



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК ВНУТРИ	
И. Н. Данилов	ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА	3

Старшая школа

А. Г. Некрасов	ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА КАРНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ <i>L-MICRO</i>	7
Е. И. Вараксина А. А. Попова	ДИДАКТИЧЕСКИЙ РЕСУРС УЧЕНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЛИПСА»	13

Высшая школа

С. А. Герасимов	ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЗАМКНУТЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ИЛИ КАК ИЗМЕРИТЬ СИЛУ САМОДЕЙСТВИЯ?	22
В. В. Майер	ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ: КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА	30

Компьютер в эксперименте

С. В. Марков ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ
AD9833 ДЛЯ ДЕМОСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ
С АДРЕСНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛЕНТАМИ 41

Е. И. Вараксина ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС
О. Л. Соколова ПО ФИЗИКЕ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ ПО ИНФОРМАТИКЕ .. 52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 67

ABSTRACTS 68

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акагов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГППИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов,
Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГППИ». Телефон: (341 41) 5-32-29.

E-mail: kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко».

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77-69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 12.05.21. Подписано в печать 15.06.21. Дата выхода в свет: 28.06.21.
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 146. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант знаменитого опыта Г. Герца по поляризации электромагнитных волн (Mayer V V and Varaksina E I 2021 Modern demonstration experiments for H Hertz's experimental study *Eur. J. Phys.* **42** 025201).

В. В. Майер

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ: КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА

В конспективной форме представлено содержание лекции по дисциплине «Общая и экспериментальная физика. Оптика» бакалавриата педагогического вуза.

Ключевые слова: оптические приборы, визуальные наблюдения, лупа, микроскоп, телескоп, дифракционная природа изображения, разрешающая способность.

Внезапно произошедшая в 2020 году цифровизация образования разделила учебный процесс на две части: *контактную* и *дистанционную*. Довольно быстро выяснилось, что дистанционное обучение малоэффективно. Но и чисто контактное обучение в современных условиях резкого сокращения времени на изучение физики дает не слишком хорошие результаты.

Дело в том, что всегда нормальный учебный процесс носил контактно–дистанционный характер, просто вторая его часть называлась *самостоятельной работой* обучающегося. Неумение и нежелание большинства студентов самостоятельно овладевать знаниями, то есть учиться без понуканий со стороны преподавателя — основная причина грустных результатов обучения физике будущего учителя.

Традиционные лекции вносят свою лепту в этот процесс: преподаватель не в состоянии так изложить учебный материал, чтобы студент в течение занятия успел сделать более или менее приличный конспект. Поэтому по собственноручно сделанным на лекции записям студент не в состоянии разобраться в физической сущности изучаемых явлений.

Один из положительных эффектов дистанционного обучения состоит в том, что преподаватели научились выкладывать в Интернет конспекты еще только предстоящих лекций. Это открыло новые перспективы: впервые студент получил возможность заранее гото-

виться к лекционному занятию, сделав конспект лекции до того, как она будет прочитана.

При этом сразу решается несколько важных задач: 1) конспектируя содержание будущей лекции, студент знакомится с основными идеями предстоящего лекционного занятия; 2) работая дома, студент при желании может качественно оформить собственный конспект с четко выраженной структурой, аккуратными и правильными физическими схемами и рисунками; 3) если студент не знает, как правильно воспроизвести сложный физический рисунок, или вывести формулу, в конспекте он оставляет места, которые заполняет на лекционном занятии; 4) готовясь к занятию, студент выделяет непонятое в учебном материале и формулирует вопросы, которые необходимо задать преподавателю; 5) на лекционном занятии студент активно работает, дополняя конспект новыми сведениями, уточняя формулировки законов, проверяя выводы формул, исправляя рисунки, задавая вопросы, обсуждая услышанное и увиденное.

Перейдем теперь к собственно конспекту одной из лекций по дисциплине «Общая и экспериментальная физика. Оптика» бакалавриата педагогического вуза. Разумеется, студенту нет никакой необходимости дословно переписывать предоставленный ему учебный материал.

1. Геометрическая оптика как предельный случай волновой

Непосредственные наблюдения показывают, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Это объясняется малостью длины световой волны по сравнению с расстояниями, проходящими пучком, и размерами отверстий, ограничивающих пучок.

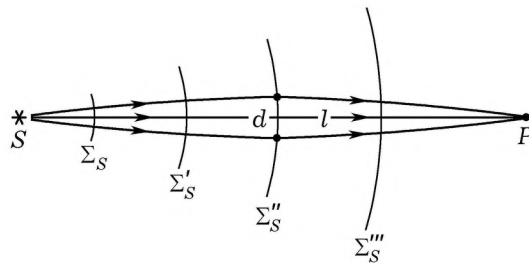


Рис. 1

Если точка наблюдения P находится на расстоянии l от точечного источника света S , то радиус первой зоны Френеля для любой

волновой поверхности $\Sigma_S, \Sigma'_S, \dots$ (рис. 1) равен:

$$r_1 = \sqrt{\frac{ab\lambda}{a+b}} = \sqrt{\frac{a(l-a)\lambda}{l}},$$

где a и $b = l - a$ — расстояния от волновой поверхности до источника S и точки P . Очевидно, максимум функции $y = al - a^2$, от которой зависит этот радиус, достигается при $a = l/2$.

Так как интенсивность света в точке P определяется половиной действия в этой точке первой зоны Френеля, то можно считать, что свет от источника S до P распространяется в узком канале переменного диаметра, наибольшее значение которого $d = 2r_1 = \sqrt{l\lambda}$. Пока размеры отверстия в непрозрачном экране превышают значение d , ситуация не меняется, и свет распространяется прямолинейно.

Если характерный размер препятствия d удовлетворяет условию

$$d \gg \sqrt{l\lambda}, \quad (1)$$

то можно пренебречь волновой природой света и пользоваться понятием светового луча. Если

$$d < \sqrt{l\lambda}, \quad (2)$$

то необходимо учитывать волновую природу света и соответствующие дифракционные явления.

Из изложенного видно, что *геометрическая оптика является предельным случаем волновой при $\lambda \rightarrow 0$.*

Реальные линзы и зеркала имеют поперечные размеры d , удовлетворяющие критерию (1), поэтому элементарная теория оптических приборов относится к *геометрической оптике*. Однако оптические изображения, вообще говоря, представляют собой дифракционные картины Фраунгофера, поэтому качество изображений определяется волновой природой света.

2. Оптические приборы, вооружающие глаз

К оптическим приборам, предназначенным для *визуальных* наблюдений, относятся в основном лупа, микроскоп, телескоп, а также очки, монокль, бинокль, телескопическая лупа, перископ, биноккулярная лупа и т. д.

Для понимания принципа действия оптических приборов, обеспечивающих визуальные наблюдения предметов, нужно знать устройство глаза и владеть понятиями увеличения, аккомодации и расстояния наилучшего зрения.

Увеличение оптического прибора, вооружающего глаз — это отношение линейного размера изображения предмета на сетчатке глаза, полученного с помощью оптического прибора, к линейным

размерам изображения на сетчатке, полученного без оптического прибора.

При наблюдении окружающих предметов глаз автоматически (без сознательных усилий) настраивается на резкость; этот процесс называется *аккомодацией*. Если перед глазом нет никаких предметов (темно), то глаз не может ни на что настроиться и аккомодируется на бесконечность.

Целесообразно считать, что при наблюдениях через любой оптический прибор глаз всегда аккомодирован на бесконечность.

Наименьшее расстояние, при котором глаз видит предметы резко и не напрягается, называется *расстоянием наилучшего зрения*. Для нормального среднего человеческого глаза расстояние наилучшего зрения примерно равно 250 мм.

3. Элементарная теория лупы

При непосредственных наблюдениях глаз аккомодирован на предмет, расположенный на расстоянии наилучшего зрения $L_{нз}$ (рис. 2). Так как в этом случае на сетчатке получается резкое изображение, то для построения этого изображения достаточно взять один луч, идущий через *оптический центр* глаза. В элементарной геометрической теории оптических приборов используются только *параксиальные лучи*, которые идут под малыми углами к оптической оси *центрированной системы*.

Величина

$$\varphi = \varphi' = \frac{l}{L_{нз}} \quad (3)$$

называется *углом зрения*. Чем больше угол зрения, тем больше размеры изображения на сетчатке глаза.

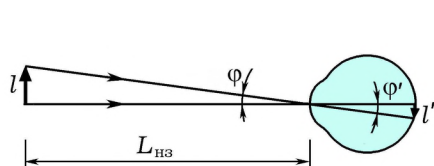


Рис. 2

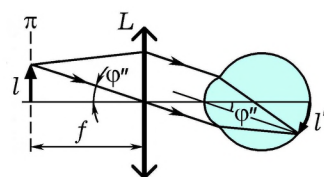


Рис. 3

Лупа — плосковыпуклая или двояковыпуклая линза с фокусным расстоянием от 10 до 100 мм. Лупу располагают вплотную к глазу.

Так как при наблюдениях в лупу глаз аккомодирован на бесконечность, на его сетчатке собираются в точки только входящие в

зрачок параллельные пучки света (рис. 3). Из лупы выходят параллельные пучки, если их источники находятся в *передней фокальной плоскости* лупы. Следовательно, предмет будет виден резко, если он лежит в передней фокальной плоскости лупы.

Увеличение лупы по определению

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{l''}{l'} = \frac{\varphi''}{\varphi'}. \quad (4)$$

Так как $\varphi'' = l/f$ и $\varphi' = l/L_{\text{нз}}$, то

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{L_{\text{нз}}}{f}. \quad (5)$$

Следовательно, *увеличение лупы равно отношению расстояния наилучшего зрения к фокусному расстоянию лупы.*

4. Увеличение микроскопа

Современные лупы дают увеличения примерно до 25 раз. Чтобы обеспечить визуальные наблюдения с увеличениями до примерно 2500 раз, используют оптические микроскопы.

Микроскоп — оптический прибор, предназначенный для получения увеличенных изображений мелких предметов. Он состоит из двух линзовых систем: *объективной* и *окулярной*. При элементарном рассмотрении каждую из этих систем можно заменить одной собирающей линзой (рис. 4).

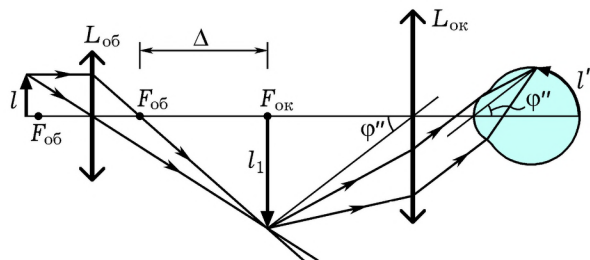


Рис. 4

Непосредственные наблюдения производят, располагая предмет на расстоянии наилучшего зрения $L_{\text{нз}}$ от глаза. При этом угол зрения $\varphi' = \varphi = l/L_{\text{нз}}$ (3). Очевидно $l/f_{об} = l_1/\Delta$, следовательно, $l_1 = l\Delta/f_{об}$, где Δ — *длина тубуса* микроскопа. Поэтому угол зрения через микроскоп

$$\varphi'' = \frac{l_1}{f_{ок}} = \frac{l\Delta}{f_{об}f_{ок}}.$$

Увеличение микроскопа по определению (п. 2): $\Gamma_M = l''/l' = \varphi''/\varphi'$, следовательно:

$$\Gamma_M = \frac{L_{\text{нз}} \Delta}{f_{\text{об}} f_{\text{ок}}}. \quad (6)$$

Таким образом, увеличение микроскопа тем больше, чем больше длина его тубуса и меньше фокусные расстояния объектива и окуляра.

5. Увеличение телескопа

Для визуальных наблюдений удаленных предметов используют телескопические системы.

Телескоп (зрительная труба) — оптический прибор, предназначенный для получения увеличенных изображений удаленных предметов (рис. 5).

Удаленные от наблюдателя предметы принято характеризовать не линейными, а *угловыми размерами*. По определению (п. 2) увеличение телескопа $\Gamma_T = l''/l' = \varphi''/\varphi'$. Так как $\varphi'' = l_1/f_{\text{ок}}$ и $\varphi' = \varphi = l_1/f_{\text{об}}$, то

$$\Gamma_T = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}. \quad (7)$$

Таким образом, увеличение телескопа тем больше, чем больше фокусное расстояние его объектива и меньше фокусное расстояние окуляра.

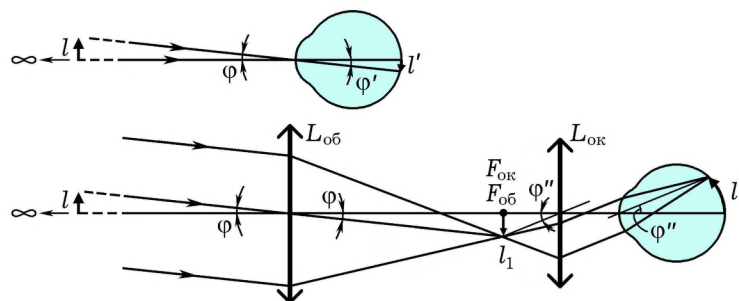


Рис. 5

Формула (7) получена в предположении, что предмет находится в бесконечности. На самом деле предмет расположен на большом, но конечном расстоянии от объектива телескопа. Поэтому объектив дает изображение предмета за своей задней фокальной плоскостью. Чтобы на сетчатке глаза получилось резкое изображение, передняя фокальная плоскость окуляра должна совпадать

не с задней фокальной плоскостью объектива, а с действительным изображением предмета, созданным объективом.

6. Дифракционная природа изображения

Разрешающая способность оптического прибора — его способность давать раздельное изображение двух несовпадающих точек предмета.

Идеальная линза имеет бесконечно большие размеры и обладает неограниченной разрешающей способностью, так как всякую точку предмета изображает в виде точки.

Любая *реальная линза* имеет конечные размеры: как правило, она ограничена круглым отверстием своей диафрагмы или оправы. В волновой оптике *моделью реальной линзы* является идеальная линза, ограниченная непрозрачным экраном с круглым отверстием, центр которого совпадает с оптическим центром этой линзы.

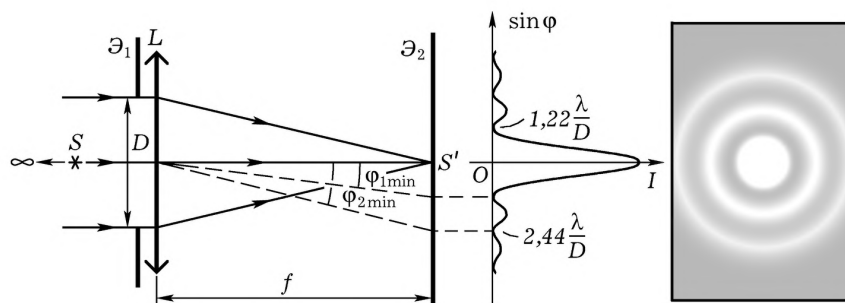


Рис. 6

Падающий на линзу свет *дифрагирует* на отверстии *диафрагмы линзы* (рис. 6). Поэтому изображение точечного источника света, созданное моделью реальной линзы, есть дифракционная картина Фраунгофера, представляющая собой светлое пятно конечных размеров, окруженное слабыми светлыми кольцами. В центральном светлом пятне сосредоточено 84% энергии падающего пучка; в первом светлом кольце — 1,74%, во втором — 0,41%.

При дифракции Фраунгофера на круглом отверстии диаметром D угловые радиусы темных колец $\varphi_{k,\min}$ определяются приближенным выражением:

$$\sin \varphi_{k,\min} = \frac{1,22 + (k - 1)}{D} \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

7. Критерий Рэля разрешающей способности

Для оптических приборов, вооружающих глаз, Рэлей предложил следующий критерий разрешающей способности: *две светящиеся точки предмета находятся на пределе разрешения, если максимум интенсивности дифракционной картины одной точки совпадает с первым минимумом другой.*

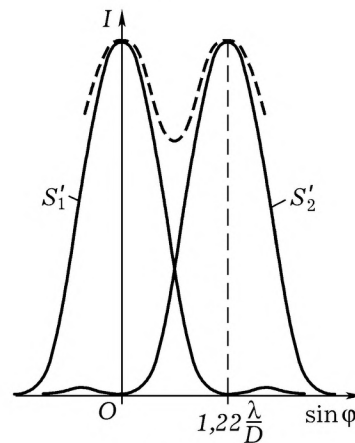


Рис. 7

На рис. 7 приведены графики распределения интенсивности света в двух изображениях S'_1 и S'_2 точечных источников S_1 и S_2 , находящихся на пределе разрешения. Угловая координата первого минимума указана с коэффициентом 1,22, соответствующим круглому отверстию. Пунктиром показана суммарная интенсивность света. В провале интенсивность составляет 74% от максимального значения. Нормальный средний глаз без труда замечает провал в результирующей кривой глубиной всего в 15%. Поэтому можно считать, что точки предмета не разрешены оптическим прибором, если угловое расстояние между центрами их изображений не превышает λ/D . Это позволяет в учебной теории вместо круглого отверстия рассматривать прямую щель.

8. Разрешающая способность телескопа

Пусть объективом телескопа является собирающая линза (рис. 8). Из (8) направление на первый минимум ($k = 0$) дифракционной картины определяется условием: $D \sin \varphi_1 = 1,22\lambda$. Отсюда при малых углах $\varphi_1 = 1,22\lambda/D$.

Если угловое расстояние ψ между точками предмета $\psi > \varphi_1$, то согласно критерию Рэля эти точки разрешены объективом телескопа. Если $\psi < \varphi_1$, то точки предмета не разрешены. *Наименьшее*

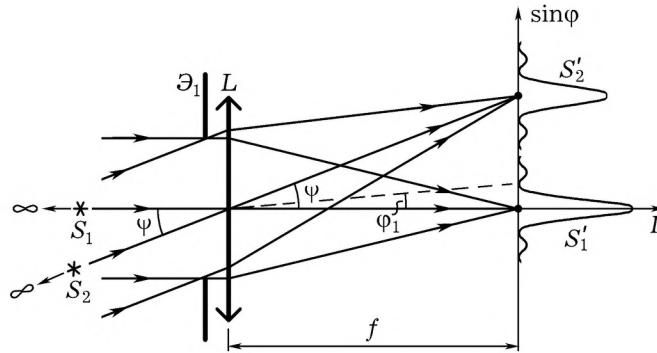


Рис. 8

угловое расстояние, разрешаемое объективом телескопа:

$$\psi_{\min} = \varphi_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (9)$$

Разрешающая способность объектива телескопа:

$$R = \frac{1}{\psi_{\min}} = \frac{D}{1,22\lambda}. \quad (10)$$

9. Разрешающая способность микроскопа

Объективом микроскопа является короткофокусная собирающая линза. Наблюдаемый предмет расположен непосредственно перед передней фокальной плоскостью объектива (рис. 9).

Согласно критерию Рэля точки S_1 и S_2 предмета находятся на пределе разрешения, если в изображении S'_1 первой точки расположен первый минимум изображения S'_2 второй точки или, что то же самое, в S'_2 находится первый минимум дифракционной картины от S_1 .

Для простоты будем считать отверстие диафрагмы не круглым, а щелевым. Так как в S'_1 должен находиться первый минимум от S_2 , то в отверстии для S_2 укладывается две зоны Френеля. Это означает, что наибольшая разность хода Δ между всеми волнами, идущими от S_2 в изображение S'_1 , равна $2\lambda/2$. Но разность хода достаточно вычислить только до точек волновой поверхности Σ_{S_1} . Дело в том, что идеальная линза преобразует сферическую поверхность равной фазы Σ_{S_1} в такую же поверхность Σ'_{S_1} для изображения S'_1 .

Поэтому из геометрических соображений: $\Delta = S_2B - S_2A$, $CB = S_1B$, $\angle S_2CS_1 \approx \pi/2$. Отсюда

$$S_2B = S_1B + l \sin u, \quad S_2A = S_1A - l \sin u.$$

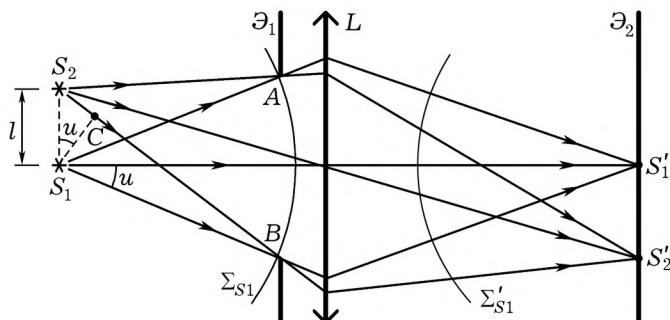


Рис. 9

Так как $S_1A = S_1B$, то $\Delta = S_2B - S_2A = 2l \sin u = \lambda$. Отсюда наименьшее расстояние, разрешаемое объективом микроскопа:

$$l_{\min} = \frac{\lambda}{2 \sin u}. \quad (11)$$

Угол u между лучами, идущими от точки предмета в центр и край объектива, называется *апертурным*.

Нередко исследуемый предмет и объектив микроскопа помещают в жидкость с показателем преломления n (*иммерсионный объектив*). В этом случае длина световой волны уменьшается, а разрешающая способность объектива увеличивается:

$$l_{\min} = \frac{\lambda}{2n \sin u}. \quad (12)$$

где $A = n \sin u$ — *числовая апертура* объектива.

Разрешающая способность объектива микроскопа

$$R = \frac{1}{l_{\min}} = \frac{2n \sin u}{\lambda}. \quad (13)$$

10. Полезное увеличение оптического прибора

Полезным называется такое увеличение оптического прибора, вооружающего глаз, при котором все точки, разрешенные объективом прибора, будут разрешены и глазом.

Полезное увеличение оптических приборов определяется разрешающей способностью их объективов, а она ограничена волновой природой света. Понятно, что если две точки объекта наблюдения не разрешены объективом оптического прибора, то никакое увеличение полученного изображения не позволит их разрешить.

Оптическая система и сетчатка глаза человека в процессе эволюции достигли предела разрешающей способности, определяемого

волновой природой света. Наименьшие угловые расстояния, разрешаемые зрачком глаза диаметром d и объективом телескопа диаметром D согласно формуле (9) приближенно равны: $\varphi_{\Gamma} = \lambda/d$ и $\varphi_{\tau} = \lambda/D$. В таком случае полезным будет увеличение телескопа:

$$\Gamma_{\text{п}} = \frac{\varphi_{\Gamma}}{\varphi_{\tau}} = \frac{D}{d}. \quad (14)$$

Если учесть, что диаметр параболического зеркала самого большого отечественного телескопа $D = 6$ м, а диаметр зрачка глаза можно оценить величиной $d = 4$ мм, то даже теоретически полезное увеличение телескопа не превышает 1500 раз.

Разрешающая способность оптического микроскопа также ограничена волновой природой света: если точки предмета находятся на расстоянии, меньшем $\lambda/2$, то они в принципе не могут быть разрешены никаким объективом.

11. Задания для увлеченных физикой

1. Нетрудно показать, что чрезмерно большое увеличение оптических приборов бесполезно и даже вредно. Попробуйте сделать это самостоятельно, используя любую доступную информацию.

2. Сейчас в окуляр даже в любительского телескопа никто не смотрит собственным глазом. Выясните, что собой представляет современная цифровая фотокамера и в какой мере к ней применима классическая теория разрешающей способности оптических приборов.

3. Оцените полезное увеличение оптического микроскопа. На каких физических принципах построены современные микроскопы, полезное увеличение которых составляет сотни тысяч и миллионы раз?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — М.: Физматлит, 2006. — 792 с.
3. Гершензон Е. М., Малов Н. Н., Мансуров А. Н. Оптика и атомная физика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2000. — 408 с.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 02.05.21.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Danilov I. N. Electric current inside a galvanic cell. A simple demonstration experiment is described, showing that a current flows inside a loaded galvanic cell in the direction from the negative pole of the source to the positive one. A homemade magnetic needle made of neodymium magnets has been used as a current indicator. *Keywords:* current source, electromotive force, electric current in closed circuit.

Nekrasov A. G. Study of the Carnot cycle using L–micro. The method of conducting a lesson dedicated to studying the Carnot cycle is proposed. The lesson uses the L–micro digital laboratory. *Keywords:* lesson, educational research, Carnot cycle, L–micro laboratory.

Varaksina E. I., Popova A. A. Didactic resource of students' project «Optical properties of ellipse». The necessity of organizing project activity of an interdisciplinary nature when studying mathematics is justified. Simple tasks of one of the possible projects devoted to the experimental study of the optical properties of ellipse are proposed. *Keywords:* mathematics, physics, educational project, didactic resource, ellipse.

Gerashimov S. A. Experiments with unclosed electric current, or how to measure the self–force? The self-force by means of which an unclosed system acts on itself can be found and measured in a usual laboratory. For a system consisting of thin magnetized disk and unclosed conductor, the obtained value of the self-force is several orders of magnitude greater than known value. *Keywords:* magnetic field, electric current, weight, magnetization, unclosed conductor.

Mayer V. V. Elements of the theory of optical devices: lecture notes for undergraduate students. The content of the lecture on the discipline «General and experimental physics. Optics» is presented in a summary form. The lecture is developed for bachelor course of pedagogical university. *Keywords:* optical devices, visual observations, magnifying glass, microscope, telescope, diffraction nature of the image, resolution.

Markov S. V. Infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer for demonstration experiments with addressable LED strips. The paper presents an affordable design of an infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer. The generator is designed for the educational study of electrical vibrations in elements included in the AC circuit, the phenomenon of electro–magnetic induction and self-induction together with address ring LED strips. *Keywords:* AD9833 digital frequency synthesizer, infra–low–frequency alternator, electrical oscillations in AC circuits, electromagnetic induction, self–induction, microcontroller board ArduinoUNO, address LED strip.

Varaksina E. I., Sokolova O. L. Physics digital educational resource in a computer science educational project. The content of interdisciplinary students' project in computer science is proposed. The result of the productive activity of teachers and students is a digital educational resource designed for physics lessons on the introduction and formation of the concept of harmonic wave. *Keywords:* computer science, physics, educational project, digital educational resource, harmonic wave, Lazarus.