги. В эксперименте наблюдается светлое кольцо, на бумаге создаваемое световыми лучами, рассеянными в листе бумаги и отраженными от наружной поверхности пластины под углом, большим угла полного внутреннего отражения. По радиусу кольца и толщине пластины определяется коэффициент преломления материала. Методика наглядно продемонстрирована.

**Простой метод измерения показателей преломления прозрачных пластин и жидкостей.** A simple method of measuring the refractive indices of transparent plates and liquids. Lau Shing-tat, Feng Shin-Yu. “Phys. Educ”, 1984, 19, № 1, 30-33. [РЖ 1984 9A155].

В предлагаемом методе используется явление диффузного рассеяния лазерного излучения, наблюдаемое при нормальном падении луча на матовую поверхность плоскопараллельной пластинки толщиной в несколько мм. “Точка” пересечения луча с поверхностью пластины выступает в роли точечного источника света, посылающего свет по всем направлениям. При этом лучи, для которых угол падения на заднюю (гладкую) поверхность пластинки больше угла полного отражения, возвращаются назад, создавая равномерную фоновую засветку матовой поверхности, а лучи с меньшим углом падения проходят сквозь пластинку, благодаря чему вокруг

входящего луча образуется темное пятно. Показатель преломления пластинки  $n$  связан с толщиной пластинки  $t$  и диаметром темного пятна  $d$  соотношением  $n = \sqrt{1 + (4t/d)^2}$ . Аналогичным образом можно измерить показатель преломления жидкостей, помещая их в плоскопараллельные кюветы.

**Поглощение света.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Р. 44. С. 292-297.

**Поглощение света.** Физ. практ-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 44. С. 292-297.

**Дисперсионный кривые и определение отношения сил осцилляторов в практикуме.** Перкальскис Б.Ш., Кучина Т.Н., Елисеев А.А. “Изв. вузов. Физ.”, 1987, 30, № 9, 117-118. [РЖ 1988 1 А122].

**Исследование дисперсии стеклянной призмы.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б.П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 17. С. 63.

**Определение показателя преломления стекла с помощью микроскопа.** Физический практикум для медиков. Часть III. Т.К. Мюйрсепп, Х.В. Тераль. Тарту. 1991. Лабораторная работа 8. С. 45-47.

**Учебный способ определения закона поглощения света:** А. с. 1517059А1 СССР, МКИ 4 G 09 B 23/22. Ветохин С. С., Ганчеренко Н.Н.; Белорус ун-т. № 4366236/34–12; Заявл. 19.01.88; Оpubл. 23.10.89, Бюл. № 39. [РЖ 1990 7 А175].

Способ определения закона поглощения света включает создание направленного светового потока, введение в поглощающее вещество поляризаторов с различными коэффициентами поляризации, поляризацию светового потока, измерение прошедшего через поглощающее вещество светового потока, вычисление экспериментальной зависимости и сравнение с теоретической.

**Исследование явление дисперсии.** Работа 3-04. С. 59-64. В.В.Ларионов, М.С.Иванкина, Л.Т.Мурашко, и др. Физический практикум. Томский политехнический университет. 1993. 91 с.

**Лабораторная работа по исследованию свойств фазовых двоякопреломляющих пластинок.** Н.Я. Молотков, В.Б. Дивак, А.В. Постульгин. ФОВ. 1998, Т. 4, № 2, с. 53.

**Аномальная дисперсия красящих растворов, наблюдаемых в призматической кювете.** Anomalous dispersion of dye solutions observed in a prismatic cuvette. Erdelyi M., Hilbert M., Bor Z. *Amer. J. Phys.* 1998. 66. 3 9. 791-793. [РЖ 1999 7 А140].

**Лабораторная работа “Изучение поглощения света фотохромным материалом”.** Искандеров Н.Ф. *Преподавание физ. в высш. шк.* 1999. № 16. 25-28. [РЖ 01.01-18А.142].

Предлагается лабораторная работа по изучению одного из нелинейных явлений в оптике – фотохромизма. Полученные результаты позволяют глубже объяснить студентам физические основы фотографии.

**Проникновение волны во вторую среду при полном внутреннем отражении.** Молотков Н.Я., Постульгин А.В., Хвостова Н.В., Шальнев В.В., Дивак В.Б. *Учеб. физ.* **2001.** № 4. 27-31, 64. [РЖ 02.05-18А.161].

Описана лабораторная работа, в которой экспериментально исследуется оптический аналог туннельного эффекта в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн.

**Жидкая призма для исследования показателя преломления.** A liquid prism for refractive index studies. Edmiston Michael D. *J. Chem. Educ.* **2001.** 78. № 11. 1479-1480. [РЖ 02ю10-18А.163].

Описан легкий путь получения полых стеклянных призм, оптимальный способ использования этих призм. Рассмотрено также использование лазерного указателя и полый призмы для измерения содержания сахара в мягких напитках.

**Рефрактометры цифровые “ТЕСТ-901”.** *Мир измерений.* **2001.** № 9-10. 94. [РЖ 03.05-18А.158].

Назначение прибора – измерение показателя преломления ND20 жидких сред.

**Измерение коэффициента преломления жидкости с помощью лазера.** Measuring the refractive index of a liquid using a laser. Singh S. *Phys. Educ.* **2002.** 37. № 2. 152-153. [РЖ 03.02-18А.151].

**Лабораторная работа “Изучение дисперсии света в стекле в инфракрасной области по спектрам отражения”.** Гзогян В.М., Журавлева Л.В., зайцев Г.И. *Преподавание физ. в высш. шк.* **2002.** № 23. 178-181. [РЖ 04.06-18А.145].

Предлагаемая лабораторная работа преследует несколько целей: приобретение навыков работы с инфракрасной аппаратурой, более глубокое понимание классической теории дисперсии и формул Френеля. Показатель преломления стекла определялся по упрощенной формуле Френеля для нормального падения неполяризованного света на образец. В работе угол падения составлял  $\sim 20^\circ$ . Эксперимент выполнялся на инфракрасном спектрометре UR-20 с применением приставки для получения спектра отраженного света. Показан ход лучей от излучателя к приемнику. Спектр отраженного излучения регистрировался в диапазоне частот  $1000\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ . Приведены дисперсионная кривая и таблица частотной зависимости коэффициента отражения и показателя преломления стекла. Дисперсионная кривая включает в себя область нормальной дисперсии ( $1000\text{--}1125\text{ см}^{-1}$ ) и аномальной ( $1125\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ ), которая наблюдается в области собственных частот колебаний ионов стекла. Спектр поглощения в данном варианте лабораторной работы не регистрируется из-за сильного ослабления прошедшего через пластинку излучения.

**Определение показателя преломления на микроскопических объектах.** Refractive index determination on microscopic objects. Marlow F., Eiden S. *Eur. J. Phys.* **2004.** 25. № 3. 439-446. [РЖ 05.07-18А.135].

**Эксперимент с резервуаром, наполненным водой, проясняет некоторые неправильные представления о преломлении.** Water tank experiment clears up some refraction misconceptions. Corni F. *Phys. Educ.* **2006.** 41. № 2. 103-104. [РЖ 07.11-18А.120].

Предложен прибор, позволяющий исследовать явление полного внутреннего отражения света на границе раздела между двумя несмешивающимися жидкостями: керосином и водой. Впечатляют многочисленные практические примене-

ния этого замечательного явления. Поразительны световоды, доставляющие энергию света в нужное место по произвольным траекториям.

**Изучение с помощью исследований показателя преломления жидкостей и демонстрация отражения с использованием лазерной указки и обода Susan.** Investigative studies of refractive indices of liquids and a demonstration of refraction by the use of a laser pointer and a lazy Susan. Wong Siu Ling, Mak Se-yuen. *Phys. Educ.* **2008**. 43. № 2. 198-202. [РЖ 09.11-18А.104].

**Определение показателя преломления жидких и твердых тел.** Общая физика. Рук. по лаб. практ-му. Под ред. И.Б. Крынецкого и Б.А. Струкова. М., ИН-ФРА-М. **2008**. Задача № 38. С. 325-339.

**Экспериментальное изучение нормальной дисперсии света в лаборатории оптики в курсе общей физики.** Д.Н. Лукичев, С.В. Фомин, А.С. Красников. *ФОВ.* **2010**. Т. 16, № 1, с. 50.

В данной работе рассматривается механизм нормальной дисперсии на основе классической электронной теории света. Представлена методика эксперимента по определению показателя преломления стеклянной призмы. Произведены оценочные расчеты показателя преломления стекла с точки зрения электронной теории.

**Экспериментальное изучение нормальной дисперсии света в лаборатории оптики в курсе общей физики.** Лукичев Д.Н., Фомин С.В., Красников А.С. *Физ. образ. в вузах.* **2010**. 16. № 1. 50-57, 123. [РЖ 10.12-18А.99].

Рассматривается механизм нормальной дисперсии на основе классической электронной теории света. Представлена методика эксперимента по определению показателя преломления стеклянной призмы. Произведены оценочные расчеты показателя преломления стекла с точки зрения электронной теории.

**Электромагнитно-индуцированная прозрачность в рубидии.** Electromagnetically induced transparency in rubidium. Olson Abraham J., Mayer Shannon K. *Amer. J. Phys.* **2009**. 77. № 2. 118-121. [РЖ 10.12-18А.100].

Исследуется электромагнитно-индуцированная прозрачность лестничного типа в рубидии. Теоретический профиль поглощения слабого пробного лазерного пучка на 780,2 нм ( $5S_{1/2}-5P_{3/2}$ ) моделировался с учетом наличия сильного лазерного пучка на 776,0 нм ( $5P_{3/2}-5D_{5/2}$ ) и поглощения в окне пропускания. Эксперимент делает доступным изучение квантовой оптики в студенческой лаборатории.

## Глава 7

### ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

**Изучение фотоэлектрических явлений.** А.П. Соколов. Физический практикум. **1926**. Задача 59. С. 304-308.

**Определение чувствительности фотоэлемента.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 73а. С. 372-373.

**Исследование спектральных характеристик фотоэлементов.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К.П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 73б. С. 373-374.

**Изучение основных законов внешнего фотоэлектрического эффекта.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 88. С. 557-567. 1962. Задача 132. С. 856-867. 1968. Задача 159. С. 699-710.

Явление *фотоэлектрического эффекта* было впервые изучено в Московском университете профессором физико-математического факультета А.Г. Столетовым в 1888 г. Задача посвящена изучению основных закономерностей явления: 1) исследованию зависимости фототока от освещенности фотокатода; 2) исследованию зависимости силы фототока от величины приложенного к фотоэлементу напряжения; 3) установлению красной границы фотоэффекта и определению работы выхода электронов с поверхности фотокатода.

**Градуирование спектроскопа и определение постоянной Планка.** Физ. практ-м. Рук-во к практич занятиям в физ. лабораториях. Часть 3. Волновые процессы и оптика. Под ред. Г.И. Красовской. М., 1957. Лаб. работа № 23. С. 26-35.

**Изучение фотоэлемента.** Физический практикум. Рук-во к практич занятиям в физич. лабораториях. Часть 3. Волновые процессы и оптика. Под ред. Г.И. Красовской. М., 1957. Лаб. работа № 27. С. 61-67.

**Простой опыт для измерения очень кратковременной флуоресценции.** Шмиллен (Ein einfacher Modellversuch zur Messung sehr kurzer Fluoreszenzabklingdauern, Schmillen A.), Prax. Naturwiss., 1958, A7, № 2, 39-44. [РЖ 1960 № 1 98].

Описано устройство фосфороскопа Беккереля с двумя вращающимися шайбами на одной оси, каждая из которых имеет секторный вырез. Через один вырез освещается фосфор, находящийся между шайбами, через другой (сдвинутый на некоторый угол) проводят наблюдения. На основе этой конструкции созданы измерительные приборы, позволяющие измерять время затухания флуоресценции до  $10^{-8}$  сек. Для измерения еще более короткого времени затухания можно использовать тот факт, что при синусоидальном изменении интенсивности возбуждающего света таким же образом изменяется и интенсивность флуоресценции, только (в зависимости от времени затухания) со сдвигом фаз и изменением амплитуды. Для получения синусоидально изменяющегося возбуждения используют, например, ультразвук и электродвойкопреломляющие кристаллы, что позволяет измерить продолжительность послесвечения до  $10^{-11}$  сек. Для демонстрационных целей удобно на диск из картона или металла нанести очень узкий сектор фосфора и освещать его светом ртутной лампы с черным стеклом, питаемой от сети через дроссель. Если период вращения диска и частота сети находятся в целом кратном отношении, то наблюдаемая на диске картина чередующихся темных и светлых секторов будет неподвижной. Нанеся на диск по радиусу вещества с разным временем послесвечения, можно наблюдать сдвиг фаз. Лучше брать такие вещества,

как мышьяковистый магний антрацен, при частоте сети 100 Гц, что дает сдвиг фаз на  $20^\circ$  и заметное изменение амплитуды колебаний.

**Внутренний фотоэффект в германии с собственной проводимостью.** Rust Hans Heinrich. Einige Betrachtungen zum inneren Photoeffekt bei eigenleitendem Germanium, "Prax..Naturwiss.," 1960, A9, № 6, Physik, 158-160. [РЖ 1961 3А85].

Описывается опыт, демонстрирующий зависимость фотопроводимости от глубины проникновения фотонов. Пластинку из германия с собственной проводимостью, соединенную с источником тока и гальванометром, облучают светом от лампы накаливания с фильтрами 0,3–0,8 мкм и 0,875–3,1 мкм, причем фототок во втором случае больше, чем в первом, т. к. кванты видимого света с более высокой энергией имеют весьма небольшую глубину проникновения. При облучении германия длинноволновыми квантами глубина проникновения значительно больше; она растет с уменьшением энергии квантов до тех пор, пока энергия кванта остается больше разности энергий валентной зоны и зоны проводимости. Выше границы 1,7 мкм наступает прозрачность.

**Изучение фотоупругости.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А. В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–21. С. 107.

**Изучение внешнего фотоэффекта.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А. Л. Рвачева. Задача № 3–24. С. 123.

**Изучение фотоэлементов с внутренним усилением фототока при помощи вторичной эмиссии электронов (фотоэлектронные умножители).** Физ. практик. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. 1962. Задача 133. С. 868-883. 1968. Задача 160. С. 710-726.

В работе изучается зависимость токов в фотодинатроне от освещенности его фотокатода, величины анодного напряжения, напряжения на эмиттере. Производится осциллографическое исследование световых импульсов и наблюдение дробового эффекта фотоэлектронной эмиссии. В состав экспериментальной установки входят фотодинатрон ФЭУ-2, фотоумножитель ФЭУ-17.

**Изучение свойств полупроводниковых фотоэлементов и фотосопротивления.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практик-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К. Б. Котляревская, Э.А Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 36. С. 90-98.

**Исследование свойств фотоэлементов.** Лаб. работы (колебания и волны, оптика, строение атома). Метод. пособие по физ. практик-му. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А Майер и др. 1962. Омск. Лаб. работа 37. С. 99-105.

**Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и определение постоянной Планка.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. Работа 70. С. 417-421. 1973. Работа 72. С. 431-435. 1983. работа 5.21. С. 527-532.

**Эксперимент с молекулярной флуоресценцией для студентов физико-химиков.** Steinfeld Jeffrey I.A fluorescence experiment for undergraduate physical-chemistry. "J. Chem. Educ.", **1965**, 42, № 23, 85-87. [РЖ 1966 4 А130].

В лабораторный курс по физической химии включается конкретная задача по определению электронных спектров молекул. При этом помимо ознакомления студентов с квантовой механикой молекул желательнее, чтобы студенты приобрели некоторые навыки в обращении с современным спектроскопическим оборудованием. Обычно для этого используется спектр поглощения паров йода или дуговой спектр в воздухе. Эти эксперименты имеют тот недостаток, что получающееся в результате количество данных для обработки слишком велико. В Гарвардском колледже для студентов III курса разработан эксперимент, основанный на резонансной флуоресценции молекулярного йода, который может привести к вполне точным результатам, не обладая указанным недостатком. Результаты эксперимента могут быть обработаны при помощи электронно-счетной машины, но могут быть также рассчитаны вручную. Описаны детали эксперимента, результаты и приведено обсуждение результатов.

**Количество и скорость фотоэлектронов, освобождаемых светом из фотоэлементов.** Wolf Lothar. Anzahl und Geschwindigkeit Lichtelektrisch ausgeloster Elektronen in Photozellen. "Prax. Naturwiss.". **1967**, A 16, № 12, Physik, 313-316. [РЖ 1968 6 А90].

Установка для демонстрации зависимости количества фотоэлектронов от интенсивности света и скорости их от энергии фотонов состоит из ртутной лампы с конденсором и ирисовой диафрагмой, вакуумного фотоэлемента, чувствительного измерительного прибора, потенциометра с 6-вольтовой батареей и светофильтра. Скорость фотоэлектронов определяется по величине задерживающего потенциала. Интенсивность света изменяют при помощи ирисовой диафрагмы и исследуют зависимость фототока от диаметра отверстия. Приведены методические указания и графические результаты измерений.

**Внешний фотоэффект и постоянная Планка  $h$ .** Breitsameter Josef. Zum ausseren Photoeffekt und der Planckschen Konstanten  $h$ . "Prax/ Naturwiss.", **1968**, A 17, № 6, Physik, 151-153. [РЖ 1968 12 А93].

Установка для демонстрации законов фотоэффекта и определения постоянной Планка состоит из оптической скамьи, на которой установлены в обычном порядке лампы накаливания (45  $Vm/12 V$  или 100  $Vm/12 V$ ), соединенные с источником постоянного напряжения, щель, светофильтр, проекционный объектив и призма. Относительно этой скамьи может поворачиваться вторая скамья, на которой находятся щель, линза и фотоэлемент, соединенный с прибором, измеряющим фототок, источником напряжения и вольтметром. При помощи описанной установки можно определить постоянную Планка по величине задерживающего потенциала, зависимость энергии электронов от частоты света, падающего на фотоэлемент, зависимость фототока от интенсивности света. Приведены методические указания.

**Изучение фотоэлектрического эффекта и определение постоянной Планка в учебной лаборатории.** Hall Harry H., Tuttle Richard P. Photoelectric effect and Planck's constant in the introductory laboratory. "Amer. J. Phys.", **1971**, 39, № 1, 50-54. [РЖ 1971 7 А83].

Основной причиной искажения результатов определения постоянной Планка из уравнения Эйнштейна для фототока в тормозящем поле является наличие обратного фототока с анода, который увеличивается с возрастанием задерживающего потенциала. При определенном значении тормозящего поля анодный фототок равен катодному и может изменить направление тока в измерительной схеме. Различные методы подавления паразитного анодного фототока обычно связаны с усложнением конструкции фотоэлемента и измерительной схемы. Стоимость таких приборов высока и не всегда доступна для учебных лабораторий. В описанном эксперименте величина анодного фототока уменьшена до 0,4% от максимального значения за счет ориентации фотоэлемента с полуцилиндрическим катодом относительно светового потока. При этом край полуцилиндрического катода экранирует анод от облучения и в то же время внутренняя светочувствительная поверхность катода в достаточной степени освещена прямым и отраженным излучением. Описаны схемы расположения приборов, электронные блоки, приведены полученные кривые зависимости задерживающего потенциала от частоты облучения (для 6 линий спектра Hg), из наклона которых определяется отношение  $h/e$ .

**О структуре постоянной Планка.** Gobel E. *Über die Struktur der Planckschen Konstante.* "Mat. Und Naturwiss. Unterr.", 1971, 24, № 3, 135-136. [РЖ 1971 12 А76].

Понятие о квантах энергии гипотетически введено Планком в 1900 г. при теоретическом описании распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. При этом оказалось необходимым ввести постоянную  $h$ , названную позже постоянной Планка. С другой стороны, при исследовании фотоэффекта было замечено, что противонапряжение, требуемое для подавления фотоэффекта в схеме компенсации, пропорционально частоте, причем угловой коэффициент графика зависимости напряжения от частоты не зависит от типа металла и равен  $4,14 \cdot 10^{-15}$  В·сек. произведение этого коэффициента на величину заряда электрона совпадает по величине и размерности с  $h$ . Внешнее сходство этих двух величин навело Эйнштейна на мысль о квантовом объяснении явления фотоэффекта. Прелажается в справочниках и учебниках физики приводить значение вышеупомянутого углового коэффициента наряду с элементарным зарядом и указывать, что их произведение равно постоянной Планка.

**Лабораторный эксперимент по изучению флуоресценции с использованием стандартной аппаратуры.** Duncan Robert L., Kirkpatrick James W., Neas Robert E, *A laboratory experiment in fluorescence using the Spectronic 20.* "J. Chem. Educ.", 1972, 49, № 8, 550-551. [РЖ 1973 2 А84].

Обсуждается вопрос о постановке лабораторной работы по изучению явления флуоресценции в студенческом практикуме. Изучение флуоресценции предполагается проводить с помощью флуометра, созданного на основе стандартного прибора Spectronic 20. Описана методика подготовки прибора к работе, приводятся результаты эксперимента, иллюстрирующие возможность проведения количественного флуоресцентного анализа вещества.

**К вопросу о постановке лабораторных работ по изучению люминесценции и фосфоресценции.** Ларина Н.А. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1972, вып. 2, 76-78. [РЖ 1972 8 А68].

Приводятся краткое содержание и методика постановки двух лабораторных работ из цикла работ по изучению люминесценции и фосфоресценции, предла-

гаемых студентам в Воронежском политехническом институте: определение световых характеристик люминесцентной лампы, изучение закона затухания кристаллофосфора.

**Кристаллическая пластинка титаната бария для демонстрации сегнето-электрических доменов и некоторых электрооптических эффектов.** Валл А.Б. “Уч. зап. Свердл. гос. пед. ин-т”, 1972, сб. 172, 129-131. [РЖ 1972 11 А96].

Монокристалл ВаTiO<sub>3</sub> помещается в нагревательную камеру, снабжается электродами и наблюдается в поляризованном свете; в качестве осветителя используется диапроектор ЛЭТИ. Конструкция обеспечивает размещение кристалла в предметной плоскости объектива диапроектора. Внутри камеры находится нагревательная электрическая печь, позволяющая изменять температуру кристалла. На одной из панелей рамки, на которой укреплена камера, расположены клеммы для подачи переменного напряжения 50-90 В на электропечь и высокого постоянного напряжения 600-3000 В на электроды кристалла. Поляроиды устанавливаются на штативах. Перечислены опыты, которые можно осуществить с использованием описанной установки.

**Еще один способ индикации фотонов видимой области спектра.** Таргов П., Иванов Д. “Физика в школе”, 1973, № 1, 55-56. [РЖ 1973 4 А122].

Предлагается способ индикации фотонов видимого света, основанный на применении тиратрона МТХ-90, который позволяет демонстрировать квантовые свойства света, фотоэлектрический эффект, и опыты по фотометрии. Использование тиратрона устраняет недостатки, имеющие место при использовании стабилитрона СГ-ЧС, у которого фон так значителен, что нет существенной разницы между показаниями стабилитрона в темноте и при освещении сильным пучком света, вследствие чего звуковая индикация импульсов такого счетчика невозможна.

**Экспериментальные задачи по фотоэффекту.** Бовин И.Т. “Изв. Воронеж. гос. пед. ин-та”, 1973, 133, 78-81. [РЖ 1973 10 А106].

Описываются опыты, которые могут быть предложены учащимся в виде экспериментальных задач в процессе изучения фотоэлектрического эффекта.

**Фотоэлектрический эффект.** James A.N. Photoelectric effect, a common fundamental error. “Phys. Educ.”, 1973, 8, № 6, 382-384. [РЖ 1974 2 А68].

Явление фотоэлектрического эффекта рассматривается на основе современной электронной теории проводимости металлов, а не на основе введения понятия кванта. Отмечается, что для того, чтобы основное уравнение было справедливо, необходимо в качестве потенциала выхода использовать потенциал выхода пластины, на которую падает электрон, выбитый световым фотоном из другой пластины. Уравнение фотоэффекта в этом случае записывается в следующем виде:  $h\nu - e\phi = eV$ , где  $e$  – заряд электрона;  $h$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота падающего света;  $\phi$  – потенциал выхода пластины, на которую падает выбитый электрон;  $V$  – разность потенциалов между пластинами. Используя это уравнение и повторяя эксперимент для различных  $\nu$ , можно измерять  $h$  и  $\phi$ .

**Изучение законов внешнего фотоэффекта.** Рук. к лаб. работам по ф-ке. Ч. III. Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973. Работа № 140. С. 13.

**Изучение работы однокаскадных фотоумножителей.** Рук. к лаб. работам по ф-ке. Ч. III. Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973. Работа № 141. С. 21.

**Исследования в учебном практикуме с использованием светодиодов.** Сапрыкин В.Д., Алексеенко А.И., Елагин В.П. (Редколлегия ж. “Изв. вузов СССР. Сер. Физика”). Томск, 1974. (рукопись деп. в ВИНТИ 6 ноября 1974 г., № 2828-74 Деп.). [РЖ 1975 3 А134].

Рассматривается возможность использования световых диодов в учебном практикуме ВУЗов для снятия вольт-амперной характеристики с определением минимальных значений тока накачки и прямого напряжения, при которых становится заметной спонтанная излучательная рекомбинация; для расчета числа излучательных рекомбинаций в секунду на основе полученных экспериментальных данных; для снятия зависимости яркости светодиода от тока накачки и зависимости тока накачки от температуры в интервале (78–373) °К. Отмечается, что резкие изменения тока накачки при постоянном прямом напряжении 3 В для светодиодов типа АЛ 102А наблюдаются в области (100–180) °К, выше которой ток накачки практически остается постоянным (при  $T=78^{\circ}\text{K}$   $I \approx 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ , а при  $T > 180^{\circ}\text{K}$  он постепенно приближается к  $60 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ ). Причем при  $T=(80-90)^{\circ}\text{K}$  становится заметным резкое изменение цвета свечения от красного к бледно-желтому, что указывает на сдвиг максимума излучения в сторону коротких волн.

**Изучение послесвечения люминесценции в лабораторном практикуме.** Передерій А.Ф. Вивчення післясвітіння люмінесценції в лабораторному практикумі. Методика викладання физ. Респ. Наук.-метод. зб., 1974, вип. 9, 106–110. [РЖ 1975 3 А135].

Описана лабораторная работа по изучению закона затухания кристаллофосфоров. Установка состоит из держателя, набора кристаллофосфоров, камеры фоторезистора, микроамперметра, источника напряжения с делителем. Люминесценция возбуждается с помощью осветительной лампы накаливания. Теоретические сведения для учащихся при выполнении этой работы включают: определение люминесценции и анализ свойств послесвечения как характерного признака люминесценции, краткую характеристику законов затухания люминесценции и их значение для раскрытия механизма свечения и строения центров свечения, общие сведения о строении активированных кристаллов и их способность к фосфоресценции. Даны советы по выполнению работы.

**Фотоэлектрический эффект.** Hodgson E.R., Lambert R.K., Photoelectric effect. “Phys. Educ.”, 1975, 10, № 2, 123-124. [РЖ 1975 12 А194].

Обсуждаются ошибки, присущие методу определения работы выхода излучающей поверхности, основанному на компенсации фототока (см. РЖФиз, 1974, 2А68). Ошибки обусловлены наличием промежуточных контактов в цепи, с которыми могут быть связаны неизвестные разности потенциалов. Отмечается, что более точно работу выхода можно определить по граничной частоте фотоэффекта, значение которой определяется для ряда веществ сравнительно точно ( $\pm 10\%$ ).

**Демонстрация фотоэффекта с помощью счетчика Гейгера–Мюллера.** Brower Harold. Demonstration of the photoelectric effect with a Geiger counter. “Amer. J. Phys.”, 1976, 44, № 3, 305-306. [РЖ 1976 10 А115].

Методическая статья, предназначенная для преподавателей физики. С помощью счетчика Гейгера–Мюллера регистрируются фотоэлектроны, возникающие под действием  $\gamma$ -квантов, т. к. эффективность регистрации электронов порядка единицы, а  $\gamma$ -квантов – 0.01 – 0,001 в зависимости от энергии квантов, материал

стенок счетчика и расположения источника. Для наблюдения фотоэффекта можно использовать маломощные источники  $\gamma$ -излучения с энергией от 0,1 до 1,0 МэВ, такие например, как  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{133}\text{Ba}$ . Если между источником и входным окном счетчика поместить Рb-фольгу толщиной 0,013 см, то скорость счета возрастает на 50% для источника  $^{137}\text{Cs}$  и на 40% для источника  $^{133}\text{Ba}$ . Электроны внутренней конверсии, испускаемые источником, мешают наблюдению фотоэффекта. Для поглощения их рекомендуется между Рb-фольгой и источником поместить Си-фольгу толщиной 0,08 см.

**Простой эксперимент по изучению принципа действия фотоумножителя.** Burns Donal J., Reynolds James M. "Amer. J. Phys.", 1976, 44, № 7, 649-650. [РЖ 1977 1 А134].

Описывается простая лабораторная работа по измерению коэффициента вторичной электронной эмиссии последнего динода ФЭУ RCA 931A. В работе использовались выпрямитель с регулируемым выходным напряжением от 400 до 1000 В и током до 0,5 мА и миллиамперметр на 100 мкА. ФЭУ помещался в светонепроницаемый кожух со щелью перед фотокатодом. Для освещения использовалась лампа накаливания (2 Вт), питаемая от стабилизированного источника напряжения. Изменялось отношение тока анода к току электронов, падающих на последний диод. В последнем случае анод и диод соединялись вместе. Полученная величина коэффициента вторичной эмиссии сравнивалась с данными фирмы-изготовителя.

**Определение констант тушения флуоресценции.** Legenza Michael W., Marzzacco Charles J. The rate constant for fluorescence quenching. An undergraduate experiment using the spectronic 20. "J. Chem. Educ.", 1977, 54, № 3, 183-184. [РЖ 1977 10 А31].

Флуоресцентную спектроскопию обычно не включают в курс лабораторных работ, ссылаясь на отсутствие необходимой аппаратуры в большинстве химических лабораторий. Описывается использование модернизированного прибора Baush and Lomb Spectronic 20 для измерений интенсивности флуоресценции при определении констант тушения флуоресценции различных ароматических гидрокарбонатов четыреххлористым углеродом и этанолом. Эксперимент рекомендуется проводить при изучении общей и физической химии.

**Эксперименты по фотоэлектрическому эффекту и диффузии электронов в газах.** McClellan G., Didwall E.M., Rigby Cornel J. Experiments on the photoelectric effect and on the diffusion of electrons in gases. "Amer. J. Phys.", 1978, 46, № 8, 832-839. [РЖ 1979 1А126].

Описана конструкция простого прибора для исследования фотоэлектрического эффекта и изучения поведения фотоэлектронов в однородном магнитном поле как в вакууме, так и в газовой среде при низких давлениях. Прибор используется в лабораторном практикуме вузов. Он позволяет изучать энергетические и угловые распределения фотоэлектронов, измерять работу выхода металлов. С помощью прибора проводятся исследования диффузии свободных электронов в разреженном воздухе и определяются поперечные сечения электрон-молекулярных взаимодействий.

**Измерение постоянной Планка путем использования фотоэлектрического эффекта в видимой области.** The measurement of Planck's constant using the visible photoelectric effect. Keasing R.G. "Eur. J. Phys.", 1981, 2, № 3, 139-149. [РЖ 1982 7 А81].

Описана методика измерения постоянной Планка с помощью фотоэффекта. Анализируются источники возможных ошибок: неоднородность работы выхода вдоль поверхности фотокатода, отражение электронов от анода, зависящее от их энергии, геометрические эффекты, препятствующие электронам достичь анод, токи утечки, термические эффекты.

**Люминесценция сложных молекул в растворах.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. **1986**. Работа 46. С. 301-308.

Измеряются спектры и степень поляризации люминесценции молекул родамина 6Ж в различных растворителях. Изучается зависимость спектров от длины волны возбуждения.

**Исследование электролюминесценции кристаллофосфоров.** Агеева О.С., Строганова Т.Н. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). **1989**. № 15. 115-122. [РЖ 1990 3 А162].

В лабораторной работе изучается электролюминесценция твердых тел. Исследуются зависимости яркости люминесценции от напряжения возбуждающего электрического поля и частоты его изменения.

**Малогабаритная аппаратура для наблюдения термолюминесценции, предназначенная для проведения студенческих лабораторных работ.** Сибахара Тосио, Икэтани Гэнсию Res. Rept. NIFS-MEMO Ser. **1991**. № 3. С. 140-143. [РЖ 1992 8 А139].

**Использование диодов, излучающих в инфракрасном диапазоне.** Using infrared emitting diodes. Mak S. *Phys. Educ.* **2003**. 38. № 2. 103-107. [РЖ 03.08-18А.173].

Диоды, излучающие в инфракрасном диапазоне, нашли множество применений в системах контроля, телекоммуникационных сетях и решении других проблем повседневной жизни за последние десять лет. Они дешевы и надежны, их инфракрасное излучение можно легко детектировать. В статье предложены некоторые эксперименты для демонстраций и практикумов, которые доступны в школьных лабораториях. Приводятся схемы электрических цепей для использования диодов в качестве источников излучения и приемников. Дано описание лабораторных работ по измерению длины волны, изучению отражения и преломления и других явлений.

**Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для фотоэффекта и определение постоянной Планка.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.21. С. 527-532.

Прямое измерение потенциала в экспериментах по фотоэлектрическому эффекту. A direct potencial measurement in the photoelectric effect experiment. Bobst Richard L., Karlow Edwin A. "Amer. J. Phys.", **1985**, 53, 3 9, 911-912. [РЖ 1986 3 А106].

Появление экономичных измерительных приборов с высоким импедансом создало возможность прямого измерения разности потенциалов между анодом и фотокатодом. Описана схема демонстрационного прибора, построенного на основе фоточайки IP39 фирмы RCA и прецизионного операционного усилителя типа AD 515 JH.

**Поправка к фототоку в эксперименте по определению постоянной Планка.** A correction to the photoelectric current in the Planck's constant experiment. Snyder Evan S. "Phys. Teach.", **1985**, 23, № 2, 98-99. [РЖ 1985 9А130].

Одним из известных экспериментов по определению константы Планка  $h$  является метод вольт-амперной характеристики зависимости фототока от напряжения. Однако снимаемая экспериментальная характеристика дает не ток с фотокатода, а суммарный ток, состоящий из токов с катода и анода, имеющих противоположное направление. Учесть влияние паразитного тока можно, если кроме основной характеристики снять дополнительную, соответствующую измененной полярности электродов. Приводятся формулы для расчета поправки по экспериментальным характеристикам.

**Внешний фотоэффект.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 45. С. 297-301.

Измеряются задерживающие напряжения вакуумного диода при его облучении светом различных длин волн. Определяются постоянная Планка и работа выхода электрона.

**Люминесценция сложных молекул в растворах.** Физ. практ-м. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 46. С. 301-308.

**Изучение фотоэлемента с внешним фотоэффектом.** Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ. Б.П. Никифоров, М.И. Игнатьев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988. Р. 18. С. 69.

**Сравнение энергии фотонов. Определение постоянной Планка.** Fotonok energiajanak osszehasonlitas. A Planck-allando meghatarozasa. Legradiimre. Fiz. tan. 1988. 27, № 3, 68-70. [РЖ 1989 1 А124].

С помощью фотоэлемента СЦВ-3 изготавливается простой прибор, иллюстрирующий количественные характеристики фотоэффекта. Фотоэлемент накрывался кожухом с тремя светофильтрами. Схема содержит вольтметр для измерения напряжения на конденсаторе, включенном между выводами фотоэлемента. По двум значениям напряжений определяется постоянная Планка.

**Спектральные свойства фотоэффекта и определение постоянной Планка.** Балычев И. Н., Макиенко А. В.; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. Томск. 1988. 13 с. [РЖ 1989 4 А110].

Описана экспериментальная установка для снятия вольт-амперных характеристик фотоэлемента для различных частот света. Даны методические указания по процедуре измерений и расчету постоянной Планка.

**Внешний фотоэффект алюминия и доказательство двойственной природы света простыми опытами.** Az aluminium kulso fotoeffektusa es a feny dualitasanak egyszeru kiserletekkel valo igazolasa. Jeges karoly. Fiz. szem. 1989. 39, № 6. 224-231. [РЖ 1990 1 А105].

Для количественных оценок фотоэффекта изготовлен простейший электроскоп из стеклянных банок и алюминиевой пластины. Электроскоп заряжается положительными или отрицательными зарядами. В зависимости от состояния поверхности и интенсивности облучения (нагрева) пластины наблюдается различная скорость разряда конденсатора. Это позволяет оценить работу выхода. Аналогичные опыты проводятся с помощью фотоконденсатора, представляющего собой соединенные пластину из прозрачной пластмассовой пленки и алюминиевой пластины. Конденсатор, освещенный со стороны пленки, заряжается, так что пленка приобретает отрицательный заряд за счет фотоэлектронов.

**Фотоэлектрический метод определения постоянной Планка и работы выхода электрона из материала фотокатода.** Баранов М. С., Залуин А.М., Трубочанинов Ф.М. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). **1989.** № 15. 106-108. [РЖ 1990 3 А159].

Рассматривается усовершенствованная лабораторная установка для определения фотоэлектрическим методом постоянной Планка и работы выхода электрона из материала фотокатода. По данным измерений строится график зависимости запирающего потенциала от частоты  $U^3=f(\nu)$ . Он представляет собой прямую. Из графика определяется: 1) постоянная Планка  $h=e \cdot tg\alpha$ , где  $e$  – заряд электрона,  $\alpha$  – угол наклона прямой; 2) частота “красной границы” фотоэффекта – как точка пересечения прямой с осью абсцисс; 3) работа выхода электрона из материала фотокатода. Погрешности измерений и расчетов определяются шириной полосы пропускания светофильтров  $\Delta\lambda=(0,05-0,15)\lambda$ , а также погрешностью определения величины запирающего напряжения  $\Delta U_3=(0,07-0,20)U_3$ , что связано с асимптотическим приближением к нулю малых значений фототока. Таким образом максимальная относительная погрешность при определении постоянной Планка может достигать 30%.

**Исследование работы полупроводникового преобразователя.** Райхенберг Т.С., Унишков В.А. Сб. науч.-метод. ст. по физ. (Москва). **1989.** № 15. 110-115. [РЖ 1990 3 А161].

Описаны принцип работы полупроводникового фотопреобразователя и методика определения его характеристик.

**Простой способ косвенного определения постоянной Планка.** Egyszeru módszer a Planck-állandó közvetett meghatározására. Szabo Jozsef. Fiz, szem. **1989.** 39, № 7. 253-256. [РЖ 1990 4 А183].

На основе использования зависимости запирающего потенциала от падающего на фотоэлемент света описана схема проведения опыта по определению значения постоянной Планка. В качестве источников света используется набор спектральных ламп с интерференционным фильтром. В другом варианте опыта фотоэлемент освещается белым светом через интерференционные фильтры. Получено значение  $h/e=4,136 \cdot 10^{-15}$  Вс.

**Экспериментальная проверка уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Определение постоянной Планка.** Джугубурия З.Г., Карба Л.П., Мургулия Г.Е. Тр. Конф. Физиков, посвящ. 80-летию со дня рожд. Акад. АН Гр. ССР проф. М.М. Мирианавили. Тбилиси, **1989.** С. 254-257. [РЖ 1990 11 А173].

Описывается методика и установка, созданная на базе спектрофотометра СФ-10 с ФЭУ для исследования внешнего фотоэффекта – измерения основных физических величин, входящих в уравнение Эйнштейна.

**Определение постоянной Планка с помощью фотопроводникового элемента CdS.** Planck's constant from a CdS photoconductivity cell. Sturm I,E.J. Chem. Educ. **1989.** 66, № 2. С. 1052-1053. [РЖ 1990 2 А160].

Описан эксперимент, предназначенный для студенческой лаборатории, по определению постоянной Планка с помощью явления фотоэлектронной эмиссии, в котором вместо вакуумного фотоэлемента используется полупроводниковый CdS-фотоэлемент. Кратко излагаются теоретические основы опыта, влияние спектральной характеристики и температурной зависимости, их определение в эксперименте. Представлен и обсуждается в контексте преподавания результат эксперимента.

**Определение постоянной Планка и работы выхода электронов методом измерения фото-э.д.с. в лабораторном практикуме.** Годованец Л.Ю.; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. Томск, 1990. 6 с. [РЖ 1990 5 А81].

Рассматривается постановка лабораторной работы по определению постоянной Планка способом измерения фото-э.д.с., возникающей в фотоэлементе с внешним или вентильным фотоэффектом. Установка состоит из монохроматора, фотоэлемента и милливольтметра. Предложенная методика предоставляет возможность определить вместе с тем и работу выхода фотоэлектронов, а также и вторую красную границу. Простота методики предлагаемой лабораторной работы, доступность приобретения комплектующих приборов и приемлемые результаты составляют положительные стороны предлагаемой работы по сравнению с лабораторной работой, поставленной по методу компенсации токов.

**Внешний фотоэлектрический эффект с точки зрения физика-методиста и экспериментатора.** Часть II. Der aussere lichtelektrische Effekt – betrachtet aus didaktisch–methodischer und experimenteller Sicht (Teil II). Raabe Bernhard, Muller Wieland. Phys, Sch. 1990. 28, № 4. С. 143-146. [РЖ 1990 10 А130].

Выясняются возможности объяснения внешнего фотоэлектрического эффекта на основе классических теорий – корпускулярной и волновой и на основе квантовой теории света. Описываются эксперименты, проводимые со школьными приборами и позволяющие установить значение постоянной Планка, а также закономерности фотоэлектрического эффекта.

**Изучение фотоэлемента с внешним фотоэлектрическим эффектом.** Физ. практик-м. Томск. 1993. Лаб. работа 3-15. С. 78-82.

**Изучение фоторезистивного эффекта.** Шеффер Н. И., Букина Н. В. Физ. в шк. 1995, № 2. С. 40-42. [РЖ 1995 10 А45].

Описание лабораторной работы по исследованию зависимости фотопроводимости от длины световой волны, определению границы фоторезисторного эффекта и энергии отрыва электрона от атома в сернистом кадмии.

**Использование фотодиодов в практикуме.** Using photodiodes in the laboratory. Yenkin T.E. Phys. Educ. 1995. 30, № 5. 303-308. [РЖ 1996 8 А80].

**Фотоэлектрический эффект: улучшение эксперимента по измерению постоянной Планка.** Zhao W., Jiang Z., Li Z., Wang S. Dongbei linye daxue xiebao. J. North-East Forest. Univ. 1996. 24. № 3. 108-112. [РЖ 1997 3 А74].

Для повышения точности определения постоянной Планка по фотоэффекту предлагается использовать монохроматический свет, нулевой сравнительный вольтметр и метод наименьших квадратов. Такие измерения послужат также углублению интереса студентов к физическому эксперименту.

**Ультрафиолетовый фотоприемник в физическом практикуме.** Федоров М.И., Плахотник А.И. Преподавание физ. в высш. шк. 1996. № 6. 70-73. [РЖ 1997 10 А163].

Изготовлен, исследован, запатентован и используется во втором уровне физического практикума ультрафиолетовый фотоприемник на основе арсенида галлия *n*-типа и фталоцианина меди *p*-типа. Студенты изучают зависимость фото-э. д. с., то-

ка короткого замыкания и деградацию этих параметров в зависимости от интенсивности излучения лампы ДРТ-240 через фильтр УФС-2.

**Лабораторные и индивидуальные исследования по фотоэлектрическим свойствам полупроводников.** Бондина В.П., Бондина Е.Г., Старов Э.Н. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1998.** № 4. 27-28. [РЖ 1999 1 А131].

Разработан факультативный курс по физической электронике, предусматривающий получение вольт-амперной характеристики фоторезистора, зависимости фототока от освещенности, определение спектральной чувствительности и времени релаксации фотопроводимости, экспериментальное изучение фотоэлектрических свойств  $p-n$ -переходов.

**Усовершенствование эксперимента по фотоэлектрическому эффекту.** Yang H. *Zhuzhou gongxueyuan xuebao = J.Zhuzhou Inst. Technol.* **2002.** 16. 3 6. 99-101. [РЖ 03.07-18А.167].

**Наблюдение квантового поведения света в лабораторной работе.** Observing the quantum behavior of light in a undergraduate laboratory. Thorn J.J., Neel M.S., Donato V.W. etc. *Amer. J. Phys.* **2004.** 72. № 9. 1210-1219. [РЖ 06.10-18А.153].

**Лабораторная работа “Изучение внешнего фотоэффекта”.** Степаненко А.В. *Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования: Сб научн. Тр. 4 Российск. Научно-методич. конф. Учителей школ и преподавателей вузов. Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург. **2006.** 152-161. [РЖ 07.10-18А.145].

Работа создана на базе измерительного комплекса ЛКК-2 и предназначена для всех форм обучения всех технических специальностей. В теоретической части методических указаний основные закономерности фотоэффекта объясняются на основе квантовых представлений о свете. Рассмотрены этапы фотоэлектронной эмиссии, описаны конструктивные особенности фотоэлемента, особенности применения фотоэлементов. Практическая часть методических указаний содержит описание экспериментальной установки, рассмотрены различные типы фотоприемников и схемы их подключения.

**Эксперимент по фотоэлектрическому эффекту с компьютерным управлением и сбором данных.** Photoelectric effect experiment with computer control and data acquisition. Kraftmakher Y. *Amer. J. Phys.* **2006.** 74. № 10. 941-943. [РЖ 08.03-18А.139].

**Определение постоянной Планка методом фотоэдс вакуумного фотоэлемента.** Майер В.В., Стрелков В.М. *Учеб. физ.* **2007.** № 1. 63-69. [РЖ 08.06-18А.148].

Показано, что задерживающая разность потенциалов равна удвоенному значению ЭДС вакуумного фотоэлемента. Это позволяет непосредственно на уроке определить постоянную Планка в явлении внешнего фотоэффекта. Вакуумный фотоэлемент состоит из прозрачного баллона, в котором расположены два проводящих электрода и создан глубокий вакуум. Один из электродов изготавливают из вещества с небольшой работой выхода – это катод. Второй электрод, имеющий значительно меньшую площадь поверхности, чем первый, обычно делают металлическим – это анод.

**Простая экспериментальная проверка соотношения между энергией ширины запрещенной зоны и энергией фотонов, испускаемых светодиодами.** Simple experimental verification of the relation between the band-gap energy and the energy of photons emitted by LEDs. Precker J. W.. *Eur. J. Phys.* **2007**. 28. № 3. 493-500. [РЖ 08.08-18А.140].

**Изучение фотоэлектрических свойств солнечной батареи.** А.Д. Гладун, Ф.И. Игошин, Ю.М. Ципенюк. *ФОВ*. **2008**. Т. 14, № 4, с. 43.

В статье приводится описание лабораторной работы по курсу общей физики, которая посвящена изучению фотоэлектрических свойств элемента солнечной батареи. Целью работы является исследование зависимостей фототока и фотоэДС вентильного фотоэлемента от длины волны падающего света.

**Изучение электрооптических эффектов в жидких кристаллах в физическом практикуме общего курса физики.** М.С. Мартынов, А.С. Баклагин, В.Н. Юшин. *ФОВ*. **2008**. Т. 14, № 4, с. 77.

В статье описывается работа физического практикума по изучению нелинейных электрооптических эффектов в нематических жидких кристаллах.

**Определение квантовой эффективности детекторов света.** Determination of the quantum efficiency of a light detector. Kraftmakher Y. *Eur. J. Phys.* **2008**. 29. № 4. 681-687. [РЖ 09.09-18А.107].

**Изучение электрооптических эффектов в жидких кристаллах в физическом практикуме общего курса физики.** Мартынов М.С., Баклагин А.С., Юшин В.Н. *Физ. образ. в вузах*. **2008**. 14. № 4. 77-83, 134. [РЖ 09.10-18А.118].

Нелинейные эффекты, возникающие как результат развития пространственно неолнорольных неустойчивостей, определяют поведение систем вблизи порогов неустойчивости. Достаточно ярко нелинейность проявляется в жидких кристаллах, которые характеризуются большой анизотропией и коллективным откликом молекул на внешнее воздействие. В статье дано описание работы физического практикума по изучению нелинейных электрооптических эффектов в нематических жидких кристаллах. Изучение нелинейных эффектов в жидких кристаллах происходит при таких значениях электрических полей, которые значительно меньше, чем это необходимо для наблюдения нелинейных явлений в других веществах. Эффективность работы в значительной степени обеспечивается тем, что реальный эксперимент дополняется компьютером, с помощью которого демонстрируются анимационные модели перестройки структуры нематики во всем исследуемом интервале напряжений, а также поясняются принципы работы жидкокристаллических индикаторов, использующих эффекты Фредерикса, динамическое рассеяние света и эффект памяти “гость-хозяин”.

**Лабораторный эксперимент по измерению встроенного потенциала p-n-перехода методом фотонасыщения.** A laboratory experiment to measure the built-in potential of a p-n junction by a photosaturation method. Ikram I.M., Rabinal M.K., Mulimani B.G. *Eur. J. Phys.* **2009**. 30. № 1. 127-134. [РЖ 10.07-18А.92].

**Наблюдение стоячих световых волн с помощью флуоресценции от полимерной тонкой пленки и диффузного отражения от поверхности стекла: пересмотр эксперимента Винера.** Observation of standing light wave by using fluo-

rescence from a polimer thin film and diffuse reflection from a glass surface: Revisiting Wiener's experiment. Kim M. S., Kim B. J., Lim H. H., Cha M. *Amer. J. Phys.* **2009**. 77. № 8. 761-764. [РЖ 11.04-18А.99].

## Глава 8

### ЛАЗЕРЫ

**Ознакомление с работой газового лазера непрерывного действия и некоторые его применения.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Электричество и физика. **1968**. Задача 166. С. 767-792.

При выполнении настоящей задачи студентам предоставляется возможность ознакомиться с устройством и работой газового лазера непрерывного действия и с основными свойствами его излучения, среди которых отметим: 1) монохроматичность (когерентность во времени) мощного излучения; 2) пространственная когерентность светового потока; 3) острая угловая направленность (коллимация) излучаемого лазером светового пучка. Объектом изучения является гелиево-неоновый лазер. Длина волны излучения лазера измеряется с помощью дифракционной решетки. Пространственная когерентность излучения лазера изучается в интерференционном опыте Юнга с двумя щелями. Наблюдается фраунгоферова дифракция на мелких круглых частицах. Наблюдается интерференция полос равного наклона при большой разности хода и определяется соответствующий ей порядок интерференции.

**Учебная установка для наблюдения явления Доплера с помощью лазера.** Перскальскис Б.Ш., Ларин В.Л., Колпаков Ю.Г., Михайличенко Ю.П. “Успехи физ. наук”, **1972**, 106, № 1, 161-164. [РЖ 1972 6 А97].

Описаны учебная установка и отдельные ее компоненты для наблюдения эффекта Доплера. Свет от лазера ЛГ-56 падает нормально на край вращающегося или неподвижного диска. Отраженный свет, в том числе и свет, отраженный от диаметрально противоположных точек диска, собирается линзой в промежутке между пластинами интерферометра Фабри-Перо. В зрительную трубу можно наблюдать интерференционные кольца, с помощью фотоаппарата их можно регистрировать на фотопленку. Описано устройство интерферометра Фабри-Перо, способ юстировки его; приведена методика обработки полученных фотографий. Полученные данные сравниваются с теоретическими.

**Эксперименты с полупроводниковым лазером на GaAs в учебной лаборатории.** Heбner Robert E., Jones J.J. Daniel, Nygaard Kaare J. GaAs laser experiments for the undergraduate laboratory. “*Amer. J. Phys.*”, **1973**, 41, № 2, 217-221. [РЖ 1973 7 А118].

Описаны три лабораторных эксперимента, в которых изучаются свойства инжекционных лазеров на GaAs. В первом эксперименте определяется величина тока, необходимая для возникновения генерации (порог генерации); во втором исследуется изменение длины волны света, испускаемого лазером, в зависимости от температуры лазера; в третьем эксперименте исследуются поляризационные характеристики излучаемого света. Приводится краткая теория экспериментов. Обсуждаются

результаты. Эксперименты выполнены на GaAs-лазерах, выпускаемых фирмами Monsanto MLI и Laser Diode LD22-2. Лазеры обеих фирм работают в импульсном режиме и излучают свет в диапазоне 855–9100 Å при комнатной температуре.

**Эксперименты по лазерной оптике со стеклянными пластинками и модифицированным интерферометром Жамена.** Woolsey G.A. Laser optics experiments with glass plates and a modified Jamin interferometer. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 2, 255-259. [РЖ 1973 7 A117].

Описаны следующие лабораторные работы по оптике, использующие He-Ne-лазер: 1) определение угла между плоскостями плоско-параллельной стеклянной пластинки (с точностью до нескольких угловых секунд); 2) измерение расщепления луча в зависимости от угла падения на плоскопараллельную стеклянную пластинку; 3) измерение показателя преломления воздуха с помощью модифицированного интерферометра Жамена. Интерферометр Жамена состоит из двух высококачественных параллельных стеклянных пластинок, посеребренных с одной стороны каждая. В модифицированном интерферометре угол между плоскостями каждой из пластинок может быть  $\sim 1'-2'$ , а сами пластинки устанавливаются так, чтобы эти углы были антипараллельны. Преимущества такого интерферометра заключаются, помимо дешевизны, в большой устойчивости дифракционной картины к колебаниям оптических компонент.

**Лазер в лабораторном практикуме.** Верховзин А.Н., Бронников Н.Л., Князев С.И. описаны две лабораторные работы по волновой оптике, поставленные на кафедре физики шадринского педагогического института с использованием квантовых генераторов. Для проведения первой лабораторной работы ("Исследование поляризованного света") используется квантовый генератор ЛГ-75, собирающая линза с фокусным расстоянием 15 см, селеновый фотоэлемент, микроамперметр М-95, слюдяная пластинка в  $\frac{1}{4}$  волны и оптическая скамья. Установка для проведения второй лабораторной работы ("Исследование магнитооптического эффекта Фарадея динамическим методом") состоит из газового квантового генератора ЛГ-55, звукового генератора ЗГ-10, осциллографа ЭО-7, лампового вольтметра, микроамперметра М-95, фотодиода ФД-1, короткофокусной собирающей линзы, поляроида (анализатора). Соленоида, селективного усилителя или селективного вольтметра В6-2 и набора исследуемых веществ. Описаны методики проведения указанных работ.

**Изучение гелиево-неонового лазера ОКГ в лабораторном практикуме по общей физике.** Санина Т.А., Луканская Р.А. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", 1975, вып. 4, 65-68. [РЖ 1976 5 A136].

Предлагается лабораторная работа по изучению принципа действия газового гелий-неонового оптического квантового генератора, которую рекомендуется включить в практикум по общей физике. Для выполнения работы достаточно использовать маломощный и малогабаритный гелий-неоновый лазер, генерирующий на длине волны 6328 Å, и спектральный прибор с нужным разрешением и дисперсией (напр., гониометр-спектрометр ГС-5 в сочетании с дифракционной решеткой или репликой с нее, имеющей 600 штрихов на миллиметр и общее число штрихов, равное 24000). Приводится теоретическая часть работы, перечисляются задания для студентов по этой работе, обращается внимание на соблюдение правил техники безопасности.

**Лабораторная работа “Исследование основных свойств излучения газового лазера”.** Бревдо В.И., Козловская Р.С. Михайлов И.М., Романенко В.Н., Широкова А.В. “Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР”, 1975, вып. 4, 88-90. [РЖ 1976 5 А138].

Описаны три лабораторных задания, для выполнения которых используется лазер непрерывного действия ЛГ-75: 1. Изучения кривой распределения интенсивности в дифракционных спектрах разных порядков; 2. Расчет длины волны излучения лазера; 3. Исследование степени поляризации лазерного излучения.

**Демонстрация эффекта Доплера с помощью лазера.** Kranzinger Franz. Dopplereffekt mit dem Laser. “Prax. Naturwiss.”, 1975, 24, № 11, 291-292. [РЖ 1976 5 А141].

Для изучения эффекта Доплера предлагается использовать биения между падающим и отраженным от движущегося зеркала лучом лазера. В опыте частота биений выбирается звуковой, благодаря чему возможна регистрация биений на слух с одновременным контролем на осциллографе. С целью поддержания постоянной скорости перемещения зеркала его прикрепляют к мембране громкоговорителя, соединенного с генератором пилообразных колебаний.

**Изучение инжекционного ОКГ в лабораторном практикуме по квантовой электронике.** Гусев В.Г., Пойзнер Б.Н. “Изв. высш. учеб. заведений. Физика”, 1975, № 9, 123-124. [РЖ 1976 5 А139].

Для уяснения физических явлений в инжекционном ОКГ целесообразно исследовать характеристики излучения  $p$ - $n$ -перехода при токах инжекции как меньших, так и больших порогового. Чтобы сделать работу полноценной в методическом отношении, необходимо предусмотреть плавную регулировку выходного тока генератора, питающего ОКГ. Для определения порогового тока предлагается использовать двухлучевой осциллограф, на один вход которого подается сигнал с фотоприемника излучения ОКГ, а на другой – с импульсного трансформатора диода. Поворот оптического столика с ОКГ позволяет снять диаграмму направленности излучения  $p$ - $n$ -перехода и исследовать изменение ее ширины в зависимости от величины тока. С помощью дихроичного поляроида во вращающейся оправе исследуются при разных токах ориентация и степень поляризации излучения. Применяя калиброванный фотоприемник (например, фотодиод), можно измерить мощность и к. п. д. ОКГ.

**Простой эксперимент по рассеянию лазерного излучения – лабораторная работа по физике для студентов-биологов.** Simple laser scattering experiment for biology-oriented physics labs. Orwing L., Schrank G. “Amer. J. Phys.”, 1979, 47, 3 6, 500-502. [РЖ 1980 1 А97].

Описывается лабораторная установка студенческого практикума физического факультета Калифорнийского университета в Санта-Барбара, штат Калифорния, США. Установка предназначена для измерения диаметра взвешенных в воде частиц латекса, имитирующих микроорганизмы с характерными размерами порядка 1 мк. Излучение от He-Ne-лазера с длиной волны 0,63 мкм после прохождения через поляризатор рассеивается на частицах взвеси, находящейся в специальной кювете, и затем поступает на Si-датчик, служащий измерителем мощности. Пространственное расположение дифракционных максимумов регистрируется студентами визуально при помощи зрительной трубы, перемещающейся по азимуту (в плоскости рассеяния), а их интенсивность измеряется при помощи фотометрического устрой-

ства, работающего по принципу выравнивания освещенностей световых полей. Характерный график зависимости интенсивности рассеянного света от угла рассеяния имеет четыре максимума и четыре минимума в диапазоне изменения угла от  $30^{\circ}$  до  $140^{\circ}$ . Оценка диаметра частиц может быть сделана независимо по любому экстремуму по известным значениям длины волны и угла рассеяния с учетом коэффициентов, зависящих от порядка экстремума, а также диэлектрической проницаемости взвеси. Ошибка в определении диаметра составляет 1–2%.

**Ознакомление с принципом действия оптического квантового усилителя и генератора света.** Общий физ. практикум. Оптика. Под ред. проф. А.Н. Матвеева и доц. Д.Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. **1980**. Задача 401. с. 5-31.

В качестве активного элемента исследуемого лазера используется элемент от заводского лазера ОКГ-12. Он представляет собой стеклянную трубку с внутренним диаметром 6 мм и длиной 1000 мм, концы которой заклеены стеклянными плоскопараллельными пластинками, расположенными под углом Брюстера. На концах трубки подпаяны баллоны, в которых расположены анод и катод прямого подогрева. В состав установки входят также фотодиод, поляризатор, линза и некоторые другие элементы. В ходе работы определяется коэффициент усиления активного элемента, создается режим генерации лазера, изучаются основные моды его оптического резонатора, исследуется состояние поляризации излучения лазера.

**Звукочастотная модуляция излучения лазера.** Tonfrequenz-Modulation von Laser-Licht. Koppelman G., Weber D.J. "Prax, Naturwiss. Phys.", **1980**, 29, № 9, 257-263. [РЖ 1981 3 А133].

Описан ряд простых опытов по звукочастотной модуляции излучения газового лазера, предназначенных для проведения на лабораторных занятиях по физике в средней или высшей школе. Рассмотрены следующие опыты: 1. Модуляция за счет изменения скорости подвода газа лазера; 2. Модуляция за счет механического прерывания луча лазера; 3. Модуляция за счет отклонения луча на качающихся зеркалах; 4. Модуляция с помощью эффекта Керра; 5. Модуляция с помощью эффекта Фарадея; 6. Модуляция с помощью эффекта Зеемана внутри лазера. Описано лабораторное оборудование, используемое в данных опытах.

**Газовый лазер.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Работа 41. С. 267-274.

**Изучение физики лазеров в лабораторном практикуме по оптическим квантовым генераторам.** Дьяков В.И., Орлов А.И. Применение лазер. И оптико-электрон. Техн. в учеб. процессе: Сб. матер. Науч.-метод. конф., Минск, дек., **1986**. Минск, 1989. С. 14. [РЖ 1990 6 А91].

Лабораторный практикум по оптическим квантовым генераторам предназначен для ознакомления студентов с основами квантовой электроники и различными типами лазеров. Все работы выполняются на открытых макетах при соблюдении мер техники безопасности (в частности, используются очки со стеклами СЗС-22, предназначенные для защиты органов зрения от воздействия лазерного излучения) и включают юстировку лазерных резонаторов, реализацию заданных режимов работы и измерение генерационных характеристик. В задании по каждой из лабораторных работ включены вопросы, ориентированные на ознакомление студентов с экспериментальной установкой, с методами реализации различных режимов генерации и измерения характеристик излучения, а также вопросы, направленные на ознакомление студентов с

отдельными нелинейными оптическими эффектами.

**Методика изучения нелинейных оптических явлений в общем физическом практикуме.** Токаревич Ю.В., Хомич М.И. Применение лазер. и оптико-электрон. техн. в учеб. процессе; Сб. матер. науч.-метод. конф. , Минск, дек., **1986**. Минск, 1989. С. 5-8. [РЖ 1990 7 А182].

Описана методика экспериментального изучения явления тепловой дефокусировки излучения гелий-неонового лазера, проявляющего в расширении светового пятна излучения, прошедшего через плоскопараллельную кювету толщиной 1 мм с поглощающим раствором. Экспериментально исследуется характер зависимости нелинейной расходимости от начальной мощности излучения. Приведены формулы зависимости угла нелинейной расходимости светового пучка с гауссовым распределением плотности для средней отрицательной нелинейной поправкой к показателю преломления.

**Использование He-Ne-лазера в лабораторном практикуме по курсу общей физики (оптика).** Ляшко О.М., Пацко А.И. Применение лазер. и оптико-электрон. техн. в учеб. процессе; Сб. матер. науч.-метод. конф. , Минск, дек., **1986**. Минск, 1989. С. 15. [РЖ 1990 7 А183].

Описаны возможности использования He-Ne-лазера в лабораторном практикуме по оптике в качестве источника интенсивного когерентного излучения. Рассмотрены два примера; определение показателя преломления стеклянной пластинки по углу Брюстера и получение дифракции на нескольких щелях, многолучевая интерференция.

**Некоторые учебные эксперименты с лазером.** Some student experiments with a laser. Young P.A. Phys. Educ. **1989**. 24, № 3. 169-174. [РЖ 1989 11 А113].

Подробно описываются три эксперимента с He-Ne-лазером: 1) определение фотометрических характеристик лазерного излучения; 2) исследование гауссовского характера распределения интенсивности по сечению лазерного луча; 3) формирование изображения при помощи лазерного луча. В первом эксперименте все результаты получаются из измерений диаметра пятна на экране и расстояния от лазера до экрана; во втором эксперименте поперечное распределение интенсивности исследуется при помощи кремниевого фотодиода (закрытого диафрагмой с малым отверстием) путем сканирования по сечению пучка; в третьем изучаются свойства линзы по осуществлению Фурье-преобразования и по формированию изображений.

**Использование лазеров в практикумах по оптике и спектроскопии.** Голубева Н.Г., Халимонова И.Н. Пробл. высш. шк. (Киев). **1989**. № 68. 57-62. [РЖ 1990 2 А100].

Указано, что в лабораторных работах по дифракции Френеля с использованием лазера допускается ошибка; предполагается, что волновой фронт имеет не только постоянную фазу, но и амплитуду, что для газового лазера неверно (амплитуда по фронту волны имеет гауссово распределение). Отмечаются широкие возможности применения лазеров в работах по интерференции света и молекулярной спектроскопии (определение силовых постоянных четырехатомных молекул, изучение симметрии и колебаний молекул методами теории групп, анализ изотопического состава воды по спектрам комбинационного рассеяния и др.).

**Изучение временной и пространственной когерентности излучения лазера и тепловых источников света в физическом практикуме.** Еркович О.С. МГТУ. М., 1991. 11. [РЖ 1992 4 А138].

Предлагается описание лабораторной установки физического практикума, предназначенной для исследования явления когерентности света. Основу установки составляют интерферометр Тваймана-Грина, предназначенный для определения времени и длины когерентности излучения лазера, и интерферометр Ньютона, используемый для измерения длины когерентности тепловых источников света. Приведены подробные описания установки, методики проведения эксперимента и обработки результатов измерений, а также краткое теоретическое введение. Работа может быть использована в лабораторном практикуме при изучении курса общей физики в высших учебных заведениях, а также в средних учебных заведениях с углубленным изучением дисциплин физико-математического цикла.

**Использование практически конфокального интерферометра для изучения поперечных мод в резонаторе.** The use of a nearly confocal interferometer for the study of transverse modes of a cavity. Kane D.M. Amer. J. Phys. 1991. 59, № 3. С. 235-239. [РЖ 1992 9 А101].

Описан лабораторный эксперимент с использованием практически конфокального интерферометра для измерения и проверки расчетных значений частот поперечных мод в резонаторе. Дан вывод формулы для резонансных частот. В ходе выполнения работы определяется сдвиг по частоте для лазерных мод, обусловленный изменением длины резонатора; исследуется поляризация соседних продольных мод; проверяется примерное постоянство числа поперечных мод для каждой из продольных. Полоса частот для поперечных мод практически конфокального интерферометра увеличивается пропорционально расстоянию между зеркалами резонатора. Эксперимент наглядно демонстрирует, что моды являются характеристиками резонатора и не отражают адекватно спектральный состав излучения, попадающего в резонатор.

**Лабораторный макет для изучения и демонстрации физических характеристик лазера :** А. с. 1819081 Россия, МКИ Н 01 8 3/00. Седых Ю.К., Мятлик В.И., Куделя С.В. ; Харьк. Ин-т радиоэлектрон. № 4805530/25 ; Заявл. 23.03.90 ; Оpubл. 10.03.95. Бюл. № 7. [РЖ 1996 11 А93П].

Макет содержит приборы для измерения параметров лазерного излучения, источник тока для возбуждения рабочей среды и активный элемент лазера, помещенный между двумя зеркалами оптического резонатора. Внутри рабочей зоны резонатора введен фильтр с изменяющимся коэффициентом поглощения. Фильтр снабжен механизмом его введения в резонатор и шкалой, показывающей величину коэффициента поглощения излучения. Источник тока содержит регулятор и измеритель мощности уровня накачки. Макет позволяет демонстрировать влияние плотности электромагнитного поля внутри резонатора и инверсной населенности  $\Delta N$  на выходное излучение.

**Диодные лазеры с длиной волны 670 нм в физическом практикуме: эксперименты с резонаторами Фабри-Перо.** Teaching physics with 670-nm diode lasers— experiments with Fabry-Perot cavities. Boyd R.A., Bliss J.L., Libbrecht K.G. Amer. J. Phys. 1996. 64, № 9. 1109-1116. [РЭ 1998 3 А133].

**Лазерная спектроскопия цезиевого димера как лабораторный эксперимент по физике.** Laser spectroscopy of the cesium dimer as a physics laboratory experiment. Terrell M., Masters M.F. *Amer. J. Phys.* **1996**. 64. № 9. 1116-1120. [РЖ 1998 3 А134].

**Лазерный практикум.** И.В. Головнин, Б.В. Жданов, Н.Г. Подкопаева. ФОВ. **1998**. Т. 4, № 3, с. 105.

**Использование лазерного диода для индуцирования флуоресценции.** Using a diode laser for laser-induced fluorescence. Tran Y., Whitten J.E.J. *Chem. Educ.* **2001**. 78. № 8. 1093-1095. [РЖ 03.04-18А.158].

**Изучение излучения электрического диполя через рассеяние поляризованного света лазера.** A study of electric dipole radiation via scattering of polarized laser light. Sharma Natthi L., Behringer Ernest R., Crombez Rene C. *Amer. J. Phys.* **2003**. 71. № 12. 1294-1302. [РЖ 05.08-18А.132].

**Использование полупроводникового лазера в учебном физическом эксперименте.** Коврижных Ю.Т. *Проблемы учеб. физ. эксперим. Мат-лы 10 Всеросс. науч.-практич. конф. "Учебн. физ. эксперим.. Актуальн. Пробл. Современ. решения"*, Москва, 2005. Сб. науч. тр. Вып. 21. М., **2005**. 66-68. [РЖ 07.02-18А.145].

Рассматривается применение полупроводникового лазера (лазерной указки) в лабораторном и демонстрационном эксперименте. Выделены два направления использования этих источников света. Возможности первого направления показаны на примере школьного демонстрационного зеркального гальванометра и наблюдения магнитного поля Земли с помощью мягкой проволочной петли. Второе направление использования – опыты с лазерной указкой по волновой оптике относительно легко можно поставить в переносном варианте для демонстрации практически в любой аудитории. Расходимость лазерного пучка небольшая, но вполне достаточная, чтобы проводить опыты по волновой оптике в одномерном варианте.

**Лазерный стробоскоп для лабораторного практикума.** Куропаткин С.В. Самарский регион. Конкурс-конф. Научн. Работ студентов и молодых иссл-лей по оптике и лазерной физике. Москва, 24-25 ноябр., 2005. Сб. конкурсных докладов. ФИАН. М., **2005**. 220-226. [РЖ 07.02-18А.146].

Разработана конструкция стробоскопа на полупроводниковом лазере, который рассчитан на применение в областях, связанных с исследованиями двухфазных потоков, вибраций, частоты вращения, и в лабораторном практикуме. Основные характеристики стробоскопа: длина волны излучения 655 нм; средняя мощность излучения 1 мВт; пороговый ток накачки 4 мА; частота входных сигналов 1–200000 Гц; частота выходных сигналов 0,1–20000 Гц; скважность 10 и 2.

**Термическая линза, индуцированная лазерным диодом для дидактического эксперимента в лабораторном практикуме по физике.** Lente t'lermica inducida por diodo laser como experiencia did'lectica de laboratorio de fisica. Rodrigues L., Ramirez J., Marcano O. *Rev. tex. Fis. E.* **2005**. 51. № 1. 1-4. [РЖ 08.09-18А.131].

**DVD спектроскоп: простой учебный спектроскоп высокого разрешения.** A DVD spectroscope: A simple, high-resolution classroom spectroscope. Wakabayashi Fumitaka, Hamada Kiyohito. *J. Chem. Educ.* **2006**. 83. № 1. 56-58. [РЖ 07.02-18А.147].

Дано описание простого спектроскопа, для изготовления которого используются цифровые универсальные диски (DVD), применяемые для записи видео и компьютерных данных. DVD-спектроскоп может разрешать линии ртути в желтой области спектра длиной 577 и 579 нм. Кратко описаны конструкция спектроскопа, наблюдение и обсуждение фотографий спектра, в том числе эмиссионного спектра флюоресцентной лампы.

## Глава 9

### СКОРОСТЬ СВЕТА И ДЛИНА ВОЛНЫ

**Простой электрический метод измерения скорости света для демонстраций на лекциях и практикумов.** Кребель (Eine einfache elektrische Methode zur directen Messung der Lichtgeschwindigkeit zur Anwendung in Vorlesungen und Praktika. Kroebe W.), *Optik*, **1957**, 14, № 7-8, 353-360. [РЖ 58 №6 12290].

Описывается установка для прямого измерения скорости света. Установка в основном состоит из: 1) задающего генератора частоты  $nf$ , где  $n$  – целое число, 2) лампы тлеющего разряда, модулируемой с частотой  $f$  порядка 2,5–3 МГц, 3) катодного осциллографа (КО) с круговой разверткой частоты  $2nf$  и 4) фотоумножителя. Свет от лампы после отражения от удаленного зеркала падает на фотоумножитель, ток которого после усиления поступает в фильтр, настроенный на частоту  $2nf$ . Напряжение с фильтра подается на венельтов цилиндр КО, модулирующего яркость катодного луча. При работе установки на экране КО получается изображение двух диаметрально расположенных участков окружности. При изменении расстояния до зеркала картина на экране КО поворачивается на легко измеряемый угол. По величине угла поворота при известной частоте  $nf$  и смещению зеркала вычисляется скорость света. Точность измерения при базе 5–1 м порядка 1%.

**Лабораторное измерение скорости света.** Олфорд, голд (Laboratory Measurement of the velocity of light. Alford W. Parker, Gold Albert), *Amer. J. Phys.*, **1958**, 26, № 7, 481-484. [РЖ 1960 № 8 18882].

Описан экспериментальный метод, позволяющий достаточно точно непосредственно измерить скорость света при помощи простой установки. Метод основан на том, что разложение Фурье пары идентичных импульсов дает спектр частот, нули которых имеют простое отношение к временному интервалу между импульсами. Основными приборами установки являются фотоумножитель, источник высокого напряжения и коротковолновый радиоприемник. При помощи такой относительно простой установки при длине пути 15-30 м можно легко определять  $c$  с точностью 1% или выше.

**Усовершенствование прибора Лейбольда для измерения скорости света.** Майнарди (Improvement of Leybold velocity of light apparatus. Mainardi Marcus M.), *Amer. J. Phys.*, **1958**, 26, № 7, 504. [РЖ 1960 № 8 18883].

В описании конструкции прибора Лейбольда, данном Томпсоном (РЖФиз, 1958, № 11, 26164), было отмечено, что фактором, ограничивающим применение этого прибора, является малая яркость изображения. Автор предлагает простое

усовершенствование прибора, повышающее яркость изображения в несколько раз.

**Измерение длины волны видимого света в жидкостях.** Хейнрикс (Wellenlängenmessung sichtbaren Lichtes in flüssigkeiten. Heinrichs Ernst), Prax. Naturwiss., **1959**, A8, № 12, Physik, 329-331. [РЖ 1960 № 8 18884].

На оптической скамье в обычном порядке (как это делается при измерениях длины волны при помощи дифракционной решетки) устанавливаются приборы и кювету, выполненную из жести размером  $100 \times 25 \times 8$  см и выкрашенную изнутри в черный цвет. В передней торцевой стенке сделано окно размером  $5 \times 5$  см, в которое вставлена плоскопараллельная стеклянная пластинка, в окно задней стенки вставлено матовое стекло размером  $6 \times 20$  см с нанесенной на нем горизонтальной шкалой. При помощи этой установки можно измерить длину волны линий ртути в воздухе и в воде, определить коэффициент преломления воды относительно воздуха, а также показать ряд других оптических явлений: зависимость фокусного расстояния линзы от относительного коэффициента преломления; уменьшение угла отклонения лучей, прошедших через призму, при переходе из воды в стекло и опять в воду и др.

**Определение угловой скорости вращающегося зеркала в приборе Лейбольда для измерения скорости света.** Maxwell Howard N. Determination of the angular speed of the Leybold rotating mirror for the velocity of light experiment. "Amer. J. Phys.", **1961**, 29, № 10, 711. [РЖ 1962 5 A73].

Описаны четыре способа определения угловой скорости зеркала в учебном приборе Лейбольда для измерения скорости света по фигурам Лиссажу, получаемым на экране осциллографа.

**Определение скорости света в физическом практикуме.** Крафтмахер Я.А. "Изв. высш. учебн. заведений. Физика", **1962**, № 5, 65-70. [РЖ 1963 3 A76].

1. Определение скорости света при помощи электрооптического преобразователя. Установка для определения скорости света состоит из электрооптического преобразователя с электростатической фокусировкой и двумя парами пластин для горизонтального и вертикального отклонения изображения на экране. Базой для определения скорости света является расстояние между двумя плоскими зеркалами, от которых свет отражается к фотокатоду электрооптического преобразователя. Описывается методика проведения измерений. 2. Определение скорости света фазометрическим методом. Скорость света определяется при помощи источника света, модулированного достаточно высокой частотой, и устройства для измерения разности фаз. При проведении опыта наблюдают изменение показаний фазометра при изменении расстояний от установки до зеркала. Описываются блок-схема установки и схема модуляционного блока.

**Определение длины волны света в различных оптических средах.** Tadsen Christian. Die Bestimmung der Wellenlängen des Lichtes in verschiedenen optischen Mitteln. "Prax. Naturwiss.", **1963**, A12, № 2, Physik, 37-41. [РЖ 1963 10 A104].

Описаны опыты, позволяющие при помощи простых оптических приборов определять длины волн света в различных оптических средах. опыты имеют целью демонстрацию зависимости длины волны света от преломляющей способности среды и определение частоты как постоянной характеристической величины света.

**Измерение скорости света в веществе по методу Фуко.** Moritz Klaus. Zur Messung der Lichtgeschwindigkeit in Materie nach Foucault. "Prax. Naturwiss.", 1965, A14, № 12, "Physik", 325-327. [РЖ 1966 8 А85].

Аппаратура для измерения скорости света в воздухе по методу Фуко (метод вращающегося зеркала) дополнена автором приспособлениями, позволяющими измерять скорость света в веществе (в данном случае в сероуглероде) и проводить этот опыт в демонстрационных условиях. В последнем случае была использована телевизионная лупа (сочетание телевизионной передающей трубки и приемника), которая позволила в восемь раз увеличить линейные размеры смещения луча света при вращении зеркала и сделать это смещение видимым для большой аудитории.

**Скорость света в различных средах.** Venturi E., Arnjlf G. Il comportamento della velocità della luce nei vari mezzi. "Giorn. fis. soc. Ital. fis.", 1967, 8, № 3, 226-227. [РЖ 1968 5 А80].

Методом дифракции от щели в различных средах определяется показатель преломления воздуха и воды, для чего измеряется ширина центрального максимума в обоих случаях, и через их отношение определяется относительный показатель преломления, равный 1,34 (с точностью до 6%).

**Измерение скорости распространения электромагнитных волн.** Kahra Johannes. Die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen. "Prax. Naturwiss.", 1968, A 17, № 4, Physik, 89-95. [РЖ 1968 10 А69].

Автор статьи дает практические указания по осуществлению и работе с видеоизмененной установкой Физо для измерения скорости света, позволяющей производить измерения в комнате. Установка была описана в 1951 г. П. Шурхольцем (Schurholz P.) в статье об опытах с ультразвуком в сборнике Sammlung Lax "Arbeit-acheft e aus verschiedenen Gebieten" (№ 12, стр. 181). Применявшееся в опыте Физо зубчатое колесо заменяется сосудом с нитробензолом, с одного конца которого расположен поляризатор, а с другого – анализатор с взаимно-перпендикулярными осями. Подвергая нитробензол воздействию электрического поля, превращают поступивший в него через поляризатор поляризованный свет в эллиптически поляризованный (эффект Керра), который проходит через анализатор. Проходящий через анализатор свет отражается от зеркала и возвращается к анализатору. Так как при равенстве нулю электрического поля отраженный от зеркала свет не пройдет через анализатор и поляризатор из-за отсутствия эффекта Керра, то в зависимости от частоты электрического поля, воздействующего на нитробензол, интенсивность возвращающегося через поляризатор отраженного света будет изменяться, падая по мере повышения частоты поля до минимума, а затем снова увеличиваясь. В опыте с применением установки автора статьи скорость света определяется как  $c = s \cdot 2f$ , где  $f$  – частота поля, при которой получен первый минимум интенсивности отраженного света,  $s/2$  – расстояние между зеркалом и анализатором. Измерения могут проводиться, например, при  $s/2 = 7,25$  м и  $f = 10,3$  МГц. Описано также видеоизменение установки, позволяющее измерять скорость распространения света в воде.

**Непосредственное определение скорости света, как лабораторный эксперимент общей физики.** Cooke James, Martin Michael, McCartney Harold, Will Boyce. Direct determination of the speed of light as a general physics laboratory experiment. "Amer. J. Phys.", 1968, 36, 3 9, 847. [РЖ 1969 5 А47].

Предлагается метод непосредственного определения скорости света обычными экспериментальными средствами лаборатории общей физики. Описываемый прибор

состоит из двух ньютоновых зрительных труб, двух фотоэлементов, осциллографа с достаточно коротким временем развертки, зеркала и стробоскопической лампы. Окуляр одной из зрительных труб заменяется разрядной трубкой стробоскопической лампы так, что зрительная труба передает параллельный пучок импульсного света. Этот пучок затем отражается зеркалом и возвращается ко второй зрительной трубе. Таким образом, оба фотоэлемента “видят” импульсы лампы с задержкой, РАВНОЙ  $2l/c$ , где  $l$  – расстояние от зрительной трубы до зеркала,  $c$  – скорость света. Студент может прикрыть один из фотоэлементов, чтобы увидеть единичный импульс; затем, открыв оба фотоэлемента, он наблюдает их с временной задержкой. Учитывая калибровку развертки осциллографа и измерив  $l$ , он получает  $c$ . Точность измерения скорости света в описываемом эксперименте составляет  $\sim 10\%$ .

**Определение скорости света методом фазового сдвига.** Rogers John, McMillan Ronnie, Pickett Rpbert, Anderson Richard. A determination of the speed of light by the phase-shift method. “Amer. J. Phys.”, **1969**, 37, № 8, 816-822. [РЖ 1970 3 А82].

Описан низкочастотный фазовый метод определения скорости света. Световой пучок от лазера модулируется электрооптическим модулятором (ЭОМ) на частоте  $510 \text{ кГц}$ . В качестве ЭОМ использована пластинка дигидрофосфата калия, помещенная между двумя поляроидами. Модулированный пучок света отражается от зеркала и регистрируется ФЭУ. Различным положения зеркала соответствует различный фазовый сдвиг  $\varphi$  отраженного сигнала относительно модулирующего напряжения. ФЭУ используется одновременно и для детектирования сигнала и для преобразования частоты. Промежуток фотокатод – I диод служит фотодиодом. При подаче на последний диод синусоидального напряжения с частотой  $502 \text{ кГц}$  на аноде можно выделить сигнал с частотой  $8 \text{ кГц}$ , несущий информацию о фазе  $\varphi$ . Этот сигнал поступает на фазовый множитель, включающий два множителя частоты на 8 и на 9. На 8 умножается частота напряжения от опорного генератора с регулируемой фазой  $\alpha$ , равная  $8 \text{ кГц}$ . На 9 умножается частота сигнала с анода ФЭУ. После умножения и смещения частот этих напряжений выделяется сигнал  $S$  с частотой  $8 \text{ кГц}$  и фазой  $9\varphi - \alpha$ . Таким образом, измерения эквивалентны использованию частоты модуляции  $4,59 \text{ МГц}$ . Процедура измерения заключается в регистрации минимумов сигнала  $S$  при изменении фазы  $\alpha$  для различных положений зеркала. Полученное значение скорости света в воздухе составляет  $(2,937 \pm 0,033) \cdot 10^8 \text{ м/сек}$ . Преимущество предложенного метода заключается в малости размеров экспериментальной установки и в использовании стандартной радиоаппаратуры.

**Измерение скорости света для учебных целей.** Tyler Charles E. A pedagogical measurement of the velocity of light. “Amer. J. Phys.”, **1969**, 37, № 11, 1154-1156. [РЖ 1970 6 А86].

Описан простой, дешевый и легко осуществимый прибор для доказательства конечности скорости распространения видимого света измерения этой скорости. На одном конце оптической скамьи помещается импульсный источник света, который испускает одновременно световой импульс, распространяющийся вдоль скамьи и улавливаемый детектором, и электрический импульс, распространяющийся по кабелю к триггеру осциллографа. Детектор, принимающий световой сигнал, посылает соответствующий электрический импульс на вход электронно-лучевой трубки. Приведена схема импульсного источника света, а также фотоснимки установки и сигналов. Скорость света, измеренная с помощью этой установки, получена равной  $29,8 \pm 0,6 \text{ см/нсек}$ .

**Измерение скорости света методом Фуко с помощью лазерного луча.** Binner Peter. Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault mit Laserstrahlen. "Prax. Naturwiss.", 1970, Teil 1, 19, № 5, 126-128. [РЖ 1970 11 А70].

Установка для проведения опыта включает в себя лазер, линзу с фокусным расстоянием  $\approx 5$  м, делитель пучка, проекционное устройство, оптическую скамью. Юстировка зеркал производится с помощью лазера. Частота вращения зеркала определяется с помощью установки, состоящей из фотодиода, импульсного генератора, электронного секундомера. Скорость света определяется по числу оборотов зеркала в единицу времени, отклонению светового пятна от первоначального положения (при исходной настройке), фокусному расстоянию линзы. Получаемое значение скорости света  $c \approx 308000$  км/сек; хотя точность определения недостаточна, но быстрота определения скорости света позволяет рекомендовать данный метод для применения в школе.

**Измерение скорости "света".** Huang W.F. Speed of "light" measurement. "Amer. J. Phys.", 1970, 38, № 9, 1159-1160. [РЖ 1971 1 А85].

Описана лабораторная работа по измерению скорости света, в которой источником "света" служит радиоактивный  $^{60}\text{Co}$  или  $^{22}\text{Na}$ . Два одновременно испущенных фотона регистрируются двумя фотоумножителями. Сигнал с одного фотоумножителя поступает на вход запуска, с другого – на вход остановки преобразователя временных интервалов в амплитудные импульсы (ТАС). Если  $t_1$  и  $t_2$  – времена прихода сигналов на вход запуска и вход остановки соответственно, то на выходе ТАС амплитуда импульса прямо пропорциональна  $t_2 - t_1$ . Выходной импульс усиливается и анализируется многоканальным анализатором. Таким образом могут быть измерены временные интервалы порядка  $10^{-10}$  сек. Определение скорости света проводится измерением времени, за которое фотон проходит некоторое расстояние (50 см). Для этого анализируются и сравниваются два последовательно получаемых на выходе ТАС импульса: первый получен при включении фиксированной линии задержки между вторым фотоумножителем и входом остановки; второй – когда этот фотоумножитель смещен на расстояние 50 см.

**Определение скорости распространения света по Декарту.** Hildebrand Klaus. "Prax. Naturwiss.", 1971, Teil 1, 20, № 2, 41-42. [РЖ 1971 7 А84].

Предлагается описание опыта по определению скорости света, поставленного Декартом, который обычно не приводится в учебно-методической литературе. Декарт, как и Галилей, еще до Ремера пытался определить скорость света, изучая солнечные затмения. Однако, не имея возможности вычислить угол аберрации, Декарт пришел к неверному выводу, что распространение света есть процесс, не имеющий конечной скорости. Описывается также интерпретация результатов Декарта, данная Бредли, который рассматривал аберрацию как результат сложения скорости света, идущего от звезды, со скоростью орбитального движения Земли.

**Определение длины световой волны с помощью раздвижного калибра, используемого в качестве оптической решетки.** Seus Erwin. Lichtwellenlängenbestimmung mit der Schiebelehre als optisches Gitter. "Prax. Naturwiss.", 1971, Teil 1, 20, № 3, 57-59. [РЖ 1971 8А83].

Предлагается метод определения длины световой волны посредством калибра с миллиметровыми делениями, используемого в качестве отражательной дифракционной решетки. Лазерный пучок, отраженный от металлических поверх-

ностей между делениями калибра, создает на экране интерференционную картину. Зная положение световых максимумов  $0, 1, \dots, n$  порядков и расстояние от середины калибра до экрана, можно вычислить длину световой волны; соответствующая формула приводится. Интерференционную картину можно наблюдать в незатемненной комнате. Точность, с которой нанесены деления на калибре, достаточна для проведения опыта в школьных условиях.

**Экспериментальное определение скорости света с помощью звездных спектрограмм.** Culver Roger., Leisure Robert. An experimental determination of the velocity of light from stellar spectrograms. "Amer. J. Phys.", 1972, 40, 3 11, 1585-1587. [РЖ 1973 3 А125].

Описан простой лабораторный эксперимент по определению величины скорости света по двум или более звездным спектрограммам, в котором используется явление Доплера и понятие относительного движения. Эксперимент предназначен для студентов университетов и колледжей физических специальностей. Обсуждается теория эксперимента, приведен ряд аналитических выражений, используемых при обработке результатов эксперимента. Эксперимент позволяет не только измерить скорость света, но знакомит студентов с явлением Доплера и спектрами поглощения звездных источников. Выполнение эксперимента, расчеты занимают два лабораторных часа. Точность определения скорости света находится в пределах 5-10%.

**Светоизлучающий диод и скорость света.** Kagerer Ernst. Halbleiter-Leuchtdioden und die Lichtgeschwindigkeit. "Prax. Naturwiss.", 1973, Teil 1, 22, № 5, 118-119. [РЖ 1973 11 А89].

Описывается опыт по измерению скорости света с помощью светоизлучающего диода MV-50. Установка состоит из кварцевого генератора высокой частоты, источника света, линзы, плоского и вогнутого ( $f=20$  см,  $d=10$  см) зеркал и приемного устройства. ВЧ-напряжение, поданное на источник света, вызывает в нем модуляцию по яркости. Часть вышедшего из источника света после прохождения через линзу с  $f=5$  см,  $d=10$  см направляется непосредственно в приемное устройство, а другая часть, пройдя путь  $S=25$  м, направляется туда же системой зеркал. Оба световых пучка, попадая на фотоэлемент MD-2, создают на его выходе ВЧ-напряжение с частотой модуляции. Это напряжение усиливается, а затем регистрируется чувствительным гальванометром. Оба световых сигнала должны приходить в приемное устройство сдвинутыми по фазе на  $\pi$ . В этом случае на выходе фотоэлемента напряжение отсутствует. Зная путь и длину волны падающего света, вычисляют его скорость. Приводится схема и описание устройства источника света. При токе  $I=20$  мА диод NV-50 дает световой поток мощностью 35 мкВт. Фотоэлемент приемного устройства включен в цепь базы транзистора типа NV-10В (или SSL-34 или SSL-55С), являющегося первым каскадом усилителя. Для уменьшения постоянной времени цепи  $T=RC$ , параллельно фотоэлементу включено сопротивление  $R=5$  кОм. Вместо чувствительного гальванометра предлагается также использовать коротковолновый приемник с высокой избирательностью.

**Недорогой точный метод определения скорости света в учебной лаборатории.** Vanderkooy J., Beccario M.J. An inexpensive, accurate laboratory determination on the velocity of light. "Amer. J. Phys.", 1973, 41, № 2, 272-275. [РЖ 1973 7 А115].

Описан лабораторный учебный эксперимент по определению скорости света, выполняемый студентами III курса. Экспериментальная установка состоит из импульсного полупроводникового лазера, установленного на оптической скамье,

коллимирующей линзы, отражательного зеркала, телескопа, фотоумножителя и короткого световода, соединенных с осциллографом. Метод определения скорости света основан на вычислении времени задержки между опорным импульсом, создаваемым точным кристаллическим генератором, и отраженным импульсом, испускаемым лазером. Для юстировки оптической системы используется небольшой He-Ne-лазер. Общая длина пути, проходимого светом в этом эксперименте, составляет  $\sim 220$  м. Весь эксперимент выполняется в течение 3 часов. Ошибка в определении скорости света не превышает 1 %.

**Применение лазера в опыте Фуко–Майкельсона по определению скорости света с помощью вращающегося зеркала.** Dombrowsky Herbert. Der Foucault-Michelsonsche Drehspiegelversuch zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe eines Lasers. "Phys. Und Didakt.", 1976, 4, № 1, 64-65. [РЖ 1976 9 A125].

Предлагается модификация известного опыта по определению скорости света с помощью вращающегося зеркала. Применение лазера в качестве источника света резко упрощает юстировку и сокращает время на проведение эксперимента.

**Измерение скорости света с помощью импульсного метода. Методические указания и улучшения.** Kagerer Ernst. Messung der Lichtgeschwindigkeit nach der Impulsmethode. Methodische Hinweise und Verbesserungen. "Prax. Naturwiss, Phys.", 1978, 27, № 8, 207-210. [РЖ 1979 1 A124].

Рассматривается следующая схема измерения скорости света. Импульс излучения светодиода запускает горизонтальную развертку электронного осциллографа, а отраженный от зеркала импульс света подается на вход усилителя вертикального отклонения. Расстояние по оси X пропорционально времени пробега пути светового импульса от светодиода до зеркала и обратно. Приводятся электронные схемы, рекомендуемые для уменьшения длительности импульса излучения светодиода с тем, чтобы повысить точность измерения скорости света.

**Опыт по измерению скорости света с помощью импульсного метода.** Kahra Johannes. Erfahrung mit der Messung der Lichtgeschwindigkeit nach der Impulsmethode. "Prax. Naturwiss. Phys.", 1978, 27, № 8, 211-213. [РЖ 1979 1 A125].

В методе, предложенном Е. Кагерером ("Prax. Naturwiss. Phys.", 1977, 7, 185) ошибка измерения скорости света составляет  $\pm 20\%$ . Для уменьшения ошибки необходимо создавать импульс света меньшей длительности. Предложена новая схема формирования импульса светодиода. Приводится схема установки и описание ее работы.

**Измерение скорости света средствами оптоэлектроники путем сравнения фаз (без осциллографа).** Ч. I. Messung der Lichtgeschwindigkeit mit optoelektronischen Mitteln durch Phasenvergleich (ohne Oszilloscop) [1]. Kabra Johannes. "Prax. Naturwiss.", 1979, 28, № 12, 311-314. [РЖ 1980- 5 A131].

Описан метод измерения скорости света. Интенсивность излучения модулируется частотой 12 МГц. Основой измерительной аппаратуры является интегральная триггерная схема, позволяющая сравнивать фазы колебаний частоты модуляции излучения. Опорный сигнал подается с источника излучения, а измеряемый – с приемника. Напряжение, пропорциональное сдвигу фаз, измеряется стрелочным прибором. Зная разность фаз и частоту колебаний, можно вычислить время прохождения сигнала от источника до приемника, а измерив расстояние между ними, легко определить скорость сигнала. Даны подробные указания по методике проведения эксперимента.

**Измерение скорости света с помощью радиоактивных источников.** Measurement of the speed of light using nuclear timing techniques. Sherbini Sami S. "Amer. J. Phys."m **1980**, 48, № 7, 578-579. [РЖ 1981 3 A134].

Описан лабораторный эксперимент по измерению скорости света, основанный на измерении времени прохождения определенного расстояния  $\gamma$ -квантами высоких энергий, испускаемых радиоактивным веществом. Для эксперимента был использован изотоп Na-22, который испускает одновременно два кванта с энергией 0,51 МэВ, с углом разлета  $180^\circ$ . Сцинтилляционные датчики размещались по обе стороны от радиоактивного источника. Первый датчик, запускающий таймер, был расположен на фиксированном расстоянии 0,2 м от источника, а второй датчик, останавливающий таймер, мог перемещаться в пределах 1,5–3,5 м. Измерения дали значение скорости света  $3,009 \cdot 10^{10}$  см/сек с точностью около 0,43%. Приводится схема и методика проведения эксперимента, описано лабораторное оборудование и даны рекомендации по повышению точности результатов измерений.

**Наглядный метод измерения скорости света.** Ein anschauliches Verfahren zur Messung der Licht-geschwindigkeit. Ganz Peter, Hagner Richard. "Prax. Naturwiss. Phys.", **1980**, 29, № 11, 327-333. [РЖ 1981 5 A75].

Существующие методы измерения скорости света обычно требуют использования установок больших линейных размеров, малопригодных для применения в условиях физических практикумов. Предложен вариант импульсного метода (аналогичный методу Физо), в котором используется электронная схема с фотодиодом, генерирующая световые импульсы, с продолжительностью 40 нсек и частотой до 10 кГц. Время, в течение которого световой луч проходит определенное расстояние, фиксируется по интервалу, образуемому на экране осциллографа между образом посланного импульса и импульса, прошедшего это расстояние. Приведены электронные схемы источника и приемника сигналов, и варианты оптической схемы установки.

**Определение скорости света.** Общий физ. практикум. Оптика. Под ред. проф. А.Н. Матвеева и доц. Д.Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. **1980**. Задача 404. с. 118-139.

Используется модулированное лазерное излучение. Модуляция света основана на линейном электрооптическом эффекте. Определение скорости света основано на измерении времени прохождения световой волны до удаленного на известное расстояние отражателя и обратно. В данной задаче для этого используется метод Физо. Определяется скорость света в воздухе и в жидкости

**Измерение скорости света при помощи независимого определения частоты и длины волны.** Measuring the speed of Light by independent frequency and wavelength determination. Bates Harry E. "Amer. J. Phys.", **1983**, 51, № 11, 1003-1008. [РЖ 1984 5 A158].

Предлагаемый эксперимент предназначен для студенческой лаборатории университетов и основан на непосредственном расчете скорости света  $c$  по известной длине волны  $\lambda$  и частоте  $f$   $c = \lambda f$ . По мнению автора, преимущество этого учебного эксперимента по сравнению со многими аналогичными, описанными в последнее время, заключается в том, что здесь наиболее адекватно воспроизводится самая современная методика определения  $c$ , основанная на лазерной интерферометрии. Эксперимент базируется на независимом определении длины волны и частоты излучения СВЧ, поступающего с выхода клистронного генератора ( $f \sim 9$  ГГц), а затем разделяющегося на два канала. Первый из них содержит устройство, аналогичное интер-

ферометру Майкельсона и предназначенное для измерения  $\lambda$  по ширине интерференционной картины. Во втором канале помещен дополнительный генератор, играющий роль гетеродина. В результате смешивания на нелинейном кристалле опорного излучения СВЧ с гармониками излучения дополнительного генератора выделяются биения разностного сигнала, которые регистрируются осциллографом и используются для определения частоты опорного излучения. Ошибка в определении  $c$  составляет  $\sim 1\%$ . Приводится таблица результатов измерений  $c$ , полученных в последнее время на установках, использующих лазерную интерферометрию.

**Времяпролетное измерение скорости света с использованием лазера и низковольтного модулятора на ячейке Погкельса.** Time-of-flight measurement of the speed of light using a laser and a lowvoltage Pockels-cell modulator. Becchetti F.D., Harvey K.C., Schwartz B.J., Shapiro M.L. "Amer. J. Phys.", **1987**, 55, № 7, 632-634. [РЖ 1988 2 А91].

Описан сложный эксперимент для старшекурсников, в котором лазер, низковольтный генератор импульсов и жлектрооптический модулятор на эффекте Погкельса применены для измерения скорости света по времени пролета. С помощью калиброванного осциллографа достигается точность 2%. С использованием аналогового конвертора времени и многоканального анализатора достигается точность лучше 0,2%. Применен стандартный лабораторный генератор импульсов (50 В на нагрузке 50 Ом) с крутизной фронта 10 нс и длительностью импульса 50 нс. Детектором служит фотоэлектронный умножитель с интерференционным фильтром перед входным окном.

**Лазерная установка для определения скорости света.** Лазерно устройство за определяне скорости света. Христовов Димо. "Физика" (НРБ), **1987**, 12, № 6, 16-17. [РЖ 1988 7 А79].

На производстве и в исследовательских лабораториях находят применение методы определения концентрации вещества по значению показателя преломления света. Показатель преломления может быть найден, если известна скорость света в веществе. При изучении темы "Дифракция света" предлагается использовать лазерную установку, состоящую из ванны, изготовленной из оргстекла и имеющей трапецеидальную форму, дифракционной решетки и лазера. Дифракционная решетка укрепляется на малой торцевой стороне ванны, лазер располагают перпендикулярно плоскости дифракционной решетки. Дифракционная картина наблюдается на Большое спасибо, й торцевой стороне ванны. Измерение расстояний между нулевым и первым максимумами в вакууме (воздухе) и в жидкости позволяет вычислить скорость света в жидкости.

**Измерение скорости света с помощью волоконной оптики: лабораторный эксперимент.** Measuring the speed of light with a fiber optic kit: An undergraduate experiment. Gulmez E. *Amer. J. Phys.* **1997**. 65. № 7. 614-618. [РЖ 1998 6 А144].

**Измерение скорости света при помощи квантового топографического дальномера.** Выборнов Ф.И., Чандаева С.А. *пробл. учеб. физ. эксперим.* **2002**. № 15. 46-47, 91. [РЖ 02.11-18А. 154].

Предложены техническое описание установки и методика проведения учебного эксперимента по определению скорости света посредством выпускаемого промышленностью квантового топографического дальномера КТД-1. Дальномер представляет собой электронно-оптический прибор, работающий в инфракрасной области спектра ( $\lambda=1,06$  мкм). В качестве генератора импульсов света используется лазер на алюминиево-иттриевом гранате с неодимом. Импульсная

мощность лазера составляет 10 МВт. Эксперимент может проводиться либо как лабораторная работа, либо как лекционная демонстрация.

**Измерение скорости света.** Новые задачи по оптике. Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М. 2003. Задача 2. С. 27-47.

Излучение полупроводникового лазера, модулированное с частотой 50 МГц, попадает в приемник света, удаленный от источника на некоторое расстояние. Измеряя зависимость разности между фазами принимаемого и излучаемого сигналов от расстояния между излучателем и приемником, затем рассчитывают скорость света.

**Настольный эксперимент по точному измерению скорости света.** A tabletop experiment for the direct measurement of the speed of light. Aoki K., Mitsui T. *Amer. J. Phys.* 2008. 76. № 9. 812-815. [РЖ 08.06-18А.105].

**Эксперимент по измерению скорости света в одном направлении.** A one way speed of light experiment. Greaves E. D., Rodriguez A.M., Ruiz-Camacho J. *Amer. J. Phys.* 2009. 77. № 10. 894-896. [РЖ 11.09-18А.86].

**Лабораторная установка для измерения скорости света в диэлектриках.** Курашев С.М. *Физ. образ. в вузах.* 2010. 16. № 3. 105-112,120. [РЖ 11.03-18А.110].

На базе типового лабораторного оборудования фирмы-производителя RHYWE создана экспериментальная установка для измерения скорости света в твердых, жидких и газообразных диэлектриках при комнатной температуре. Для измерения скорости света используется метод сложения на экране осциллографа двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты – метод фигур Лиссажу. Отличительной особенностью установки является использование короткого (от 0,2 до 1,5 м) опорного светового луча, что позволяет разместить все оборудование на стандартном лабораторном столе.

## Глава 10

### РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ

**Определение коэффициента поглощения рентгеновских лучей твердыми телами.** Физ. практ. Т. 2. Молек. и тепл. явл. Эл-во и магн-м. Оптика и строение атома. К. П. Яковлев. М.-Л. 1949. Работа 74. С. 376-378.

**Рентгеновское оборудование для лаборатории атомной физики.** Хилтон, Клейтон (X-ray equipment for the atomic physics laboratory. Hilton Wallace A., Clayton Glen T.), *Amer. J. Phys.*, 1956, 24, № 5, 362-363. [РЖ 56 № 12 33628].

Указывается, что в учебных лабораториях успешно используется обычная медицинская рентгеновская аппаратура. Кратко описываются необходимые схемные изменения стандартной аппаратуры, при помощи которой можно производить эксперименты по фотографированию, определению коэффициента поглощения и показ явления дифракции.

**Опыты по физике рентгеновских лучей с использованием спектрометра рентгеновских лучей.** Muldower Leonard. *Experiments in X-ray physics using a commercial X-ray spectrometer.* "Amer. J. Phys.", 1960, 28. № 9, 811-813. [РЖ 1961 9А56].

Описывается устройство спектрометра рентгеновских лучей, работающего на принципе спектрального анализа флуоресцентного излучения образцов, при помощи которого можно исследовать основные формы непрерывного спектра при рассеивании рентгеновских лучей от элементов с низким атомным номером, наблюдать линии поглощения, определить постоянную Планка, измерить коэффициент поглощения рентгеновских лучей. Приведено краткое описание опытов.

**Дифракция рентгеновских лучей на монокристалле.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 137. С. 901-911. **1968.** Задача 163. С. 739-750.

Экспериментальная установка собрана на базе рентгеновского аппарата типа УРС-70. В ходе работы первичный пучок рентгеновских лучей проходит через кристалл и попадает на фотографическую пленку, где образуется т. н. лауэграмма. Лауэграмма отображает симметрию кристалла в том направлении, вдоль которого направлен первичный пучок рентгеновских лучей. В данной задаче применяется камера РКСО, снабженная гониометрической головкой. Объектом исследования является кристалл каменной соли.

**Дифракция рентгеновских лучей в поликристаллах.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 138. С. 911-917. **1968.** Задача 164. С. 750-755.

В данной работе изучается поликристаллический образец из кристаллов кубической системы. По полученной рентгенограмме (дебаеграмме) рассчитывается размер элементарной ячейки, определяются индексы плоскостей, дающих отражения, и вычисляется число атомов, приходящихся на элементарную ячейку.

**Измерение скорости света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Часть четвертая. Оптика. **1962.** Задача 139. С. 917-920. **1968.** Задача 165. С. 755-766.

Измерение скорости света производится фазометрическим методом. Применяется специальный источник света, интенсивность которого изменяется по гармоническому закону с частотой  $\nu_1$ . Таким образом создается *волна интенсивности света*, которая направляется к зеркалу, удаленному на расстояние  $L$ , и, отражаясь, возвращается к поставленному рядом с источником приемнику света (фотоумножителю). При этом разность фаз  $\Delta\varphi$  между колебаниями прямой и отраженной волн, легко измеряется. При этом выполняется соотношение  $\Delta\varphi = 2\pi\nu_1 L/c$ , где  $c$  – групповая скорость света в воздухе, вычисляемая из этой формулы.

**Рентгеноспектральный анализ.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 68. С. 402-409.

**Определение постоянной Планка по коротковолновой границе рентгеновского излучения.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. **1964.** Работа 69. С. 409-417. **1973.** Работа 71. С. 424-431.

**Лабораторная работа по дифракции рентгеновских лучей.** Hayn Carl. A student x-ray diffraction experiment. "Amer. J. Phys.", **1973**, 41, № 8, 968-971. [РЖ 1974 1 А79].

Описан эксперимент по дифракции гетерогенных рентгеновских лучей от вольфрамового электрода на кристалле NaCl, поверхность которого срезана под

малым углом к плоскости расщепления. Для наблюдения дифракции используется спектрометр брэгговского типа. Дифрагированные лучи регистрируются гейгер-мюллеровским счетчиком, затем сигнал усиливается измерителем скорости счета и поступает на самописец. Для каждой ориентации кристалла определяются положения дифракционных максимумов и строятся зависимости угла дифракции от угла падения лучей на поверхность кристалла. Полученные прямые позволяют определить углы между брэгговскими плоскостями и поверхностью кристалла, а также между самими брэгговскими плоскостями. Автор считает этот эксперимент полезным с педагогической точки зрения, как сочетающий концепции Лауэ, закон Брэгга и метод Дебая-Шерера.

**Дифракция рентгеновских лучей.** Рук. к лаб. занятиям по физ. Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1973. Работа 70. С. 414-424.

**Излучение и поглощение рентгеновских лучей. Упражнение по программе современного общего курса физики.** Kiszenick Walter, Wainfan Nathan. X-ray emission and absorption exercise for introductory modern physics courses. "Amer. J. Phys.", 1974, 42, № 2, 161-166. [РЖ 1974 7 А92].

Описан учебный эксперимент по изучению законов излучения и поглощения рентгеновских лучей. Эксперимент выполняется студентами в два этапа: на первом этапе они подробно знакомятся в специализированной рентгеновской лаборатории с принципом работы и устройством действующего рентгеновского спектрометра-дифрактометра во время выполнения на нем экспериментов по изучению излучения и поглощения рентгеновских лучей. Второй этап включает обработку результатов экспериментов под наблюдением преподавателя, выполненных в процессе изучения рентгеновского дифрактометра. Приведены типичные характеристические кривые излучения для различных напряжений и характеристические кривые поглощения для различных материалов, график Мозли.

**Проверка закона поглощения рентгеновских лучей.** Wolny Jerzy. Sprawdzenie prawa absorpcji promieni Roentgena. "Fiz. Szk.", 1974, 20, № 6, 42-44. [РЖ 1975 5 А100].

Описана методика проведения практической работы по исследованию зависимости поглощения рентгеновских лучей от толщины поглощающего слоя. На касету с пленкой кладут стопку алюминиевых пластинок толщиной 1 мм, причем каждая следующая пластинка немного короче предыдущей. При облучении стопки рентгеновскими лучами часть потока попадает на пленку непосредственно, часть проходит одну пластинку, следующая часть потока проходит две пластинки, следующая – три пластинки и т. д. После проявления пленки можно определить закон ослабления интенсивности потока рентгеновских лучей в зависимости от толщины слоя. Работа предлагается для факультативных или кружковых занятий.

**Дифракция рентгеновских лучей.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., 1983. Работа 5.20. С. 517-527.

Моделирование процесса дифракции рентгеновских лучей в оптическом диапазоне. Н.Г. Власов, С.М. Курбатов, А. . Лукин. ФОВ. Т. 8, № 4, с. 56.

**Некоторые эксперименты по рентгеновской флуоресценции для студенческой лаборатории.** Some experiments on x-ray fluorescence for the student labora-

tory. Dasgupta Mahananda, Sharma B. K., Ahuja B. L., Mahammad Farid M. Amer. J. Phys. **1988**. 56, № 3. 245-251. [РЖ 1989 2 A171].

Описан ряд экспериментов по рентгеновской флуоресценции, поставленных в студенческой лаборатории – физическом практикуме. Экспериментальная установка включала источник излучения (радиоактивный изотоп  $^{241}\text{Am}$  с энергией  $\gamma$ -квантов 59,54 кэВ), коллимирующее устройство, планарный германиевый детектор и электронную часть. Особое внимание уделяется одной из проблем, связанных с использованием установки – радиационной безопасности. При этом следует учитывать и выход нейтронов по реакции  $(\alpha, n)$ , который в данном случае, к счастью, очень незначителен. При использовании радиоизотопных источников с более высокой энергией  $\gamma$ -излучения радиационная защита должна быть существенно усилена. Подробно описываются методические особенности и результаты некоторых экспериментов, в частности, на Ag и AgBr, в которых продемонстрированы зависимость интенсивности флуоресценции от толщины образца и получение коэффициента абсорбции для излучения  $\text{AgK}\alpha$ .

**Двухкоординатный рентгеновский детектор мягкого рентгеновского излучения: Лабораторная работа. Учебно-методическое пособие.** Заневский Ю.В., Смыков Л.П., Черемухина Г.А., Черненко С.П. *Учеб.-метод. пособия. Учеб.-науч. центра ОИЯИ*. **2002**. № 15. 3-28. [РЖ 03.06-18A.167].

Представлено руководство по использованию экспериментальной установки, базирующейся на двухкоординатной многопроволочной камере со считыванием данных с помощью линий задержки. Детектор предназначен для регистрации, представления и обработки двумерного “изображения” мягкого рентгеновского излучения. С помощью данной установки студенты и молодые ученые могут ознакомиться с методикой применения многопроволочных газовых детекторов в медико-биологических исследованиях. Подобные установки неоднократно представлялись ОИЯИ на школах ICFA (Международный комитет по будущим ускорителям), а также установлены в КТН (Стокгольм) и IEP (Дебрецен).

**Рентгеновский метод определения периода кристаллической решетки.** Смыслов Е.Ф., Смыслова Е.П. *Учеб. физ.* **2007**. № 1. 129-130. [РЖ 08.06-18A.149].

Предложен упрощенный метод определения периода решетки, основанный на использовании излучений различных длин волн (например,  $K_\alpha$  и  $K_\beta$ ) рентгеновской трубки. Проведена оценка точности получаемых результатов.

**Лабораторные работы по изучению и применению рентгеновского излучения в курсе общей физики.** Н.П. Калашников, М.В. Andreas Grunemaier. *ФОВ*. **2010**. Т. 16, № 2, с. 60.

В статье рассматриваются вопросы использования в практикуме курса общей физики лабораторных работ по получению, изучению и применению электромагнитного излучения рентгеновского диапазона. Авторы полагают, что обсуждаемый перечень работ может стать неотъемлемой частью лабораторного практикума курса общей физики в ЦН ВПО и СПО. Практическое освоение данного раздела позволяет не только лучше понять физическую картину мира и строение вещества, но и получить значительный объем информации, необходимой в дальнейшей работе широкому кругу специалистов.

## Глава 11

### ГОЛОГРАФИЯ

**Учебный эксперимент по оптической голографии.** A student experiment on optical holography. “Вули, Wuli”, 1975, 4, № 4, 255-256, 203. [РЖ 1976 5 A140].

**Эксперименты по голографии с получением оптического изображения.** Holography experiments on optical imaging. Bonczak B., Dabrowski J. “Phys. Educ.”, 1979, 14, 3 5, 298-301. [РЖ 1980 1 A96].

Рассматривается способ записи и восстановления голографического изображения. Описывается метод получения голограмм Френеля, когда запись голографической информации о точечном объекте осуществляется благодаря интерференции плоской опорной волны, посылаемой лазерным источником, и сферической волны от точечного объекта. Рассматриваются способы преобразования действительного изображения в мнимое и наоборот при помощи линз, а также способы увеличения голографического изображения (перемещение голограммы вдоль расходящегося опорного лазерного луча и изменение формы фронта падающей волны). Получение голографического изображения сравнивается с изображением, получаемым при помощи обычной линзы. Отдельно рассмотрены вопросы волновой оптики.

**Лабораторная работа по визуализации воздушных потоков с помощью голографической интерферометрии.** Laboratory studies of air flow visualization using holographic interferometry. Peiponen K.E., Hamalainen R.M.K., Asakura T. Amer. J. Phys. 1991. 59, № 6. С. 541-544. [РЖ 1992 7 A81].

Описана лабораторная установка для получения голограмм воздушного потока и методика количественного анализа голографических интерферограмм, основанная на зависимости показателя преломления воздуха от давления и температуры. Продемонстрированы возможности визуализации процесса теплообмена между потоком воздуха и стенками сосуда, наблюдения турбулентности потока, а также деформации прозрачных тел.

**Определение модуля Юнга голографическим методом с усреднением по времени.** Time-average holographic method on the determination of Young's modulus. Hwu Y, P, Amer. J. Phys. 1991. 59, № 3. С. 287. [РЖ 1992 9 A103].

Голографический метод с усреднением по времени используется для определения резонансных частот поперечных упругих колебаний в бруске и, самым, модуля Юнга для исследуемого материала. Описано применение метода в случае брусков малой длины. Источником монохроматического света служит гелий-неоновый лазер мощностью 5 мВт. Резонансная частота основной моды соответствует максимальному числу интерференционных полос на голограмме, экспозиция которой составляет ~10 с.

**Методы современной голографии в физическом практикуме.** Ю.Д. Лантух, С.Н. Пашкевич. ФОВ. 1998. Т. 4, № 3, с. 108.

**Голография в курсе общей физики.** Погожих С.А. *Преподавание физ. в высш. шк.* **2001.** № 21. 90-92. [РЖ 03.01-18А.175].

На кафедре общей физики Говосибирского государственного педагогического университета читается курс: “Голография и ее применение”. В традиционном курсе оптики студенты выполняют лабораторную работу по получению и наблюдению голограмм. В стандартном лабораторном практикуме студенты получают голограмму по методу Денисюка (во встречных пучках). Программа спецкурса включает следующие основные разделы: история вопроса, математический анализ голограммы; различные типы классификации голограмм; характеристики и свойства голограмм; техника голографии; регистрирующие среды; химическая обработка; голографическая интерферометрия. В спецкурсе упор делается на проведение “элементарных” демонстрационных экспериментов, иллюстрирующих то или иное свойство какого-либо вида голограммы. Важно, чтобы изученный теоретически материал подкреплялся экспериментом на одном и том же занятии. В процессе практической работы были отобраны следующие “элементарные” эксперименты: получение голограммы светящейся точки; голограммы прозрачных и диффузно отражающих объектов в сходящихся и встречных пучках; запись на одну фотопластинку нескольких голограмм; восстановление изображения с целой голограммы и с ее частей; получение интерферограммы колбы лампы накаливания; получение интерферограммы мембраны работающего (звучащего) телефона. Обсуждаются голограммы, встречающиеся в реальной жизни.

**Радужные голограммы.** В.П. Рябухо. *ФОВ.* **2003.** Т. 9, № 4, с. 88.

**Радужные голограммы.** В.П. Рябухо. *ФОВ.* **2006.** Т. 12, № 2, с. 29.

В современном курсе волновой оптики физические принципы голографии рассматриваются, как правило, на основе схем записи голограмм в попутных (схема Лейта и Упатниекса) и во встречных (схем Денисюка) объектном и опорном пучках света. В статье обсуждаются методические вопросы записи и восстановления изображений с использованием метода и схем радужной голографии, имеющей в настоящее время наиболее широкое практическое распространение, благодаря возможности восстановления изображений в белом свете обычных источников и технологически простому способу тиражирования таких голограмм.

**Голограмма Фурье в курсе общей физики вуза.** Вейсман В.Л., Хвоинский Н.В. *Физика в системе совр. образ. (ФССО-07). Материалы 9 Межд. конф., С.-Пет., 4-8 июня 2007.* Т. 1. СПб. **2007.** 52-53. [РЖ 08.06-18А.146].

В учебной лаборатории кафедры физики Псковского госпедуниверситета создана установка для получения Фурье-голограмм. Для данного типа голограмм решающая способность фотоэмульсии не имеет значения, а способы получения в экспериментальном плане (при создании лабораторных работ и демонстраций), в отличие от получения голограмм Френеля не предъявляют повышенных требований к элементам оптической системы. Представлена схема установки, дано ее подробное описание. Обычно голограмму записывают в лабораторных условиях, а на лекциях демонстрируют процесс восстановления волнового фронта и получения изображения. Описан демонстрационный эксперимент, показывающий, что каждая, даже малая часть голограммы, несет полную информацию об объекте.

**Математическое моделирование голографических полей.** Анисимрва С.А., Давыденко М.В., Милованова Л.В. *Мат. 7 Межд. конф. “Физ. образ.: пробл. и персп.*

разв.”, Москва, 11-14 марта 2008. Ч. 2. Профессионально- методич. подг. учителя физики. Препоуд. физ. и астрон. в высш шк. М., 2008. 75. [РЖ 09.02-18А.111].

Разработан ряд лабораторных работ, объединяющих в себе теоретические и физические основы современной оптики для последующего использования этих знаний при изучении других дисциплин и при разработке оптических систем и приборов специального назначения. Целью лабораторной работы “Схемы получения голограмм различных типов волн” является построение пространственной и интерференционной структуры при записи голограммы плоскими и сферическими волнами.

## Глава 12

### РАЗНОЕ

**Комбинационное рассеяние света.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 89. С. 567-571.

Рассеяние света, при котором частота рассеянного света меняется, т. е. появляются такие частоты, которых не было в падающем свете, называется *комбинационным рассеянием света*. Оно было открыто в 1928 г. Г.С. Ландсбергом и Л.И. Мандельштамом в МГУ. Для возбуждения спектров комбинационного рассеяния применяется ртутная лампа. Основной прибор экспериментальной установки – спектрограф. При фотографировании спектра исследуемого вещества время экспозиции лежит в пределах от 30 до 60 минут. Для ртутного спектра экспозиция длится 10-15 секунд.

**Определение коэффициента диффузии оптическим методом.** Физ. практ-м. Под ред. проф. В.И. Ивероновой. 1951, 1953, 1955. Задача 75. С. 476-483. 1962. Задача 135. С. 890-897. 1968. Задача 162. С. 733-767.

Если в плоскопараллельный сосуд налита жидкость 1 с показателем преломления  $n_1$ , а над ней более легкая жидкость 2 с показателем преломления  $n_2$ , то граница между жидкостями, резкая в начальный момент, с течением времени будет размываться вследствие диффузии. В соответствии с этим будет изменяться и закон, по которому показатель преломления  $n$  меняется по высоте  $x$  от значения  $n_1$  внизу до значения  $n_2$  наверху. Вполне очевидно, что слой вещества с переменным показателем преломления будет различно отклонять нормально падающие на него параллельные лучи. Наибольшее отклонение испытывают лучи, проходящие в том месте, где градиент показателя преломления  $dn/dx$  максимален. Наоборот, в тех местах (наверху и внизу), где  $dn/dx \cong 0$ , лучи пройдут практически без отклонения. По мере хода диффузии будет изменяться максимальный градиент показателя преломления, а следовательно, и угол отклонения луча  $\gamma$ . Измерение  $\gamma$  для известных моментов времени позволяет определить коэффициент диффузии.

**Лабораторный эксперимент с электронным микроскопом в курсе физической оптики.** Руд (Intermediate laboratory experiment in Physical optics using an electron microscope. Rood Joseph L.), Amer. J. Phys., 1956, 24, № 5, 388-389. [РЖ 56 № 12 33631].

**Фазовый сдвиг Гуи на микроволнах.** Карпентер (Gouy Phase Advance with microwaves. Carpenter Clinton Ray), Amer. J. Phys., **1959**, 27, 3 2, 98-100. [РЖ 1960 № 3 4953].

Описана установка, позволяющая наблюдать фазовый сдвиг Гуи при прохождении волн через фокус или фокальную линию. Устройство состоит из излучающей параболической антенны ( $\lambda=10$  см) и приемной антенны – параболоида или параболического цилиндра. В случае параболоида происходит изменение фазы на  $180^\circ$  при прохождении волны через фокус; при использовании цилиндрической антенны волна претерпевает смещение по фазе на  $90^\circ$ . Параболоиды установки имеют диаметр порядка 1 м и фокусное расстояние порядка 30 см; наилучшие условия для наблюдения имеют место при удалении зеркал на расстояние порядка 10 м. Вся установка помещается в туннель из поглощающего материала. Приемный детектор, смонтированный на полистироловой трубке, помещен на суппорте Вуда и может перемещаться вдоль оси системы. Сигнал с детектора после усиления полагается на самописец. Наблюдается увеличение расстояний между соседними минимумами стоячих волн в окрестности фокуса в пределах двух длин волн, допускающее численное определение сдвигов. Наблюдается также амплитудная неоднородность стоячих волн в прифокальной области, характерная для явления Гуи.

**Определение коэффициента диффузии оптическим методом.** Физ. практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред проф. М.А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. **1960**. Работа 46. С. 181-188.

**Определение коэффициента взаимной диффузии жидкостей оптическим методом.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. **1961**. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 1–36. С. 209.

**Количественный анализ бинарных смесей с помощью рефрактометра.** Рук-во к лаб. работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества. А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. **1961**. Под ред А.Л. Рвачева. Задача № 3–08. С. 48.

**Изучение метода фазового контраста.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. **1962**. Работа 13. С. 84-91. **1967**. Работа 9. С. 57-63.

**Изучение явления искусственной оптической анизотропии при механических деформациях.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962**. Работа 20. С. 130-136.

**Определение характеристик фотоэмульсии.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962**. Работа 2. С. 11-18.

**Определение разрешающей способности фотоэмульсии.** Физ. практ. Рук. к лаб. занятиям по физ. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., **1962**. Работа 3. С. 19-23.

**Резонансный метод обнаружения давления света с помощью крутильного маятника в воздухе.** Эксперимент для начального практикума. Pollock Robert E. Resonant detection of light pressure by a torsion pendulum in air – an experiment for underclass laboratories. “Amer. J. Phys.”, **1963**, 31, № 12, 901-904. [РЖ 1964 12A88].

Описан метод, при помощи которого можно, пользуясь простой установкой, обнаружить давление светового пучка, выделив его из эффектов неравномерного нагревания (радиометрического эффекта). Установка состояла из зеркальца, из

тонкой стеклянной пластинки (предметное стеклышко) с напыленным слоем алюминия, приклеенной к металлической, стеклянной, или волосяной нити так, что получается крутильный маятник. Моменты инерции применявшихся маятников находились в пределах от  $12 \cdot 10^{-7}$  до  $36 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , периоды колебаний – от 8 до 54 сек. Маятники помещались в большие закрытые стеклянные сосуды при атмосферном давлении. На зеркальцах фокусировался свет от 500-ваттного источника, который прерывался вручную через каждые полпериода колебаний маятника. Маятник приходил в колебание, амплитуда которого резко возрастала при совпадении частоты прерывов с собственной частотой системы. Мощность света измерялась с помощью зачерненного воскового шарика, в котором находились бульба ртутного термометра и угольное сопротивление. При освещении шарика устанавливалась равновесная температура. Такой же температуры добивались, пропуская электрический ток через угольное сопротивление. Мощность на зеркальце составляла  $\sim 1 \text{ Вт}$ , что было вполне достаточным для успешного эксперимента. Радиометрический эффект сохранялся малым благодаря применению зеркалец с высокой отражательной способностью и вследствие прерывистости освещения. Остаточный, сравнимый со световым давлением эффект легко выделялся вследствие его запаздывания. Эксперимент представляет большой педагогический интерес, т. к. на ранней стадии обучения знакомит студентов с резонансным методом обнаружения без применения электронной аппаратуры, а также приучает студентов экспериментировать на пределе чувствительности аппаратуры при наличии помех. Студенты осваиваются также с понятием добротности колебательного контура. В большинстве случаев студентам удается выделить эффект давления света, как показывают приведенные результаты шести успешных опытов, осуществленных студентами на самостоятельно собранных установках.

**Определение характеристик фотоэмульсии.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И. Е. Иродова. 1967. Работа 2. С. 11-18.

**Изучение разрешающей способности фотоэмульсии.** Физический практикум. Часть IV. Под ред. доц. И. Е. Иродова. 1967. Работа 3. С. 19-23.

**Изучение метода фотоупругости.** Физ. практ-м. Часть IV. Оптика. И.Е. Иродов. 1967. Работа 15. С. 100-104.

**Изучение метода фазового контраста.** Физический практикум. Часть IV. Оптика. МИФИ. Москва, 1967. Работа 9. С. 57-63.

**Изучение метода фотоупругости.** Физический практикум. Часть IV. Оптика. МИФИ. Москва, 1967. Работа 15. С. 100-104.

**Опыты по фотометрии.** Stiegler L. Schulversuche zur Lichtmessung. "Z. Naturlehre und Naturkunde", 1967, 15, № 2, 33-43. [РЖ 1967 11 А120].

Отмечается, что вопросы фотометрии излагаются обычно словесно, а демонстрационные опыты и соответствующая методика разработаны слабо. Приводится описание простого самодельного флюксметра на фотодиоде, источником света в опытах служит лампочка от карманного фонарика с батарейкой или обычная свечка. Прибор позволяет осуществить 11 опытов и демонстраций: сравнительное измерение освещенности внутри помещения, увеличение освещенности по закону  $1/r^2$  и т. д. Подробно описывается методика проведения опытов. Дается определение величины освещенности, единиц ее измерения, укротко описывается конструкция нормального эталонного источника света.

**Определение концентрации растворов колориметром.** Физический практикум. Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д.И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. **1969**. С. 94-96.

Колориметр применяется для определения концентрации окрашенных растворов. В нем используется то свойство поглощающих веществ, что при равенстве яркостей двух пучков света, прошедших через два раствора с различными концентрациями, они обратно пропорциональны толщинам этих слоев. Если концентрация одного раствора известна, то определив на опыте толщины слоев, при которых яркости пучков света одинаковы, можем определить концентрацию другого раствора.

**Практические работы по изучению фотоупругости.** Baulaigue P., Vallier J. Travaux pratiques de photoelasticimetrie. "Bull. Union phys.", **1971**, 66, № 539, 175-184. [РЖ 1972 3 А57].

Отмечается, что наблюдение явления фотоупругости может дать ценную информацию для разработки принципов теории упругости, изучения упругих констант и напряжений в различных светопроводящих материалах (бакелит, плексиглас и т. п.), исследования процессов интерференции и поляризации света и т. п. Описана соответствующая аппаратура и схема проведения серии опытов по исследованию явлений двойного лучепреломления, поляризации, прохождения монохроматического и белого света в материалах с активным проявлением явления фотоупругости.

**Определение увеличения и оптической длины микроскопа.** Физ. практ-м. Оптика. Часть 1. Саранск. **1971**. С. 17-21.

**Определение длительности свечения импульсных ламп.** Илларионова В.А., Тагиров Р.Б. "Сб. науч.-метод. статей по физ. М-во высш. и средн. спец. образования СССР", **1972**, вып. 2, 58-59. [РЖ 1972 8 А71].

Описана лабораторная работа по изучению импульсных источников света, поставленная на кафедре общей физики Казанского государственного университета. Работа предназначена для ознакомления с устройством, принципом работы и характеристиками импульсных ламп, а также с методом измерения длительности быстропротекающих процессов при помощи осциллографа.

**Давление света (новая аппаратура для измерения давления света).** Przeniczny Zygmunt. Cisnienie swiatla (nowa aparatura do pomiarow cisnienie swiatla), "Fiz. Szk.", **1972**, 18, № 5, 9-13. [РЖ 1973 4 А123].

Изложен метод измерения давления света, испускаемого импульсными и постоянными источниками, с помощью воздушного конденсатора и электронной аппаратуры. Описано устройство конденсатора, приведена электрическая схема аппаратуры. Высокая чувствительность аппаратуры позволяет регистрировать давление световых потоков малой интенсивности, подтвердить закон сохранения импульса для света. Статья предназначена для учителей физики.

**Электрооптический затвор.** Prim M.E., Spanel L.E. Electro-optic shutter. "Phys. Teacher", **1973**, 11, № 1, 51-52. [РЖ 1973 5А74].

Описано устройство недорогого электрооптического затвора для учебных лабораторий. Действие затвора основано на явлении поглощения некоторыми материалами светового потока под действием приложенного к ним электрического напряжения. Затвор представляет собой сложный сэндвич, состоящий из двух стеклянных

ных пластин с прозрачными проводящими поверхностями из алюминия толщиной 500–1000 Å, разделенными тефлоновыми прокладками. Пространство между прокладками заполняется жидким кристаллом. Прикладываемое напряжение изменяется от 3 до 30 В. Величина ослабления светового потока лучше чем 20:1. Время восстановления затвора 10 мксек. Отмечается, что недостатком описываемого затвора является его недолговечность: затвор работает в течение нескольких тысяч циклов.

**Комбинационное рассеяние света.** Скворцов В.А. Физический практикум. Учебное пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975. С. 59-79.

**Лабораторная работа по изучению закона обратной пропорциональности квадрату расстояния.** Kruglak Haym. Laboratory exercise on the inverse square law. “Amer. J. Phys.”, 1975, 43, № 5, 449–451. [РЖ 1975 10 А89].

Предлагается эксперимент, позволяющий студентам с помощью простых средств самим “открыть” закон обратной пропорциональности квадрату расстояния. Исследуется зависимость освещенности объекта от расстояния до источника света. Источником света служит мощная лампа с линейными размерами нити ~1 см. В качестве приемника света используется фотоэлемент. Источник света и фотоэлемент устанавливаются на оптической скамье. Студенты определяют зависимость тока фотоэлемента от расстояния до источника и строят графики данной зависимости от расстояния, обратного расстояния, обратного квадрата расстояния и сами делают вывод, какой закон имеет место на самом деле. Оцениваются ошибки измерений, среди которых доминирует ошибка в определении фототока. Дополнительно в опыте определяют интенсивность источника света и изменение освещенности с расстоянием от диффузного источника.

**Светодиод как точечный источник света.** Wunderlich F. J., Shaw D.T., Hones M.J. A light-emitting diode as a point light source. “Amer. J. Phys.”, 1977, 45, № 1, 106. [РЖ 1977 8 А151].

Описано использование светодиода в качестве точечного источника света в лабораторном практикуме по физике. Электрическая схема содержит светодиод, кремниевый фотоэлемент, однокаскадный операционный усилитель и вольтметр. При измерениях не требуется дополнительного экранирования светового потока, а интенсивность излучения настолько мала, что одновременное проведение нескольких экспериментов мало влияет на величину фонового излучения.

**Лабораторные опыты с кремниевыми солнечными элементами.** Kammer D.W., Ludington M. A. Laboratory experiments with silicon solar cells. “Amer. J. Phys.”, 1977, 45, № 7, 602-605. [РЖ 1977 12 А104].

Рассмотрено использование кремниевых солнечных элементов в качестве объекта исследования в лабораторных практикумах вузов. Представлены основы теории этих элементов, включая эквивалентные схемы и характеристические уравнения. Подробно описаны основные опыты по определению выходной мощности и к. п. д. элементов, предназначенные для студентов нефизических специализации, а также эксперименты для более подробного изучения параметров элементов. Представлены экспериментальные результаты и их согласование с теорией для типичного элемента.

**Лабораторный фотометр и искусственная звезда.** Du Puy David L. A classroom photometer and artificial star. "J. Roy. Astron. Soc. Can.", 1977, 71, 3 2, 199-202. [РЖ 1978 1A61].

Описан простой модельный эксперимент, позволяющий проводить астрономические наблюдения и измерения в лабораторных условиях. Экспериментальное оборудование состоит из самодельного лабораторного фотометра с встроенным телескопом, изготовленного в двух модификациях (один – для выполнения измерений, второй – для проведения демонстраций) и электронной искусственной звезды, режим свечения которой управляется специальным устройством. Программа управления свечением звезды ориентирована на специальную (известную) кривую свечения реальной звезды и допускает моделирование процедуры затмения и пульсирования звезды, изменение периода ее свечения от 1 сек (для демонстрации) до 30 мин (для проведения измерений). Кратко описаны несколько экспериментов, которые можно выполнить с использованием данного оборудования.

**Использование радиометра Крукса для количественных измерений.** Coisson R., Rancan E. Quantitative use of a Crookes radiometer. "Phys. Educ.", 1979, 14, № 1, 58-59. [РЭ 1979 7 A95].

Описан лабораторный эксперимент, в котором фототермомеханический эффект изучается количественно с помощью радиометра Крукса. Целью работы является калибровка радиометра, т. е. установление зависимости между угловой скоростью вращения лопастей и интенсивностью светового потока. В качестве источника света используется электрическая лампочка мощностью 100 Вт. Время измеряется секундомером. Интенсивность света регулируется изменением расстояния от источника до радиометра. Приведены некоторые экспериментальные результаты.

**Современный лабораторный эксперимент по физике электрохромизма.** The physics of electrochromism. An advanced laboratory experiment. Peterson C.W., Parlett J., Crandall R.S. "Amer. J. Phys.", 1979, 47, № 9, 772-775. [РЖ 1980 5 A126].

Электрохромизм, т. е. обратимое изменение окраски вещества при протекании через него тока или при приложении электрического поля, является в настоящее время объектом всестороннего исследования, а ячейки, использующие этот эффект, находят широкое применение как элементы дисплейных систем. Простейшая ячейка, описываемая авторами, представляет собой нанесенную на стеклянную подложку пленку  $WO_3$ , покрытую слоем разбавленной серной кислоты (играющей роль электролитического контакта), в которую погружен индиевый электрод. При инжекции электронов из индия через контакт In- $WO_3$  начинается изменение окраски пленки, при этом радиус  $R$  пятна увеличивается со временем так, что зависимость  $R=f(t^{1/2})$  линейна. На основе этой зависимости может быть экспериментально определен коэффициент диффузии электронов. Предложенная конструкция ячейки позволяет найти зависимость оптической плотности среды от времени (при фиксированной длине волны излучения), зависимость оптической плотности от длины волны, а также электрооптические характеристики ячейки. Даются рекомендации по проведению более сложных опытов, по изучению свойств ячейки при различных воздействиях. Эксперименты рассчитаны на студентов вузов.

**Явление фотоупругости в преподавании физики.** Zjawisko elastooptyczne w nauczaniu. Wojnar Janusz, Wojnar Ryszard, "Fiz. szk.", 1979, 25, 3 6, 253-258. [РЖ 1980 5 A133].

Фотоупругость, т. е. искусственная анизотропия, возникающая в оптических материалах в результате действия внешней механической силы, является одним из наиболее наглядных явлений, иллюстрирующих взаимосвязь механики и оптики. Этому явлению, по мнению авторов, должно уделяться большое внимание не только в курсе общей физики для вузов, но и в программе физики для средних школ. В качестве простого прибора для демонстрации фотоупругости предлагается полярископ – рамка с укрепленными в ней поляризатором и анализатором, в промежуток между которыми вводится образец. При помощи специального устройства образец подвергается сжатию или растяжению, что приводит к возникновению интерференционного поля. Дается математическое описание явления.

**Оптическая бистабильность. Эксперимент для старшекурсников.** Optical bistability. An undergraduate experiment. Greene W.P., Gibbs H.M., Passner A., McCall S.L., Ven Katesan T. N. C. "Opt, News", 1980, 6, № 2, 16-19. [РЖ 1980 11 A99].

Оптически бистабильной называют систему, которая в зависимости от интенсивности падающего светового излучения находится в одном из двух оптически устойчивых состояний, например, с малым или с большим светопропусканием. Описана оптически юистабильная система на основе прозрачной электрооптической керамики, которая применяется в саморегулирующихся светозащитных очках. Лазерное излучение проходит через поляризатор, электрооптическую керамику, анализатори попадает в фототранзистор. Сигнал с фототранзистора через усилитель подается на электроды керамического образца. При увеличении интенсивности падающего излучения система скачком переходит из состояния с 0,032% в состояние с 17% светопропусканием. Этот переход визуализируется на экране осциллографа.

**Лабораторный практикум по детекторам оптического излучения.** Optical radiation detector laboratory. Dereniak Eustace L., Palmer James M., Roehrig Hans. "IEEE Trans. Educ.", 1980, 23, № 2, 66-69. [РЖ 1980 11 A103].

Описано содержание односеместрового курса лабораторных работ по детектированию оптического излучения в Оптическом Центре университета Аризоны. Курс предназначен для развития у студентов навыков по выбору подходящего типа детектора, разработке оптимальных пар детектор-предусилитель и определению параметров оптических детекторов. Описаны: блок-схема установки для определения характеристик оптических детекторов, конструкция стандартной коробки, в которой студенты собирают электрические схемы, набор электрических деталей для сбора схем. Представлен перечень лабораторных работ и методика их проведения.

**Изучение тока смещения Максвелла и закона электромагнитной индукции Фарадея при выполнении студентами лабораторных работ по прикладной оптике.** Арипов А.А. "Вопр. физ. тверд. тела и теория относительности", Алма-Ата, 1980, 97-107. [РЖ 1981 3 A121].

**Использование метода Дебая-Шеррера для исследования кристаллических структур.** Zur Auswertung von Debye-Scherrer-Aufnahmen in Hinblick auf die Kristallstruktur. Buchholz Ingo. "Prax. Naturwiss, Phys.", 1981, 30, №3, 68-76. [РЖ 1981 9 A139].

Рассмотрена возможность использования в лабораторном практикуме опытов по исследованию кристаллических структур по методу Дебая-Шеррера. Кратко изложены математические основы кристаллографии теория дифракции рентгеновских и электронных лучей. Описаны методики определения параметров кристаллической решетки по характеристикам дифракционной картины кристалла. Показано практическое применение этих методик.

**Схема проведения лабораторного исследования электрооптического эффекта Керра.** Ein Facharbeitsthema: der elektrooptische Kerreffekt. Wildner Gerhard. "Prax. Naturwiss. Phys.", **1981**, 30, № 7, 199-203. [РЖ 1981 11 A209].

Описана серия экспериментов с ячейкой Керра. В ходе экспериментов демонстрируется сущность явления Керра и проводится оценка постоянной Керра для нитробензола.

**Студенческий лабораторный эксперимент по измерению порога видимости.** Undergraduate laboratory experiment to measure the threshold of vision. White H.W., Chumbley P.E., Berney R.L., Barredo V.H. "Amer. J. Phys.", **1982**, 50, № 5, 448-450. [РЖ 1983 2 A115].

Описан двухчасовой учебный лабораторный эксперимент по измерению порога видимости человеческого глаза. Приводятся краткие сведения о строении и физиологических особенностях глаза. Порог видимости исследуется при освещении матового стекла источником света с уменьшающейся интенсивностью и определением из геометрии экспериментального устройства значения наименьшей интенсивности света, которую глаз может различить. Используются: ртутная лампа с фильтром, дающим монохроматический свет, набор абсорбционных фильтров, держат

**Исследование туннелирования на СВЧ.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.5. С. 415-421.

**Моделирование оптических приборов и определение их увеличения.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.2. С. 392-400.

**Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе.** Лаб. занятия по ф-ке. Под ред. Л.Л. Гольдина. М., **1983**. Работа 5.15. С. 486-492.

**Нелинейные оптические эффекты в поглощающих жидкостях: некоторые учебные эксперименты.** Nonlinear optical effects in absorbing fluids: some undergraduate experiments. Indebetouw G., Zukowski T.J. "Eur. J. Phys.", **1984**, 5, № 3, 129-134. [РЖ 1985 1 A192].

Рассмотрена теория термооптической связи и нелинейной диэлектрической восприимчивости, приводящих к нелинейным оптическим эффектам. В исходное уравнение для волны, распространяющейся в поглощающей среде, входит нелинейная поляризация этой среды, связанная с диэлектрической восприимчивостью. Интерференция двух плоских волн, распространяющихся в такой среде, приводит к пространственной термической модуляции показателя преломления, эта искусственно созданная регулярная неоднородность вызывает дифракцию третьей волны, посылаемой в среду отдельным маломощным источником. Предлагается в качестве нелинейной оптической среды использовать жидкость (метанол) с взвешенными в ней частицами красителя с концентрацией 6–8 частей красителя на 100 частей метанола. В первом опыте луч аргонового лазера с мощностью 50-500

*mVt* расщепляется на два когерентных луча, проходящих через кювету с метанолом под взаимным углом  $1,7 \cdot 10^{-2}$  рад. С обратной стороны кюветы посылается луч от He-Ne-лазера и измеряется интенсивность первого дифракционного максимума. Во втором опыте изучается взаимодифракция двух когерентных лучей от аргонового лазера; при этом измеряется интенсивность рассеиваемой волны. В третьем опыте исследуется эффект вырожденного четырехволнового смешения, когда на продолжении одного из когерентных лучей с обратной стороны кюветы помещается отражающее зеркало, а на пути второго когерентного луча устанавливается полупрозрачное зеркало, отражающее рассеиваемую волну на детектор.

**Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.** Осипов Ю.В.; Ленингр. электротехн. Ин-т. Л., 1985. [РЖ 1985 6 А175].

Описаны лабораторные работы с исследовательским уклоном по изучению оптико-физических явлений с использованием лазерного излучения: акусто-, электро-, магнито- термооптических эффектов. Исследуются характеристики ультразвуковых и электрооптических модуляторов света, германиевого фотоэлектромагнитного приемника лучистой энергии. Излагается применение метода матрицы Джонса для анализа состояния поляризации электромагнитного излучения.

**Микроскоп.** Физический практикум. Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. Р. 38. С. 242-253.

**Изучение тензорного характера оптической активности – работа практикума.** Имбер Л.И., Островский В. А. Изв. вузов. Физ. 1988. 31, № 7. 145-115. [РЖ 1989 1 А129].

Для демонстрации тензорного характера оптической активности предлагается использовать модельную оптически активную среду Линдмана (спирали диаметром 1 см и длиной 1 см из медной проволоки с эмалевой изоляцией, помещенные на квадратной сетке  $1 \times 1$  см на пластмассовых пластинах). Спирали помещаются на четырех пластинах соответственно под углами  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$  к плоскости пластин – таким образом моделируются различные срезы упорядоченной оптически активной структуры. Пластины помещают в обычную приемопередающую систему для 3-сантиметровых волн. Определяется угол поворота плоскости поляризации и строится графическая зависимость удельного вращения от угла между направлением распространения волны и ориентацией спиралей.

**Исследование линейного электрооптического эффекта.** Ершов С.Г., Ершова Т.П., Яковлев В.Н. ; Ред. ж. Изв. вузов. Физ. Томск, 1988. 7 с. [РЖ 1989 3 А153].

Разработана экспериментальная установка для лабораторной работы “Исследование линейного электрооптического эффекта” по общему курсу физики (III семестр обучения). Основные отличительные особенности установки: 1. Применение твердотельной, электрооптически активной среды, что резко увеличивает надежность работы установки; 2. Простая конструкция питающей и измерительной систем, собранных полностью на современных стандартных приборах; 3. Иллюстрация использования электрооптического эффекта в электрооптических системах передачи информации. Все это позволило сочетать наглядность и информативность данных, получаемых студентами, с надежностью конструкции установки и простотой ее эксплуатации.

**Эксперименты со световодами. Технические применения световодов.** Experimente mit Lichtleitfasern und technishe Anwendungen. Koppelman G,m Rehnert H. Prax. Naturwiss. Phys. **1989**. 38, № 2. 15-22. [РЖ 1989 10 А64].

Описываются постановка и проведение физических экспериментов, демонстрирующих свойства волоконных световодов и их разнообразные применения в технике. Приводятся рекомендации относительно самодельного изготовления отдельных светопроводящих волокон световодов.

**Простейший эмиссионно-электронный микроскоп в практикуме по общей физике.** Решетникова Л.В., Горбатый Н.А., Пулатова С. Изв. вузов. Физ. **1990**. 33, № 11. С. 110-111. [РЖ 1991 7 А161].

В ходе выполнения лабораторной работы, рассчитанной на 4 часа, студенты приобретают навыки в получении и измерении вакуума, знакомятся с явлением термоэлектронной эмиссии и принципом работы электронного проектора, определяют величину азимутального увеличения эмиссионного микроскопа, фотографируют (зарисовывают) получено изображение. В задание работы входит расшифровка полученного изображения: выявление следов протяжки на поверхности нити, рост кристаллов вдоль нити, выявление дефектов и чужеродных загрязнений на поверхности.

**Современный физический практикум. Исследование статистических процессов в оптике.** Белов В.Н., Захаров Н.Г., Иванов В.К., Маслов В.П. Сб. науч.-метод. ст. по физ. **1991**. № 16. С. 27-36. [РЖ 1991 9 А64].

Описана учебная лабораторная работа по исследованию статистики фотоэлектронной и термоэлектронной эмиссии. Даны рекомендации по постановке работы. Для накопления и обработки данных используется микроЭВМ "Искра-1256".

**Оценка энергетической эффективности оптических систем в практикуме по общей физике.** Смирнова В.Б., Сперантов В.В. Сб. науч.-метод. ст. по физ. **1991**. № 16. С. 92-95. [РЖ 1991 9 А67].

Предлагаемая методика дает возможность исследовать зависимость падающей на приемник энергии от апертуры падающего пучка, убедиться в примерном равенстве яркостей источника и его изображения и продемонстрировать повышение энергетического к. п. д. системы путем подбора ее параметров.

**Лабораторный эксперимент по демонстрации оптической бистабильности.** A student experiment on optycal bistability. Lau C.S., Shy Jow-Tsong. Amer. J. Phys. **1991**. 59, № 1. С. 54-56. [РЖ 1992 1 А187].

Бистабильными называются такие оптические системы, в которых реализуются два устойчивых состояния с различной пропускающей способностью при постоянстве интенсивности входного сигнала. Такие системы представляют интерес с точки зрения реализации оптической логики. Описан эксперимент с осциллографом и фотодиодом для демонстрации оптической бистабильности. Фотодиод располагается перед экраном осциллографа. Сигнал, детектируемый фотодиодом, усиливается и по цепи обратной связи подается на Y-пластины осциллографа. Оптическая бистабильность наблюдается при изменении интенсивности или горизонтального положения светового пятна на экране осциллографа. При разрыве обратной связи можно наблюдать явление так называемого оптического хаоса.

**Экзаменационная работа по физической оптике.** Epreuve: sciences physiques. Bull. Union Phys. **1991**. 85, № 739, Suppl. С. 149-153. [РЖ 1992 9 А105].

Работа состоит из двух упражнений. В первом упражнении проверяется знание оптической системы для наблюдения интерференционных полос от зеркала Френеля; вопросы относятся как к оптической системе, так и к явлению интерференции. Во втором упражнении необходимо провести расчет электрической  $R, L, C$ -цепи.

**Магнитооптический метод исследования поверхности.** Зубов В.Е., Таблин А.С. Метрология. 1992. № 2. С. 20-28. [РЖ 1992 8 A137].

Приведено описание лабораторной установки исследования поверхности твердого тела, созданной на основе магнитооптического метода и позволяющей определять шероховатость поверхности и ее загрязнение.

**Использование волн 3-см диапазона в лабораторных экспериментах по оптике.** Using 3-cm microwaves for optics laboratory experiments. Blair J.M. Amer. J. Phys. 1992. 60, № 1. С. 63-66. [РЖ 1993 8 A122].

**Учебный прибор по физической оптике.** Чумаченко А.Д. Брян. технол. ин-т; Опул. 15.11.93. Бюлл. № 41-42. [РЖ 1994 7 A92].

Изобретение может быть использовано как лабораторный стенд в лабораторном практикуме по физике. Сущность изобретения: для повышения надежности и расширения функциональных возможностей учебный прибор содержит наливную линзу с прозрачной эластичной стенкой, заполненную оптически прозрачной жидкостью, и регулировочный винт для изменения геометрических параметров линзы, барабан с расположенным внутри источником света и возможностью вращаться вокруг оси, по периметру барабана расположены линзы. Линзы выполнены в виде герметичных емкостей с буферными объемами в верхней и нижней части и присоединены к ходовым гайкам, установленным в радиальных направляющих и имеющим резьбовое соединение с регулировочными винтами. Положительный эффект обусловлен повышением надежности прибора, так как линзы в нем герметичны, и расширением функциональных возможностей, так как прибор за один опыт позволяет демонстрировать оптические свойства нескольких жидкостей и линз с различными геометрическими характеристиками.

**Прибор для исследования взаимодействия света с веществом.** Уред за изследване на взаимодействието на светлината с веществото. Стаматов Н. Физика. 1993. 18, № 5. С. 45-46. [РЖ 1994 4 A157].

Существующие приборы для исследований в области абсорбционной фотометрии содержат сложную электронику и прецизионную оптику и недоступны для школ. Предлагается прибор, который можно изготовить из доступных для школы деталей в физическом кружке. Прибор состоит из предохраняющего, оптического и регистрирующего блоков. Предохраняющий блок содержит сетевой трансформатор, обеспечивающий стабильное напряжение. Приведена характеристика оптического блока, электрическая схема регистрирующего блока. Прибор рекомендуется использовать для выполнения лабораторной работы по изучению взаимодействия света с веществом, при изучении закона Ламберта-Бугера, измерении оптической плотности и концентрации жидких растворов.

**Наблюдение и исследование светоиндуцированного дрейфа сгустков паров натрия.** Атутов С.Н., Шалагин А.М. Сиб. физ. ж. 1993, № 2. С. 46-52. [РЖ 1994 10 A225].

Дано описание эксперимента по наблюдению светоиндуцированного дрейфа. Светоиндуцированный дрейф реализован в виде дрейфа компактного сгустка

паров натрия по длинному капилляру. Эффект прослеживается визуально. Эксперимент легко может быть реализован в любой современной физической лаборатории. Установка функционирует в лабораторном практикуме Новосибирского университета, выполняются курсовые и лабораторные работы.

**Прохождение света в воздухе, использование волоконной оптики. Передача звуковой информации посредством волоконной оптики.** Transmission d'un rayonnement IR dans l'air d'un rayonnement par une fibre optique. Feore M.-C. Bull. Union Phys. **1994**. 88, № 762. С. 507-511. [РЖ 1994 8 А81].

Описана лабораторная работа, целью которой является изучение светодиода и прием излучения фототранзистором. Приведены принципиальные электрические схемы. Включение осциллографа в схему фототранзистора позволяет определить принимаемую частоту колебаний и выявить некоторые зависимости. Те же измерения проводятся, когда между светодиодом и фототранзистором устанавливается оптическое волокно. Питание светодиода осуществляется от генератора прямоугольных импульсов с частотой  $400 \text{ Гц}$  и напряжением  $3 \text{ В}$ . Переходя в светодиоде от красного цвета к зеленому, наблюдают принимаемые осциллограммы. В третьей части работы питание светодиода осуществляется от усилителя, на входе которого находится микрофон.

**Рассеяние света шаровыми частицами.** Семериков А.А. *Науч. тр. Нижегород. гос. ун-та*. **1994**. № 2. 105-113. [РЭ 1997 4 А90].

Описана лабораторная работа на ЭВМ, в которой исследуется с использованием теории Ми структура поля при рассеянии волны шаровой частицей. Разработанная программа позволяет путем непрерывного увеличения радиуса шара изучать переход от релеевского рассеяния к приближениям Френеля и геометрической оптике. В ходе выполнения работы имеется возможность исследовать образование радуги, которая появляется при рассеянии света на больших, по сравнению с длиной волны, объемных неоднородностях. Работа реализована на ЭВМ типа IBM PC AT в среде MS.

**Волоконная оптика в лаборатории.** Fibre optics in the laboratory. Lau K.S., Wong K.H., Chau F.T., Yeung S.K. *Educ. Chem.* **1996**. 33, № 3. 75-77. [РЖ 1996 8 А79].

**Лабораторный эксперимент по Фурье-преобразованию аналогового сигнала.** Fourier theory explanation for the sampling theorem demonstrated by a laboratory experiment. Sharma A., Tong B., Axford N. R. *Phys. Educ.* **1996**. 31. № 6. 368-373. [РЖ 1997 5 А82].

**Электронно-оптический метод регистрации корпускулярных свойств световых волн.** Жаворонков В.И. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* **1996**. № 2. 50-52., 105. [РЖ 1997 10 А156].

Используя многолетний опыт работы с электронно-оптическими преобразователями и усилителями яркости изображения, была решена задача применения электронно-оптического метода регистрации для экспериментального подтверждения квантовой природы света при слабых световых потоках.

**Изучение анизотропии оптических свойств монокристаллов.** Мальцев А.С., Трошев С.А. *Преподавание физ. в высш. шк.* **1996**. № 8. 61-64. [РЖ 1997 10 А169].

В спец. практикуме по физике твердого тела разработан цикл лабораторных работ, выполняемых студентами в научно-исследовательской лаборатории Фурье-спектроскопии, часть которых посвящена изучению анизотропии оптических свойств твердых тел в инфракрасной и субмиллиметровой областях спектра. Рассматриваются особенности экспериментального изучения анизотропии оптических свойств монокристаллов и их взаимосвязи с симметрией зонной структуры.

**Оптика нелинейного отражения в общефизическом практикуме.** Photorefractive nonlinear optics in the undergraduate physics laboratory. Matlin M.D., McGee D. J. *Amer. J. Phys.* **1997.** 65. № 7. 622-634. [РЖ 1998 6 A143].

**Модельный эффект Доплера в студенческом лабораторном практикуме.** Барсуков К.А., Кондрашкин И.А., Попов В.Н. *использ. Науч.-техн. достиж. В учеб. физ. эксперим. Пенз. гос. пед. ун-т.* Пенза, **1997.** 19-22. [РЖ 1999 1 A124].

Предлагается лабораторная работа с элементами исследования, несколько расширяющими программные вопросы, в сравнительно простом инструментальном оформлении, моделирующая эффект Доплера в преломляющей среде.

**От поляриметра к гониометру для измерения контактного угла – недорогое преобразование лабораторной установки.** From polarimeter to contact angle goniometer– inexpensive conversion of laboratory equipment. Kabza K.J., Cochran K.J. *Chem. Educ.* **1997.** 74. № 3. 322-323. [РЖ 1997 10 A166].

Приведена схема гониометра для измерения контактного угла при изучении поверхностного натяжения, адгезии, влажности. Стоимость вертикального и горизонтального штативов, перенесенных из поляриметра телескопа, и микрошприца равна 359 долларам. Измерены контактные углы при осаждении воды, *n*-пропанола и дийодометилена на полиэтилене, тефлоне и парафине.

**Лабораторная работа по исследованию анизотропии электрических и оптических свойств одноосного кристалла.** Н.Я. Молотков, А.В. Постульгин. *ФОВ.* **1997.** Т. 3, № 2, с. 103.

**Лабораторный практикум по оптике как средство реализации межпредметных связей физики и астрономии.** Кошкина Н.И. *Физ. образ. в вузах.* **1998.** 4. № 4. 71-74, 159. [РЖ 1999 12 A152].

Рассмотрена одна из возможных реализаций очевидных межпредметных связей физики и астрономии – расширенный лабораторный практикум по оптике.

**Методические особенности лабораторного практикума раздела “Волновая оптика” в курсе физики.** Коробкова Т.А., Костырев С.П. *Вестн. Верх.-Волж. отд-ния Акад. технol. наук Рос. Федерации. Сер. высок. технol. в воен. деле.* **1998.** № 1, Ч. 2. 157-161. [РЖ 1999 12 A153].

Рассматривается методика проведения и содержание лабораторного практикума раздела “Волновая оптика”, обеспечивающие связь со специальными дисциплинами военного технического вуза. Изучение раздела “Волновая оптика” в курсе физики Нижегородского ВЗРКУ ПВО имеет ярко выраженную профессиональную направленность, подчиняясь принципу контекстного обучения. На лекционных, практических и лабораторных занятиях излагаются и обсуждаются вопросы и проблемы, тесно связанные с будущей специальностью курсантов-инженеров по радиоэлектронике. Изучение этого раздела физики обеспечивает

теоретическую и практическую подготовку курсантов к усвоению знаний по инженерным дисциплинам “Антенны и устройства сверхвысоких частот”, “Радиоприемные и радиопередающие устройства”, “Радиолокация и радионавигация”.

**Студенческий лабораторный практикум в системе УНЦ “Фундаментальная оптика и спектроскопия”.** ФОВ. 1999. Т.5, № 1, с. 53.

**Недорогие оптические твизеры для лабораторного практикума.** Inexpensive optical tweezers for undergraduate laboratories. Smith S.P., Bhalotra S.R., Brody A.L. and oth/ *Amer. J. Phys.* 1999. 67. № 1. 26-35. [РЖ 00.04-18А.146].

**Получение изображений.** Formation des images. Quelques idees simples a revisiter. Cantegreil A. *Bull. Union phys.* 1999. 93. № 817ю 1533-1538. [РЖ 00.05-18А.155].

Дана теория и описание экспериментальных установок для изучения условий Гаусса для тонкой линзы (системы теских линз), определение положения фокуса и изучение свойств оптического центра собирающей линзы, изучение сферической и хроматической аберрации, дифракции Фраунгофера и изучения фотодиодного тока в зависимости от освещения.

**Малая оптическая скамья.** Балабанова Т.Е. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2000. № 10. 52-55, 139. [РЖ 01.02-18А.145].

Предлагается использовать полупроводниковый лазер и малую оптическую скамью для проведения фронтального эксперимента по волновой и геометрической оптике. Рассматриваются многочисленные возможности малой оптической скамьи при проведении опытов.

**Физический Учебно-научный центр “Фундаментальная оптика и спектроскопия”.** ФЦП “Интеграция”. Этапы интеграции. Итоги 1999 года. О.Н. Крохин, В.И. Очкин, И. М. Завестовская. ФОВ. 2000. Т. 6, № 1, с. 7.

**Создание международного учебно-научного центра “Фундаментальная оптика и спектроскопия”.** О.Н. Крохин, Н.Г. Басов, А.Н. Стародуб, И.Н. Завестовская. ФОВ. 2000. Т. 6, № 1, с 37.

**О постановке учебной работы в совместной лаборатории оптики когерентного излучения.** П.В. Короленко. ФОВ. 2000. Т. 6, № 1, с. 80.

**Лабораторно-компьютерный практикум по Фурье-оптике.** Б.Н. Грудин, Н.А. Клещева, В. С. Плотников, В. К. Фищенко. ФОВ. 2001. Т. 7. № 1, с. 107.

**Создание компьютерных лабораторных работ для электронного учебника по курсу физики “Оптика”.** А.С.Беланов, Д.О. Жуков, Я.А. Карпицкая. ФОВ. 2001. Т. 7. № 3, с. 97.

Разработан комплекс компьютерных лабораторных работ, охватывающий основные оптические явления. В лабораторных работах предусмотрена возможность изменения значений экспериментальных параметров в широких диапазонах, что позволяет студентам более детально изучить особенности наблюдаемых явлений. Представленный учебный комплекс не требует дорогостоящих физических приборов и в то же время обладает большими демонстрационными возможностями.

**Моделирование кристаллооптических явлений в компьютерном лабораторном практикуме.** А.М. Толстик. ФОВ. 2001. Т. 7, № 4, с. 128.

Обсуждается проблема формирования чистых спектральных цветов и сложных оттенков при моделировании оптических экспериментов. Описываются созданные автором учебные компьютерные эксперименты по кристаллооптическим явлениям.

**Лабораторная работа по исследованию оптического аналога туннельного эффекта в сантиметровом диапазоне радиоволн.** Осипова И.А. *Труды ТГТУ*. 2001. № 9. 167-169. [РЖ 03.02-18А.152].

Под оптическим аналогом туннельного эффекта понимают проникновение света в оптически менее плотную среду при условии полного внутреннего отражения от границы раздела сред. Впервые теоретическое исследование данного явления было выполнено А. А. Эйхенвальдом. Оптический аналог туннельного эффекта наблюдали различными методами Г. Квинке, Р. Вуд, Л.И. Мандельштам, П. Зелени и др. Однако поставить соответствующие опыты в качестве лабораторного эксперимента достаточно сложно, так как интенсивность света в оптически менее плотной среде очень быстро уменьшается. В сантиметровом диапазоне электромагнитных волн оптический аналог туннельного эффекта впервые исследовал индийский физик Дж. Ч. Бозе. Использование искусственных сред (металлоленточных структур) для сантиметровых электромагнитных волн ( $\lambda=3,2$  см) позволяет простыми и доступными средствами наглядно и полно исследовать сущность оптического аналога туннельного эффекта. Приведено описание эксперимента. Проведенные опыты подтверждают, что амплитуда волны в аналоге туннельного эффекта уменьшается по экспоненциальному закону.

**Микрофотометр ИФО-463.** *Мир измерений*. 2001. № 9-10. 93. [РЖ 03.05-18А.157].

Микрофотометр предназначен для измерения оптической плотности и коэффициента пропускания нейтральных фильтров-спектрограмм, электронограмм, рентгенограмм и других прозрачных объектов. Диапазон измерений оптической плотности составляет 0,01–3,0 Б, диапазон измерений коэффициента пропускания 0,001÷1,0. Увеличение изображения при проецировании на экран равно  $20\pm 1$  крат.

**Изучение волоконных световодов в курсе общего физического практикума.** Бирюков А.А., Котова С.П., Мартынова Г.П. и др. *Актуальные проблемы физ. образования на рубеже веков в пед. вузах: Материалы 3 Уральской региональной научно-практ. конф., Уфа*. 2001. 7-9. [РЖ 03.07-18А.164].

Самарским филиалом ФИАН им. П.Н. Лебедева совместно с кафедрой общей и теоретической физики Самарского государственного университета разработана лабораторная установка и методика проведения лабораторных работ по исследованию физических свойств волоконных световодов для общего физического практикума. В статье перечислены основные элементы, входящие в установку: полупроводниковый лазер, фотодиоды и пр. По разработанной методике выполняются измерения оптической мощности на выходе волокна; диаграмм направленности излучения; диаметра одномодовых волокон, а также изучаются поляризационные свойства волокон. Особенностью установки является простота ее конструкции и удобство проведения лабораторных работ. Установка изготавливается для комплектации лабораторий вузов и специализированных средних учебных заведений.

**Научно-методическое обеспечение практикума по оптике: Методическое указание к лабораторным работам по физической оптике для студентов и**

**преподавателей физического факультета.** Борыняк Л.А., Захаров О.Н., Меднис П.М. Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2001. [РЖ 04.01-18А.157].

В работе содержатся описания 25 лабораторных работ по оптике для студентов-физиков третьего курса. Рассматриваются как физические основы затронутых проблем, так и правтические способы их реализации. Рассматриваются также некоторые методические аспекты вузовской и школьной методики преподавания. Методические указания предназначены для студентов-физиков, слушателей спецкурсов, а также для преподавателей, ведущих занятия в лаборатории оптики.

**Наблюдение квантовых флуктуаций сверхслабых световых потоков.** Чувашов В.Н., Жаворонков В.И., Жаворонкова С.И. *Пробл. учеб. физ. эксперим.* 2002. № 16. 61-63, 103. [РЖ 03.01-18А.176].

Предложена лабораторная установка на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) по наблюдению и регрстрации квантовых флуктуаций сверхслабых световых потоков.

**Контактное фотографирование растений в условиях газового разряда.** Анисимов Н.М., Анисимов И.Н., Савохин И.В. *Преподавание физ. в высш. шк.* 2002. № 22. 56-63. [РЖ 03.06-18А.161].

В 1890-1891 г.г. опыты Николая Теслы показали возможность газоразрядной визуализации живых организмов. Затем Я.О. Нардкевич-Иодко обнаружил свечение рук человека в поле высоковольтного генератора и научился фиксировать это свечение на фотопластине. Целью дано йработы была разработка достаточно простой установки для фотографирования листьев растений в высокочастотном поле. Приведена схема установки, включающая высоковольтный школьный преобразователь типа “Разряд-1”, электроды и две обкладки – плоскую и роликую, между которыми и размещается фотобумага и лист растений, даны фотографии двух образцов. В кратком историческом обзоре по исследованию биоэлектрических явлений приведены работы российских изобретателей супругов Кирлиан, заново открывших метод в 30-х годах прошлого века после забвения.

**Новые учебные эксперименты по электронно-оптическим исследованиям сверхслабых световых потоков.** Горшечников М.В., Жаворонков В.И. *Физ. образ. в вузах.* 2002. 8. № 4. 107-116, 155. [РЖ 03.12-18А.174].

В обзоре рассматриваются возможности электронной оптики при проведении современного физического эксперимента. Описывается новый опыт по регистрации квантовых флуктуаций сверхслабых световых потоков с использованием электронно-оптического преобразователя. Приводятся простые способы визуализации отдельных видов люминесценции.

**Компьютерный лабораторный практикум по волновой оптике.** А.М. Толстик. *ФОВ.* 2002. Т. 7, № 1, с. 94.

В статье описываются созданные автором 4 компьютерные лабораторные работы по изучению интерференции и дифракции света: “Изучение интерференции света”, “Изучение дифракции света”, “Изучение дифракционной решетки”, “Изучение временной когерентности”.

**Электронные лабораторные работы по курсу общей физики для студентов технических вузов.** Н.А. Александров, Д.О. Жуков, Д.Д. Зотов, В.В. Селезнев, В.О. Тычкин. *ФОВ.* 2002. Т. 8, № 1, с. 96.

**Новые учебные эксперименты по электронно-оптическим исследованиям сверхслабых световых потоков.** М.В. Горшечников, В.И. Жаворонков. *ФОВ.* **2002.** Т. 8, № 4, с. 107.

**Стандарты физического практикума: требования, рекомендации, альтернативы.** В.В. Светозаров, Ю.В. Светозаров. *ФОВ.* **2003.** Т. 9, № 1, с. 157.

**Лабораторные установки на базе оптических приборов ИК-диапазона.** Выборнов Ф.И., Чандаева С.А. *Физика в системе современного образования: ФССО-03: Труды 7 Международной конференции, Санкт-Петербург, 14-18 окт., 2003.* Т. 2. СПб, **2003.** 32-33. [РЖ 06.03-18А.149].

Сообщается о проведении в лабораторном практикуме Нижегородского филиала военно-инженерного университета двух лабораторных работ: “Изучение принципов работы электронно-оптического преобразователя прибора ночного видения ПНВ-57” и “Изучение принципов работы электронно-оптического преобразователя ночного стрелкового прицела унифицированного НСПУ”. Эти приборы ночного видения ПНВ-57 и НСПУ относятся к приборам наблюдения в инфракрасном диапазоне электромагнитных волн. Основной их деталью являются электронно-оптические преобразователи, преобразующие невидимые человеческим глазом лучи либо в электрический сигнал, либо в видимое изображение. В основе работы электронно-оптических преобразователей лежат два квантово-оптических явления: фотоэлектронная эмиссия и катодолюминесценция, представляющие интерес для лабораторного практикума по квантовой физике. Еще одним квантовым электронно-оптическим прибором инфракрасного диапазона является квантовый топографический дальномер КТД-1. Целью работы “Измерение дальности до цели с помощью квантового топографического дальномера КТД-1”, кроме заявленной в названии, выступает изучение физических принципов работы лазера и квантового топографического дальномера.

**Лабораторный практикум по волновой и квантовой оптике, ядерной физике: Тесты.** Максutow И.А., Мишина Л.А., Подзерко В.Ф., Топольская Н.Н. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, **2003.** 48 с. [РЖ 04.11-18А.138].

Тесты предназначены для студентов и преподавателей университета и имеют целью помочь студентам привести в систему полученные знания, а преподавателям – осуществить контроль знаний студентов на лабораторных занятиях. При составлении тестов использовался выборочный метод ответов. Задания рассчитаны на 10–15 минут. Если позволяет время, преподаватель может предложить студентам дать письменное или устное обоснование сделанного выбора ответа.

**Изучение распространения света по оптическим волноводам с элементами магнитооптики.** Гришачев В.В. *Новые магнитные материалы микроэлектроники: Сб. тр. 19 Междунар. Школы-семинара, Москва, 28 июня–2 июля, 2004.* М., **2004.** 49-51. [РЖ 05.12-18А.163].

К задачам общего физического практикума можно отнести изучение распространения света и преобразования физических величин в световоде. Выделение из эффекта Фарадея измерения постоянной Верде специального световода и объединение с упражнениями по изучению волноводного распространения света позволяет создать наглядную практическую работу по изучению основных магнитооптических эффектов (эффект Фарадея) и новейшего направления развития техники – волноводного распространения света. Лабораторная работа может со-

стоять из измерения основных параметров света в световоде – коэффициента затухания, групповой скорости, дисперсии и др. Вторая часть состоит в изучении эффекта Фарадея, который является основой для создания многих волоконно-оптических устройств: невзаимных элементов, модуляторов и др. Такие задачи сведены к трем упражнениям: 1) измерение коэффициента затухания в кварцевом световоде; 2) оценка параметров дисперсии кварцевого световода; 3) измерение постоянной Верде специального световода.

**Эксперимент с прерыванием пучка лучей помогает студентам развивать исследовательские навыки.** A beam chopping experiment to help students develop research skills. Behringer Ernest R., Brincat Joseph A. *Amer. J. Phys.* **2004**. 72. № 5. 695-698. [РЖ 06.08-18А.144].

Описывается проект, включающий изучение процесса прерывания пучка лучей от светодиода, развивающий умение студентов в моделировании, вычислении, проведении эксперимента и сборе данных. Проект может быть выполнен студентами, изучающими вводные курсы физики.

**Критическое замедление при бифуркации.** Critical slowing down at a bifurcation. Tredicce J.R., Lippi G.I., Mandel Paul atc. *Amer. J. Phys.* **2004**. 72. № 6. 799-809. [РЖ 06.08-18А.145].

Критическое замедление вблизи бифуркации или предельной точки ведет к динамическому гистерезису, который нельзя избежать радикальным замедлением контрольного параметра при переходе через критическую точку. В работе на основе простой модели аналитически иллюстрируется бифуркационный сдвиг. Описывается недорогой эксперимент с использованием полупроводникового лазера, в котором данное явление возникает вблизи порога полупроводникового лазера. Обсуждаются методологические трудности в проведении эксперимента студентами.

**Определение разрешающей способности человеческого глаза.** Методические указания к лабораторной работе. Казачкова Ф.А, Казачков В.Г. Волков Е.В. Оренбург. ОГУ. **2004**. 8 с.

**Комплексный лекционный и лабораторный эксперимент в курсе общей и экспериментальной физики (раздел “Оптика”).** Козырева Е.Б., Хакимзянова Г.И. *Пробл. уче. Физ. эксперим. Материалы 10 Всеросс. науч.-практ. конф. “Учеб. физ. эксперим. Акт. проблемы. Соврем. решения”*, Москва, 2005. Сб. науч. тр. М., **2005**. 38-39. [РЖ 06.12-18А.149].

Рассмотрены проблемы комплексного преподавания курса общей и экспериментальной физики раздела “Оптика” на физическом факультете педагогического университета. Все виды преподавания (лекции, практические занятия и лабораторные работы) происходят параллельно по одинаковым разделам. Все лекции сопровождаются лекционными демонстрациями (15 демонстраций) и показом научных видеофильмов по темам: интерференция, дифракция, поляризация. Лабораторные работы (12 работ) разбиты на три блока (геометрическая, волновая и физическая оптика). Параллельно этому по тем же темам проводится и решение задач, содержащее совместное решение в аудитории с преподавателем, блок домашних заданий и по окончании темы – контрольную работу. Показано, что благодаря такому комплексному обучению курс оптики хорошо усваивается студентами.

**Формирование экспериментальных умений у учащихся во время выполнения автоматизированных работ физического практикума.** А.В. Ельцов. *ФОВ.* 2006. Т. 12, № 4, с. 44.

**Лабораторный практикум по оптике в техническом университете.** Гофман А.Г., Повзнер А.А. *Школа и вуз: Достижения и проблемы непрерывного физического образования: Сб научн. Тр. 4 Российск. Научно-методич. конф. Учителей школ и преподавателей вузов. Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург. 2006. 96-98. [РЖ 07.10-18А.142].

Работы по оптике позволяют представить физику как экспериментальную науку, в которой сочетаются идеи классической и современной физики, поэтому классические работы по интерференции, дифракции и поляризации дополнены задачами по оценке параметров пространственной и временной когерентности. В методических описаниях даются необходимые сведения о волновой природе излучения, об условиях образования интерференционной и дифракционной картин, о свойствах поляризованного света и методах его получения и др. В работах ставится задача показать роль оптических измерений в естественно-научных и научно-технических исследованиях, в технической, медицинской и биологической практике. У студентов формируются навыки оценки результатов полученных измерений, расчетов случайных и систематических погрешностей. Применяются компьютерные программы обработки результатов измерений. Для ряда лабораторных работ разработаны “виртуальные” варианты, представляющие собой компьютерные симуляции реальных лабораторных работ. Такая форма особенно перспективна для студентов дистанционной и заочной форм обучения.

**Применение лабораторных комплексов ЛКО-4 фирмы “ВЛАДИС”.** Михельсон А.В. *Школа и вуз: Достижения и проблемы непрерывного физического образования: Сб научн. Тр. 4 Российск. Научно-методич. конф. Учителей школ и преподавателей вузов. Екатеринбург, 2006.* Екатеринбург. 2006. 122-125. [РЖ 07.10-18А.144].

В состав комплекса ЛКО-4 “Прикладная оптика” (фирма “Владис, МИФИ”) входит интерферометр Маха-Цендера, с помощью которого измеряется показатель преломления воздуха в зависимости от давления и малые деформации твердого тела. Краткий перечень лабораторных работ с использованием лабораторных комплексов ЛКО-4 свидетельствует о возможности широкого использования их в лабораторном практикуме. Отмечается иллюстративный характер лабораторных работ и значительная погрешность измерений.

**Физический практикум в техническом вузе.** Хаджиев Р.Р. *Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. “Наука, образ. и произв-во”, посв. 85-летию Грозн. Гос. нефт. Ин-та им. Акад. М.Д. Миллионщикова. Грозный, 24 дек., 2005.* Грозный, 2006. 157-158. [РЖ -8.01-18А.108].

Физический практикум для студента технического вуза – это тот фундамент, на котором в дальнейшем будет строиться вся система подготовки будущего инженера, обладающего методикой и техникой проведения эксперимента, методами обработки, умеющего эффективно использовать измерительную аппаратуру и компьютерные технологии в практической деятельности по специальности. В настоящее время комплекс лабораторных работ должен включать в себя не-

сколько видов работ: 1) Традиционные лабораторные работы на основе физических стендов. Отмечается, что при всей важности межпредметных связей нельзя превращать науку в подготовительный учебный предмет для изучения специальных дисциплин. Недопустимо, чтобы исчезли фундаментальные классические эксперименты. 2) лабораторные работы, сочетающие физический стенд и компьютер, который используется для автоматизации измерений и обработки результатов. 3) Постановка лабораторных работ, в которых моделируются физические явления на компьютере. 4) Сложные лабораторные работы с элементами научных исследований на современных физических установках, используемых как на производстве, так и в научно-исследовательских институтах. Утверждается, что при любой организации физического практикума эксперимент должен оставаться реальным, а не виртуальным. Никаких экспериментов в виртуальной среде быть не может, так как нет главного – реального материального объекта исследования.

**Измерение аберрации глаза с помощью метода волнового фронта.** Measuring aberration of the eye with wavefront technology. Colicchia G., Wiesner H. *Phys. Educ.* **2006.** 41. № 4. 307-310. [РЖ 08.01-18А.116].

**Светодиоды демонстрируют пьезоэлектрический эффект.** LED demonstrates piezoelectricity. Hare J. *Phys. Educ.* **2006.** 41. № 3. 212-213. [РЖ 08.01-18А.117].

**Теория и практика лабораторного эксперимента по физике на технологическом факультете пединститута.** Тесленко Н.А., Тесленко В.Ф. *Пробл. учеб. физ. эксперим. Сб. научн. тр.* Вып. 24. Мат. 11 Всеросс. научн.-практ. конф. “Учеб. физ. эксперим. Акт. Пробл. Современ. решения”, Москва. **2006.** М., 23-26. [РЖ 09.01-18А.100].

Обсуждается вариант более тесного взаимодействия различных видов занятий по физике на основе индивидуально-дифференцированного подхода с целью минимизации влияния факторов сокращения учебных часов и слабой, разноуровневой физико-математической подготовки студентов технологического факультета.

**Организация и принципы построения лабораторного практикума по общей физике в университетах.** Смирнов В.В. *Юж.-Рос. вестн. Геол., геогр. И глобал. Энергии.* **2006.** № 8. 225-229. [РЖ 08.06-18А.133].

Результаты опроса 1000 студентов ряда ВУЗов Москвы, Волгограда и Астрахани показали, что наибольшие затруднения вызывают вопросы, связанные со способом достижения цели проводимого исследования, особенно, с обработкой полученных результатов; что существует противоречие между потребностью в формировании у студентов инженерных специальностей навыков исследовательской деятельности и невозможностью удовлетворить ее на основе сложившегося содержания обучения. Обсуждается методическая идея, ориентированная на формирование навыков исследовательской деятельности в ходе выполнения физического практикума: овладеть экспериментальной деятельностью обучаемый может, только многократно выполняя ее. Содержание и методика занятий должны быть таковы, чтобы студент сам участвовал в создании экспериментальной установки, разработке методики проведения эксперимента, выборе метода обработки полученных результатов

и в самой обработке результатов, то есть был вовлечен в самостоятельную экспериментальную деятельность по решению конкретной познавательной задачи.

**Построение системы удаленного управления лабораторным лазерным стендом.** Рождествин В.Н., Головин А.Д., Глотов А.Н. и др. *17 Межд. науч.-техн. конф. “Лазеры в науке, технике, медицине”, Адлер, 18-22 сент., 2006. Сб. науч. тр.* Т. 17, М., **2006**. 136-144. [РЖ 09.02-18А.112].

Разработана структурная схема и конструкция лазерного стенда для проведения лабораторных работ и демонстрации различных режимов работы лазера на алюмоиттриевом гранате с импульсной оптической накачкой. Предусмотрена работа в следующих режимах: 1) свободной генерации, 2) модуляции добротности резонатора (генерации импульсов наносекундного диапазона), 3) генерации излучения на длине волны второй гармоники. Рассмотрены принцип действия установки, функционирование и алгоритм работы блока управления режимами лазера, построенного на базе персонального компьютера, оснащенного набором портов ввода/вывода, контроллеров и встраиваемых приборов под управлением программной среды LabView 7.1.

**Использование вводных лабораторных занятий для привлечения студентов к планированию экспериментов.** Using introductory tabs to engage students in experimental design. Etkina Eugeia, Murthy Sahana, Zou Xueli. *Amer. J. Phys.* **2006**. 74. № 11. 9790986. [РЖ 09.08-18А.110].

**Обучение исследовательской деятельности в ходе экспериментальной проверки характеристик наноматериалов.** Exploratory teaching on the test-experiment of characteristic of nanomaterials. Zu X.-t., Fang L.-m., Xiang X., Liu C.-m., Wang Z.-g. *Shiyanshi yanjiu yu tansuo = Res. And Ezplor. Lab.* **2006**. 25. № 6. 670-672. [РЖ 09.10-18А.117].

**Лабораторные приборы для изучения оптических систем связи.** Ермакович К. К. *Вестн. Липецк. Гос. пед. ун-та. Сер. МИФЕ: мат., инф., технол., физ., естествозн.* **2006**. 1. № 1. 66-68. [РЖ 07.07-18А.144].

Предлагаются конструкции несложных демонстрационно-лабораторных приборов для изучения принципов работы оптических систем связи и измерения некоторых параметров волоконно-оптических линий передачи. Приведены примеры экспериментальных зависимостей потока излучения, прошедшего стык двух световодов, от координат стыка.

**О типовом комплекте оборудования для лаборатории “Квантовая физика и строение вещества”.** Фискинд Е.Э. *Физ. образ. вузах.* **2006**. 12. № 3. 70-76, 133-134. [РЖ 07.07-18А.148].

Проанализирован уровень разработок типового лабораторного оборудования по квантовой физике, выпускаемого ФГУП РНПО “Росучприбор” – крупнейшим производителем учебной техники. В типовой комплект оборудования для лаборатории “Квантовая физика и строение вещества” ФПК входит 10 экспериментальных установок, предназначенных для изучения квантовой оптики (2), атомной физики (2), физики полупроводников (3) и ядерной физики (3). Технический уровень этих установок, как и другого оборудования “Росучприбора”, достаточно высок: они компактны, эргономичны, просты в эксплуатации, снабжены жидкокристаллическими индикаторами величин, измеряемых устройствами с применением однокри-

стальной микро-ЭВМ, в них предусмотрена возможность сопряжения с персональным компьютером. Однако в методическом аспекте данное оборудование имеет серьезные недостатки. Рассмотрены методические особенности установок по измерению резонансного потенциала, изучению космических лучей и эффекта Холла.

**Измерение оптического доплеровского смещения с помощью вращающегося зеркала.** Optical Doppler shift measurement using a rotating mirror. Bernal Luis, Bilbao Luis. *Amer.J. Phys.* **2007**. 75. № 3. 216-219. [РЖ 09.02-18А.113].

**Оптическая ловушка для студентов.** Optical trapping for undergraduates. Appleyard D.C., Vandermeulen K.Y., Lee H., Lang M. . *Amer. J. Phys.* **2007**. 75. № 1. 5-14. [РЖ 09.02-18А.114].

**Учебные эксперименты с люксометром.** School experiments with a luxmeter. Jan D. *Phys. Educ.* **2007**. 42. № 3. 275-280. [РЖ 09.03-18А.101].

**Физический практикум: новая форма организации работы студента с реальным лабораторным оборудованием.** Потемкина С.Н., Талалов С.В. *Физ. образ. в вузах.* **2007**. 13. № 1. 104-111. [РЖ 09.09-18А.98].

Предлагается технология прохождения физического практикума, ориентированная в существенном на самостоятельную работу студента. Обсуждение проводится на основе опыта внедрения технологии для студентов инженерных специальностей Тюбяттинского государственного университета, изучающих физику три семестра (400–600 часов общего объема дисциплины по учебному плану). В качестве примера рассматривается организация лаборатории для прохождения физического практикума первого семестра обучения (механика, молекулярная физика). Представляемая лаборатория содержит девять лабораторных работ выполняемых студентами строго индивидуально, вне расписания по предварительной записи. Компьютер используется в практикуме для методического обеспечения. Авторы отмечают, что замена реального физического практикума виртуальным не способствует качественному и глубокому освоению курса общей физики.

**Свеча в лаборатории.** A candle in the lab/ Hughes S., Gale A. *Phys. Educ.* **2007**. 42. № 3. 271-274. [РЖ 09.10-18А.116].

**Содержание, организация и принципы построения лабораторного практикума по общей физике в университетах.** Смирнов В.В. *Физ. образ. в вузах.* **2007**. 13. № 2. 58-68, 133. [РЖ 08.04-18А.117].

Для оценки эффективности существующих практикумов по общей физике в ряде университетов России был проведен констатирующий эксперимент. Его результаты свидетельствуют о необходимости внесения изменений в существующую практику его проведения. В работе выделены 4 типовые экспериментальные задачи, решаемые в ходе выполнения практикума. Рассмотрены обобщенные способы их решения.

**Лабораторно-проектные работы в системе физического практикума технических университетов.** Ларионов В.В., Писаренко С.Б., Лидер А.М. *Физ. образ. в вузах.* **2007**. 13. № 2. 69-77, 134. [РЖ 08.04-18А.118].

Показано, что лабораторно-проектные работы в техническом университете как метод изучения физики целесообразно проводить в среде композиционного

физического практикума, который включает в себя взаимосвязанное сочетание виртуального, вычислительного и натурального эксперимента, а также видеообучающую систему. Приводятся примеры конкретных лабораторно-проектных работ в ТПУ.

**Методологическая роль композиционного физического практикума.** Зеличенко В.М., Ларионов В.В., Лидер А.М. *Физика в системе совр. образ. (ФССО-7). Матер. 9 Межд. конф. С.-Петербург., 4-8 июня, 2007.* Т. 1. СПб, 2007. 224-227. [РЖ 08.06-18А.131].

Основой методологии современного физического практикума является взаимосвязанное единство виртуального, вычислительного и натурального эксперимента. Для обозначения его новых свойств введено понятие композиционного физического практикума (КФП). Это понятие соответствует системному подходу в педагогике, философии и других науках и является эффективным методологическим инструментом. Поэтому при построении концепции и модели современного физического практикума важен анализ вопроса о соотношении теоретического, экспериментального и вычислительного знания для современного физического познания. Вывод из анализа следующий – натуральный и виртуальный эксперимент и моделирование на любом уровне в теории и методике обучения физике должны рассматриваться не только как одинаково важные (и дополнительные), но и составлять единый неразделимый комплекс. Показано, что в рамках КФД предоставляется возможность адекватно раскрыть сущность методологии физического эксперимента, и привить прочные навыки его применения в научно-учебных исследованиях и предметном обучении.

**Физический практикум в техническом вузе.** Камалова Н.С., Евсикова Н. ., Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Постников В.В. *Физика в системе совр. образ. (ФССО-7). Матер. 9 Межд. конф. С.-Петербург, 4-8 июня, 2007.* Т. 1. СПб, 2007. 231-233. [РЖ 08.06-18А.132].

В рамках нового способа ведения занятий, называемого “демократическим”, предлагается порядок проведения занятий, в основе которого лежит принцип творчества студента с преподавателем, базирующийся на вдумчивой самостоятельной работе студента, что давно внедрено в физических учебных лабораториях. В рамках перенесения неопенимого опыта физического практикума в виртуальную область предлагается разработка творческих заданий на компьютере для успешного усвоения основных законов физики с учетом специфики вуза и специальности, выбранной студентом для изучения. Подобные творческие задания формируют навыки моделирования движения, стремление к предвидению и создают почву для более вдумчивого подхода к выбранной деятельности. При этом вызывается интерес к математическому моделированию, новым компьютерным технологиям, процесс обучения становится осмысленным творческим познанием.

**Общий физический практикум в курсе общей физики.** Митин И.В., Салецкий А.М., Слепков А.И. *Физика в системе совр. образ. (ФССО-07). Мат. 9 Межд. конф. СПб, 4-8 июня 2007.* Т. 1. СПб, 2007. 11-13. [РЖ 08.08-18А.124].

Общему физическому практикуму физического факультета МГУ – 100 лет. За все время существования можно выделить три основных этапа его развития. Особенности современного этапа развития практикума определяются прежде всего возможностью внедрения современных технологий, в том числе компьютерных. Это резко расширяет возможности практикума, позволяет не

только получать более точные результаты, но и создавать новые лабораторные работы. В таких условиях особую роль играет проведение методической работы, основанной на бережном отношении ко всему тому опыту, который был накоплен в практике ранее.

**Инфракрасное тепловое изображение как инструмент в университетском физическом образовании.** Infrared thermal imaging as a tool in university physics education. Mollmann K.,-P., Vollmer M. *Eur. J. Phys.* **2007**. 28. № 3. 837-850. [РЖ 08.09-18А.130].

**О дидактическом уровне типового лабораторного оборудования по физике.** Фискинд Е.Э. *Учеб. физ.* **2007**. № 1. 198-201. [РЖ 08.09-18А.133].

Обсуждены особенности современного типового лабораторного оборудования по квантовой физике, выпускаемого РНПО “Росучприбор”. Проведен анализ методических возможностей установки для изучения эффекта Холла. Сделан вывод о низком дидактическом уровне этой установки.

**Учебный эксперимент как изобретательская задача.** Заровняев Г.В. *Физ. в сист. соврем. образ. (ФССО-07). Матер. 9 Межд. конф. СПб. 4-8 июня, 2007.Т. 1.* СПб. **2007**. 412-414. [РЖ 09.01-18А.99].

Обучение студентов в рамках курса методики преподавания физики, учителей физики, повышающих квалификацию, умению находить, конструировать, использовать в работе нетрадиционный учебный эксперимент приобрело особую важность в наше время из-за продолжающегося ухудшения состояния дел с материальной базой физических кабинетов школ и отрицательной селекцией учительских кадров. Приведен ряд ярких примеров демонстрационных опытов и лабораторных работ, доступных каждому студенту и учителю физических опытов, использующих ничего не стоящие “бросовые” материальные ресурсы.

**Общий физический практикум в курсе общей физики.** И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.И. Слепков. *ФОВ*, **2007**. Т. 13, № 4, с. 16.

Изложена история развития общего физического практикума на физическом факультете МГУ. Продемонстрировано, что общий физический практикум является важнейшей формой обучения студентов-физиков. Показана эффективность внедрения в обучение современных технологий.

**Концепция подготовки студентов университетов к проведению экспериментальных физических исследований.** Стефанова Г.П. *Физ. образ. в вузах*. **2008**. 14. № 4. 9-19, 132. [РЖ 09.09-18А.99].

Предлагается новая модель обучения студентов университетов методам самостоятельного проведения экспериментальных физических исследований. Суть ее заключается в формировании у обучаемых обобщенных способов решения типовых познавательных задач с применением эксперимента. Типы познавательных задач выделены на основе анализа экспериментальных работ выдающихся физиков.

**Система мониторинга при проведении физического практикума в СГПУ.** Якунина Е.А. *Персп. инновации в науке и образ.: Сб. тр. Всеросс. научно-практич. конф., посвящ. Памяти проф. Л.И. Кошкина. Самара, 16-18 сент., 2008.* Самара. **2008**. 237-239. [РЖ 09.11-18А.96].

Показано, что лабораторные занятия можно рассматривать не только как форму организации учебного процесса, на котором формируются умения приме-

нять полученные теоретические знания при постановке и проведении экспериментальных исследований, практические навыки обращения с оборудованием, но и как базовую форму организации учебного процесса, на котором должны формироваться у студентов научные методы и приемы самостоятельной познавательной деятельности.

**Простой эксперимент по распространению медленного света в рубидии.** A simple experiment on slow light in ruby. Cerdan Luis, Weigand Rosa, Perez Manuel Guerra, Crespo Helder. *Amer. J. Phys.* **2008**. 76. № 9. 826-832. [РЖ 10.06-18А.94].

Описывается простой, доступный, недорогой эксперимент для изучения основных особенностей медленного распространения света с помощью твердотельного насыщаемого абсорбента при комнатной температуре. Приводится объяснение и анализ, основанные на модели когерентных осцилляций заселенности, описывающей распространение света поперек кристалла рубидия.

**Простой метод сборки органических светодиодов для учебных целей в студенческих лабораториях.** Simple assembling of organic light-emitting diodes for teaching purposes in undergraduate labs. Vazquez-Cordova S., Ramos-Ortiz G., Maldonado J.I., Meneses-Nava M.A., Barbosa-Garcia O. *Rev. tex. Fis. E.* **2008**. 54. № 2. 146-152. [РЖ 11.01-18А.108].

**Роль методологических знаний при организации лабораторных занятий по физике.** Андреев Ю.А. *Физ. образ. в вузах.* **2009**. 15. № 2. 49-54, 142. [РЖ 10.04-18А.100].

Анализируется роль методологических знаний при организации учебного процесса в физическом практикуме. Обосновывается вывод о том, что в основу формирования лабораторных маршрутов и комплектации лабораторных работ должен быть положен методологический принцип, понимаемый как организация деятельности во взаимосвязи структуры, методов и средств деятельности.

**Восприятия, взгляды и мнения студентов университета об изучении физики в процессе выполнения учебной лабораторной работы.** The perceptions? Views and opinions of university students about physics learning during undergraduate laboratory work. Hanif M., Sneddon P.H., Al-Ahmadi F.M., Reid N. *Eur. J. Phys.* **2009**. 30. № 1. 85-96. [РЖ 10.09-18А.84].

**Содержание и организация физического практикума для студентов биологических специальностей.** Петрова Е.Б. *Физ. образ. в вузах.* **2009**. 15. № 3. 95-101, 123-124. [РЖ 10.10-18А.90].

Описан практикум для студентов биолого-химического факультета. Предложены оригинальные идеи в содержании и организации лабораторных работ. Особенностью содержания работ практикума является наличие двух частей: инвариантной и вариативной (отражающей специфику профессиональной направленности). Ключевым элементом в организации практикума является использование для подготовки к работам мультимедийных описаний.

**Экспериментируем с жидкими кристаллами.** Марков С.В., Маркова Е.С. *Учеб. физ.* **2009**. № 1. 21-35. [РЖ 11.01-18А.114].

Приведены общие сведения о жидкокристаллических веществах, которые по классификации, предложенной Ж. Фриделем, разделяют на три типа: нематические, холестерические и смектические. Рассматривается изучение электрических и оптиче-

ских свойств нематического жидкокристаллического вещества планарной текстуры в учебном физическом эксперименте. Описывается изготовление электрооптической ячейки, приводятся примеры опытов. Также рассматриваются свойства избирательного отражения холестерических жидких кристаллов в зависимости от температуры.

**Оже-электронная спектроскопия для современной учебной лаборатории.** Auger electron spectroscopy for the advanced student laboratory. Greczylo T, m Mazur P., Debowska E. *Eur. J. Phys.* **2009**. 30. № 2. 311-323. [РЖ 11.04-18А.98].

**Лабораторная работа “Волоконно-оптический датчик давления”.** Кирин И.Г., Никитчук М.И. *Учеб. физ.* **2009**. № 3. 46-47. [РЖ 11.02-18А.98].

Описывается разработанная лабораторная установка, предназначенная для изучения волоконно-оптического датчика давления шторчатого типа. Приведены результаты выполненных на ней экспериментальных исследований.

**Роль практикума в формировании исследовательских умений студентов-физиков младших курсов.** Агибова И.М., Федина О.В., Беджанян М.А. *Физ. образ. в вузах.* **2010**. 16. № 2. 37-47, 123. [РЖ 10.11-18А.89].

Авторами разработана методика проведения лабораторного практикума с применением творческих заданий для формирования исследовательских умений студентов-физиков. Представлена система творческих заданий с учетом проблемных ситуаций различного вида. Разработанная методика предполагает использование карточек помощи с заранее подготовленными вопросом, схемой, рисунком, формулой и т. д. Выделены критерии для определения уровней сформированности исследовательских умений студентов-физиков. Представлены результаты эксперимента, подтверждающего результативность применения данной методики проведения лабораторного практикума в вузе.

**Универсальная установка для организации работ спецпрактикума студентов физических специальностей.** Ананьев Д.В., Сизова М.С. *Учеб. физ.* **2010**. № 2. 38-39. [РЖ 11.03-18А.107].

Приведено описание и возможности эксплуатации универсальной установки (гониометр-спектрометр), сконструированной на базе технического микроскопа БМИ-1, для организации работ спецпрактикума студентов физических специальностей. Установка позволяет с большой точностью измерять углы отклонения световых лучей в призмах, дифракционных решетках, изучать поляризацию света при отражении от различных поверхностей и т. д.

**Повышение степени восприимчивости виртуальных лабораторных работ.** Н.Н. Прибылов, Е.И. Прибылова. *ФОВ. Т. 16.* № 2. **2010**. С. 95-102.

### Глава 13

## СБОРНИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

**Физический практикум.** Рук-во к упражнениям для начинающих в физической лаборатории. А.П. Соколов. М. **1909**.

**Физический практикум. Том 2. Молекулярные и тепловые явления. Электричество и магнетизм. Оптика и строение атома.** Проф. К.П. Яковлев. М.-Л. **1949**. 395 с.

**Физический практикум.** Под ред. В.И. Ивероновой. Составлено: А.Г. Белянкиным, Е.С. Четвериковой, И. Яковлевым. М., 1953, 1955.

**Физический практикум. (Оптика).** Сост. Оганесян З.С., Карагезян А.Г. Ереван, Ереванск. ун-т, 1955. [РЖ 1957 № 4 8335 К.].

**Пособие к лабораторным работам по физике. Ч. 3. Оптика.** Сост. Максимов М.В. Челябин. ин-т механик. и электрифик. с. х., Челябинск, 1956, 78 стр., [РЖ 1957 № 3 5583 К.].

**Физический практикум.** Рук-во к практич занятиям в физич. лабораториях. Часть 3. Волновые процессы и оптика. Под ред. Г.И. Красовской. М., 1957. 74 стр.

**Лабораторные работы для студентов 3-го курса.** Ч.П. Грома, Кейстен-Ландори (Meresi feladatok a III. Eves fizikus hallgatok laboratoriumaban. П. Groma Geza, Keszthelyine Landori Sara), Fiz. Szemle, 1958, 8, № 4, 128-130. [РЖ 1959 № 4 7218].

Приводится описание работ, включенных в лабораторный практикум по оптике: измерение длины световой волны при помощи бипризмы, определение постоянной решетки, изучение поглощения света различными средами, двойного лучепреломления, эффекта Керра, вращения плоскости поляризации.

**Оптическая скамья Хартля.** Шпелда (Hartlova opticka deska. Spelda Antonin), Prirod. Vedy skole, 1959, 9, № 10, 922-929. [РЖ 1960 № 10 25197].

Дано описание следующих работ с оптической скамьей: преломление на плоской поверхности разделения сред, преломление на призме, Преломление на плоскопараллельной пластинке, полное отражение от призмы, преломление на тонкой линзе, сферическая и хроматическая абберация, преломление на толстой линзе и др.

**Физический практикум. Части 2 и 3. Электричество и магнетизм. Оптика.** Под ред проф. М. А. Большаниной. Изд. Томского ун-та. Томск. 1960 . 190 стр.

**Практикум по общей физике (Оптика).** Авксентьев С.И. Моск. обл. пед. ин-т, М., 1960.

**Физический практикум по оптике.** Пособие для студ. физ.-матем. фак. и учителей физ. средн. школы. Ч. 2. Практические работы по определению показателей преломления. Сост. Князев С.И. Уральский ун-т, Свердловск, 1960. [РЖ 1961 6A196 К].

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть III. Оптика и строение вещества.** А.В. Кортнев, Ю.В. Рублев, А.Н. Куценко. Одесса. 1961. Под ред А.Л. Рвачева.

**Физический практикум.** Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Составлено: А.Г. Белянкиным, Г.П. Мотулевич, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. М., 1962. Часть четвертая. Оптика.

**Лабораторные работы (колебания и волны, оптика, строение атома).** Методическое пособие по физическому практикуму. Часть III. В.М. Бушмакина, К.Б. Котляревская, Э.А Майер и др. 1962. Омск.

**Физический практикум.** Руководство к лаб. занятиям по физике. Часть IV. Под ред. И.Е. Иродова. МИФИ. М., 1962. 176 стр.

**Лабораторный практикум по оптике.** Алленбах М.И., Кривобок В.Т., Носкова Н.А. и др. Харьковск. Инж.-строит. ин-т. Харьков, 1962, 116 стр.

**Спектральные приборы и техника спектроскопии. Руководство к практическим занятиям. Учебн. пособие для студ. высш. учебн. заведений.** Нагибина И.М., Прокофьев В.К. М.–Л., Машгиз, 1963, 271 стр. [РЖ 1963 9 А78 К].

**Руководство к лабораторным занятиям по физике.** Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1964. 580 с. 1973. 688 с.

**Физический практикум. Часть IV. Оптика.** МИФИ. Москва, 1967. 115 стр.

**Физический практикум. Часть 3. Оптика. Методическое пособие для студентов санитарного факультета медицинского института.** Прилежаев С.С. Ленинград. 1967. 92 С.

**Физический практикум. Электричество и оптика.** Под ред. проф. В.И. Ивероновой. Составлен: А.Г. Белянкиным, Г.П. Мотулевич, Е.С. Четвериковой, И.А. Яковлевым. М., 1968.

**Физический практикум.** Уч. пособие для студ. биол. ф-та. Сост.: проф. С.И. Голуб, доц. Д. И. Полищук, доц. Заремба. Одесса. 1969. 120 с.

**Физический практикум. Часть 1. Оптика.** Мордовский гос. ун-т. Саранск. 1971. 76 с.

**Руководство к лабораторным работам по физике. Часть III.** Под ред. к.ф.-м. н. доц. А.А. Лучиной. МАИ. М. 1973.

**Физический практикум.** Уч. пособие. Под ред. Горониной К.А. и Любиной А.Г. Часть III. Горький. 1975.

**Оптика и атомная физика. Лабораторный практикум по физике.** Арбузов В.А., Захарова Е.И., Папырин А.Н. и др. Новосибирск, “Наука”, 1976, 454с. [РЖ 1976 8А121].

Книга содержит описания лабораторных работ (экспериментальных методов и практических упражнений) по количественной молекулярной и атомной спектроскопии, по применению явлений интерферометрии в оптических методах измерений (включая приборы с высокой спектральной разрешающей способностью) и по изучению оптических квантовых генераторов (лазеров). Главная особенность подбора материала и его изложения – стремление связать серию наиболее интересных и принципиальных оптических явлений с основными законами атомной физики. Лабораторные работы подготовлены сотрудниками кафедры общей физики НГУ с использованием опыта преподавания в университете специалистов академических институтов Новосибирского научного центра. Книга рассчитана на студентов физических специальностей университетов и физико-технических факультетов вузов, а также на преподавателей и инженеров-исследователей.

**Практикум по спектроскопии.** Учебное пособие для студентов физ. фак. ун-тов. Акимов А.И., Лебедева В.В., Левшин Л.В. Михайлин В.Н. и др. моск. ун-т, 1976, 320 стр. [РЖ 1976 9 A131].

Пособие содержит описание 19 лабораторных работ спец. практикума по основным разделам современной оптической спектроскопии: эмиссионного спектрального анализа, структуры атомных спектров, молекулярных колебательных спектров комбинационного рассеяния света и ИК-спектров поглощения, люминесценции и электронных спектров поглощения, оптических методов диагностики плазмы и оптических квантовых генераторов. Каждому разделу предшествует краткий обзор теоретических сведений, необходимых для выполнения соответствующих работ. Приводится перечень рекомендованной литературы. В приложении включены основные табличные данные, используемые при обработке экспериментальных результатов.

**Общий физ. практикум. Оптика.** Под ред. проф. А.Н. Матвеева и доц. Д.Ф. Киселева. Изд. моск. ун-та. 1980.

**Лабораторные занятия по физике.** Под ред. д.ф.-м.н. Л.Л. Гольдина. М. 1983. 704 с.

**Новые лабораторные работы и лекционные демонстрации по волновой оптике.** Бобров П.П., Семенов И.Т. "Отражение соврем. науч.-техн. достиж. В преподавании физ. в педвузе". Омск, 1984, 88-98. [РЖ 1985 1 A186].

Описан ряд лекционных демонстраций и лабораторных работ по волновой оптике, не требующих для своего проведения сложного оборудования: 1. Демонстрация разрешающей способности оптических систем с помощью пятны Пуассона. 2. Изучение пространственной когерентности. 3. Исследование временной когерентности. 4. Изучение различных типов поляризации на сантиметровых волнах.

**Физический практикум.** Под ред. Г.С. Кембровского. Минск. 1986. 352 стр.

**Физический практикум с обработкой результатов на микроЭВМ.** Б.П. Никифоров, М.И. Игнатъев, Г.П. Сопыряева и др. Томск, 1988.

**Физический практикум для медиков.** Часть III. Т.К. Мюйрсепп, Х.В. Тераль. Гарту. 1991. 92 с.

**Физический практикум.** Томск. 1993.

**Некоторые практические работы по оптике для 4-го года обучения.** Quelques manipulations d'optique en quatrieme. Betton S. Bull. Union phys. 1994. 88, № 763. С. 697-710. [РЖ 1994 11 A111].

Приведен материал, изложенный автором в контексте учебной программы Колледжа Луи Пастера. Описан ряд простейших лабораторных работ, охватывающих темы IV курса (источники света, диффузные объекты, цвет и цветовой синтез, прямолинейное распространение света и образование тени, работа глаза, формирование изображения собирающей линзой).

**Отражение представлений современной физики в лабораторном практикуме.** Агапова Е.М., Арсентьев И.Н., Безрядин Н.Н. и др. *Физ. образ. в вузах.* 2002. 8. № 3. 33-41. [РЖ 03.05-18A.154].

Приведено описание трех новых лабораторных работ по курсу общей физики, в которых нашли отражение процессы спонтанного и вынужденного излучения в твердотельных гетеролазерах, квантовые явления в светодиодах и эффекты памяти формы в монокристаллах сплава медь=алюминий-никель. Представлен опыт работы кафедры физики Воронежской государственной технологической академии по организации лабораторного практикума.

**Новые задачи по оптике.** Лаб. практикум. И.В. Митин, А.М. Салецкий, А.В. Червяков. М., 2003.

**Оптика. Лабораторный практикум: Учебное пособие.** Невский Ю.Е. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2003. 79 с. [РЖ 04.08-18А.179].

Содержит описания девяти лабораторных работ по волновой и квантовой оптике. Каждое из описаний включает в себя теоретическое введение, в котором подробно описывается исследуемое явление и метод измерения, описание экспериментальной установки и методические указания к выполнению работы. Работа предназначена для студентов I–II курсов РЭФ, ФТФ, ФЭН всех специальностей, всех форм обучения.

**Оптика и ядерная физика: Учебное пособие для выполнения лабораторных работ.** Максудов И.А., Матюшина Л.Н., Мишина Л.А. и др. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. 45 с. [РЖ 05.04-18А.130].

Пособие составлено с учетом программы лабораторного практикума по разделу “оптика и ядерная физика” в курсе общей физики. Рассмотрены вопросы теории тех тем, которые включены в лабораторный практикум. Приведены описания 10 лабораторных работ: определение радиуса кривизны линзы, измерение длины световой волны, исследование зависимости показателя преломления воздуха от давления, определение угла полной поляризации проверка закона Малюса, изучение дифракции Фраунгофера от двух щелей, определение поглощательной способности вольфрама, исследование спектра испускания твердых тел, снятие спектральной характеристики фотоэлемента и определение работы выхода электрона, изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации проводимости, изучение  $\alpha$ -распада. Даны инструкции по их выполнению.

**Оптика. Лабораторный практикум. Ч. I.** Богатов Н.М., Добро Л.Ф., Матвейкин М.П., Митина О.Е. 2-е доп., испр. Изд. Краснодар: Изд-во КубГУ. 2004. 140 с. [РЖ 04.11-18А.135].

Дается описание 8 лабораторных работ по курсу “Оптика”. Приведены теоретические сведения, методические указания по выполнению работ, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы. Пособие адресуется студентам физико-технических факультетов.

**Общая физика. Оптика: лабораторный практикум.** Федоров В.Л., Муштафеев А.С., Фицак В.В. СПб: Изд-во СПбГТИ, 2004. 55 с. [РЖ 04.11-18А.136].

В лабораторном практикуме представлены лабораторные работы по всем основным оптическим явлениям: интерференции, дифракции, дисперсии, поляризации и поглощению света. С помощью практикума студент имеет возможность предварительно ознакомиться с оптическими явлениями, требованиями к оформлению лабораторных работ и методикой выполнения лабораторного исследования.

ния. Лабораторный практикум предназначен для студентов всех специальностей Санкт-Петербургского горного института.

**Волновая оптика: Лабораторный практикум для студентов всех специальностей.** Бакиева Д.Р., Гусева З.Н., Дюков В.В. и др. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2004. 40 с. [РЖ 05.02-18А.118].

Методические указания включают в себя три работы из лабораторного практикума по разделу “Волновая оптика” и соответствуют учебному плану. В работах обсуждаются явления дисперсии, дифракции и поляризации света. Каждая работа содержит краткое описание теории изучаемого явления, установки, порядка выполнения работы и обработки результатов измерений, а также вопросы для самопроверки. Лабораторный практикум предназначен для студентов 1–2 курсов всех специальностей.

**Волновая оптика: Учебное пособие.** Гришина О.В. Н. Новгород. Нижегород. гос. техн. ун-т. 2005. 103 с. [РЖ 07.11-18А.118].

Приведено описание трех лабораторных работ по интерференции, дифракции и поляризации света. Последовательность выполнения работ соответствует построению курса, рекомендованного рабочей программой по общей физике для технических вузов. Приводятся углубленные теоретические сведения, которые, как правило, не рассматриваются в рамках лекционного курса.

**Оптика: Лабораторный практикум.** Папорков В.А., Рыбникова Е.В. Ярославль. ЯРГУ. 2006. 123 с. [РЖ 07.08-18А.133].

Лабораторный практикум содержит краткую теорию исследуемых физических явлений, методику измерений и обработки результатов, перечень контрольных вопросов и заданий по каждой лабораторной работе.

**Общая физика: руководство по лабораторному практикуму.** Учебное пособие. Крынецкий И.Б., Струков Б.А. М.: Инфра-М. 2008. 599 с. [РЖ 09.11-18А.95].

Пособие содержит подробное описание 66 лабораторных работ по всем основным разделам курса общей физики; механика, молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика, строение вещества, в том числе атомная физика и физика твердого тела.

**Инструментальный практикум по медицинской физике для медицинских вузов.** Соколов С.Ю., Читяков А.В., Телешев В.А. и др. *Мед. физ.* 2010. № 3. 96-102. [РЖ 11.02-18А.100].

С целью повышения качества естественнонаучного, в частности, физического образования студентов медицинских вузов был разработан инновационный инструментальный лабораторный практикум по медицинской физике. Практикум содержит 11 работ, каждая из которых базируется на соответствующем методе диагностики физиологических функций человека. Инструментальная составляющая практикума в большей мере реализована на базе аппаратных разработок отечественного производителя медицинского оборудования Тритон Электроник С (г. Екатеринбург). В практикуме реализованы инновационные принципы преподавания естественнонаучных знаний в медицинских вузах, а также предусмотрена возможность решения задач социальной медицины. Разработка

может быть полезной при подготовке специалистов в классических университетах и технических институтах.

**Лабораторный практикум по общей физике. Учебное пособие для вузов.** Под ред. А.Н. Варавы. М., Изд. дом МЭИ. 2010 г. 357 с.

В основе лабораторного практикума по курсу общей физики лежат как классические лабораторные работы, так и оригинальные, разработанные авторами. В практикуме использовано лабораторное оборудование, ранее выпускавшееся на специализированных предприятиях, а также установки, спроектированные и изготовленные на кафедре общей физики и ядерного синтеза МЭИ (ТУ). Материал, представленный в практикуме, подобран по принципу, сочетающему тематическую фронтальность, индивидуальный метод обучения и элементы научного исследования. Для студентов высших учебных заведений, прежде всего энергетического профиля, в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

**В.И. Козлов**

**АНТОЛОГИЯ  
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА**  
Часть 4  
Оптика

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Объем 11,25 п.л. Тираж 100 экз.  
Заказ \_\_\_\_\_

Физический факультет Московского государственного  
университета имени М.В. Ломоносова

Отпечатано в отделе оперативной печати  
Физического факультета МГУ