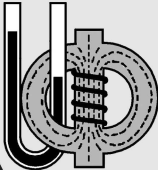


ISSN 2307-5457

*Primum
inter pares*

Материалы XXX Всероссийской
научно-практической конференции

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

Январь - март 2025 №1

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Хроника

XXX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ. СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ»	3
--	---

Основная школа

В. В. Майер	ПРЕПАРАТЫ ИЗ ЛИКОПОДИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО	
Е. И. Вараксина	НАБЛЮДЕНИЯ И ДЕМОСТРАЦИИ ДИФРАКЦИИ	
И. А. Васильев	СВЕТА В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ	15
Е. А. Широбокова		

Старшая школа

С. И. Официн	МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ	
О. В. Кирьяков	С КАТУШКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ	28

И. Ю. Зворыкин	УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ	
М. Р. Каткова	ВЫСОКООМНОЙ ПРИСТАВКИ К ВОЛЬТМЕТРУ	34

Высшая школа

Е. И. Вараксина	УЧЕБНЫЕ ОПЫТЫ ПО ДИФфуЗИИ НА УРОЧНЫХ	
В. В. Майер	И ВНЕУРОЧНЫХ ЗАНЯТИЯХ ПО ХИМИИ И ФИЗИКЕ	39
Л. В. Шиляева		

И. В. Гребенев	ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ....	56
П. В. Казарин		
Е. В. Чупрунов		

Исследования

А. П. Усольцев	РАЗВИТИЕ МЫШЛЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ СРЕДСТВАМИ	
Т. Н. Шамало	УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	66
Б. М. Игошев		

От редакции

АКТИВНЫЙ ДЕЯТЕЛЬ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ (в память о Геннадии Григорьевиче Никифорове)	74
---	----

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	76
----------------------	----

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

С. В. Барышников	д.ф.-м.н., профессор, Благовещенск
И. В. Гребенев	д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева	д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
А. А. Шаповалов	д.п.н., профессор, Барнаул

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет 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.

Подписной индекс: 79876.

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

Сдано в набор 03.03.25. Подписано в печать 27.03.25.

Дата выхода в свет: 31.03.25.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,75.

Заказ 169. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Демонстрация натурной модели сердца доцентом А. В. Долженко на XXX Всероссийской научно-практической конференции «Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения».

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина
И. А. Васильев, Е. А. Широбокова

ПРЕПАРАТЫ ИЗ ЛИКОПОДИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И ДЕМОНСТРАЦИИ ДИФРАКЦИИ СВЕТА В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ

В статье представлен дидактический ресурс проектной деятельности учащихся основной школы по изготовлению препаратов из ликоподия для визуального наблюдения и демонстрации дифракции света на школьных уроках. Описаны учебные опыты, выполнены количественные оценки размеров частиц ликоподия и проведено сравнение результатов, полученных разными методами. Педагогическим экспериментом подтверждена возможность и целесообразность использования дидактического ресурса в основной школе.

Ключевые слова: проектная деятельность, дидактический ресурс, дифракция света, препарат из ликоподия, самостоятельное изготовление.

V. V. Mayer, E. I. Varaksina
I. A. Vasiliev, E. A. Shirobokova

LYCOPODIUM PREPARATIONS FOR VISUAL OBSERVATION AND DEMONSTRATION OF LIGHT DIFFRACTION IN PRIMARY SCHOOLS

The article presents a didactic resource for the project activity of secondary school students in the production of lycopodium preparations for visual observation and demonstration of light diffraction in school lessons. The experimental results are described, quantitative estimates of lycopodium particle sizes are performed, and the results obtained by different methods are compared. A pedagogical experiment has confirmed the possibility and expediency of using a didactic resource in a secondary school.

Ключевые слова: project activity, didactic resource, light diffraction, lycopodium preparation, self-production.

DOI: 10.62957/2307-5457-2025-1-15-27

1. Постановка проблемы

В школьном учебнике «Физика–9» интерференция и дифракция света рассматриваются совместно в одном многословном параграфе, в котором, в частности дано определение: *явление огибания волнами препятствий называют дифракцией* [1, с. 228–234].

В учебнике «Физика–11» явлению дифракции света посвящен отдельный параграф, а практическое применение этого явления рассматривается лишь на примере дифракционной решетки [2, с. 213–220]. Но этот пример малоубедителен, так как он бесконечно далек от интересов многих современных школьников. Положение не спасает имеющееся в конце учебника описание лабораторной работы «Оценка информационной емкости компакт-диска (CD)» хотя бы потому, что такие диски вышли из моды и стали малодоступны. Кроме того, эта лабораторная работа выглядит столь же надуманной, как и обычные физические задачи, поскольку является плохим вариантом учебного исследования дифракции света на решетке, рассмотренного страницей ранее [2, с. 419–421]. Таким образом, выпускники средней школы начинают изучать физику в высшей школе, не имея представления о сущности, красоте и практической значимости дифракции света.

Мы предположили, что фундаментальное физическое понятие дифракции света может и должно быть введено еще в основной школе. Для этого нужно из многочисленных дифракционных явлений отобрать такое, которое дает яркую и впечатляющую дифракционную картину, имеет доступное обучающимся основной школы объяснение, позволяет школьникам самостоятельно воссоздать его, выполнить количественный эксперимент и убедиться в возможности практического применения этого явления.

Проведенный анализ показал, что перечисленным требованиям полностью удовлетворяет явление дифракции света *на множестве беспорядочно расположенных в плоскости одинаковых отверстий или непрозрачных шариков*. Демонстрационный опыт по дифракции света на запыленной ликопидом стеклянной пластинке рассмотрен, например, Р. В. Полем [3, с. 149–151]. Визуальные наблюдения дифракции света на таком препарате хорошо известны и многократно описаны [4–7]. Однако приемы изготовления препаратов на основе стекла делают их малодоступными для фронтального эксперимента в классе, неудобными для применения и хранения.

Проблема заключается только в разработке *доступной и безопасной* технологии изготовления в условиях школьного кабинета физики *дешевых и надежных* препаратов из ликопидия, обеспечивающих *одновременно всему классу* введение понятия дифракции света на основе учебного эксперимента. Решению этой проблемы и посвящена настоящая работа.

Однако главное, что мы хотим показать в этой статье, состоит в следующем: новая методика изучения физического явления в школе нередко появляется не только в процессе глубоких размышлений в сфере методологии дидактики физики, но и как *результат применения в обучении новой технологии изготовления физического прибора*, доступной для воспроизведения в условиях школы.

2. Изготовление препаратов из лycopодия для опытов по дифракции света

В этой части статьи приведено описание процесса изготовления препаратов из лycopодия почти дословно в том виде, в каком оно дается для изучения школьникам, приступающим к выполнению исследовательского проекта. Начиная работу, исполнители проекта должны помнить, что изготовление препаратов требует сосредоточенности, аккуратности и точности, так как нужно, чтобы все изделия получились надежными и одинаковыми.

2.1. Материалы и инструменты

- *Лycopодий* (споры папоротника плауна) — сыпучий желтый порошок, очень мелкий и бархатистый на ощупь. Необходим свежий, сухой и качественный лycopодий. Приобрести его можно в аптеке или интернет-магазине, а также просто собрать в лесу [7].
- *Пленка ПВХ* толщиной 0,15 мм, прозрачная, с глянцевой фактурой, термопластичная, температура плавления 150–220 °С. Известна как пластик PVC 150 мкм (на русском: ПВХ — поливинилхлорид). Продается в качестве обложки для переплета документов формата А4.
- *Пластик БСП* (бумажно-слоистый пластик) размером примерно 21×29 см (формат А4) с ровной, прочной и термостойкой поверхностью, на которой можно резать и плавить полимерную пленку ПВХ.
- *Линейка стальная* длиной 30 см с четкими миллиметровыми делениями.
- *Маркер черный*, оставляющий на пленке тонкий смываемый водой след.
- *Нож канцелярский* с острым прочным лезвием, предназначенный для резки картона.
- *Паяльник электрический*, безопасный, на напряжение не более 36 В, с чистым жалом, применяющийся для сборки электронных схем обучающимися.
- *Масло прозрачное* (техническое, растительное, касторовое или другое), предназначенное для закрепления лycopодия на пленке ПВХ.
- *Салфетки* из тонкой мягкой ткани или из медицинского бинта.

2.2. Изготовление из пленки прозрачных квадратов

Из прозрачной и чистой полимерной пленки ПВХ вырежьте прямоугольник размером примерно 14,5 × 21 см (формат А5). Положите его на лист пластика из БСП и, взяв маркер и линейку, аккуратно нанесите на пленку разметочную сетку из квадратов размером 4 × 4 см.

Используя линейку в качестве направляющей, осторожно, но уверенно проведите ножом точно по одной из крайних разметочных линий. Давите на лезвие ножа умеренно, но достаточно сильно, чтобы прорезать пленку ПВХ насквозь (рис. 1).

Если пленка ПВХ толстая, может потребоваться несколько проходов лезвием от начала до конца одной линии. Повторите этот процесс для остальных разметочных линий, параллельных первой, пока не нарежете все полосы. После этого тем же способом разрежьте получившиеся полосы на одинаковые квадраты размером 4 × 4 см. Осмотрите каждый квадрат из пленки ПВХ и протрите их поверхности чистой салфеткой, удаляя пыль и отпечатки пальцев. После этого брать пленочные квадраты руками следует только за их ребра.

2.3. Нанесение лycopодия на пленку

Фотография необходимого для изготовления препарата оборудования приведена на рис. 2: 1 — касторовое масло; 2 — бинт для салфеток; 3 — лycopодий;

4 — подготовленные квадраты из полимерной ПВХ-пленки; 5 — шариковая ручка; 6 — паяльник.

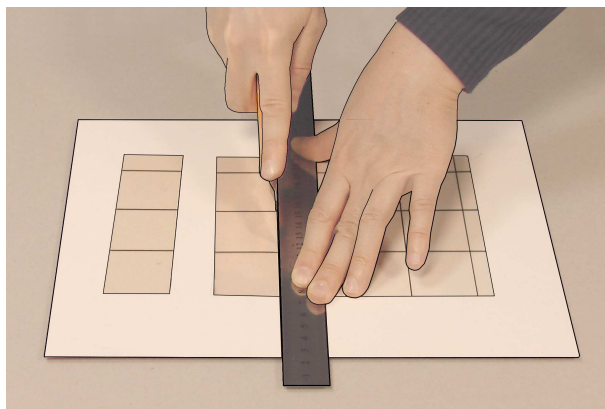


Рис. 1. Вырезание прозрачных квадратов из полимерной пленки

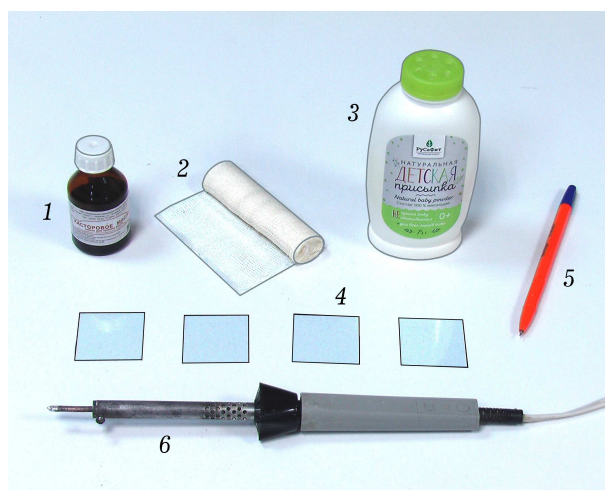


Рис. 2. Основные приборы и материалы, необходимые для изготовления препаратов из ликоподия

Смочите салфетку несколькими каплями масла и распределите масло по поверхности салфетки так, чтобы оно равномерно пропитало ее. Салфетка должна стать слегка влажной от масла, но не мокрой. Легкими движениями равномерно покройте маслом одну поверхность квадрата из пленки ПВХ (рис. 3). Затем протрите покрытую маслом поверхность сухой чистой салфеткой так, чтобы на ней не осталось видимых глазом следов масла.

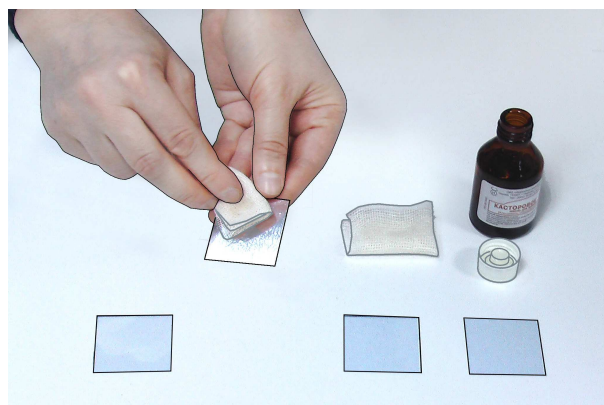


Рис. 3. Нанесение на поверхность прозрачного квадрата тонкого слоя масла

Теперь, когда на поверхности квадрата находится тончайший слой масла, аккуратно посыпьте ее ликоподием. Удобно набрать порцию ликоподия загнутым из бумажной полоски уголком и, постукивая по нему, равномерно распределить ликоподий по слою масла. При необходимости эту процедуру выполните несколько раз.

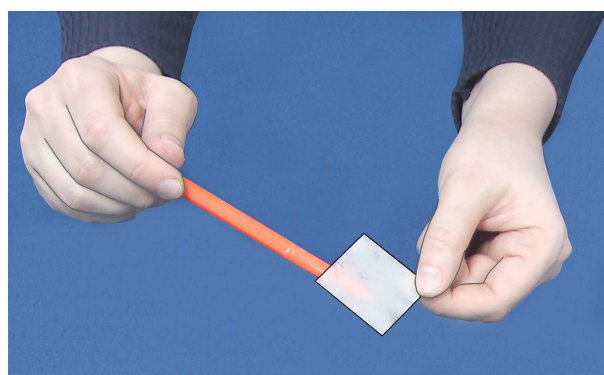


Рис. 4. Удаление излишка ликоподия с поверхности квадрата из полимерной пленки

Излишек ликоподия стряхните на лист бумаги, расположив над ним квадрат из полимерной пленки ПВХ наклонно и сзади постукивая по нему подходящей палочкой, например, корпусом шариковой ручки (рис. 4). Необходимо удалить весь лишний ликоподий так, чтобы полимерная пленка оказалась запыленной ликоподием в один слой. На просвет такой квадрат выглядит слабо матовым.

2.4. Герметизация препарата

Нагрейте жало паяльника до температуры плавления ПВХ-пленки, которая лежит где-то в пределах 150–220 °С. Оценить температуру жала можно с

помощью штатной термодпары мультиметра типа ДТ9208А. Но проще воспользоваться тем, что температура плавления популярного среди радиолюбителей проволочного оловянно-свинцового припоя ПОС 61 равна 183°C .

Итак, дайте паяльнику нагреться до температуры плавления припоя, и следите за тем, чтобы он не перегревался. Наложите на слой ликоподия на прозрачном ПВХ-квадрате такой же чистый квадрат и пальцами сожмите их так, чтобы они, совпадая по углам, плотно прилегали друг к другу. Положите оба квадрата на термостойкий БСП-пластик и легкими касаниями жала паяльника к двум противоположным углам пленочных квадратов спаяйте их (рис. 5.1). Повторив операцию с двумя оставшимися углами, вы получите заготовку препарата, которая уже не распадётся.

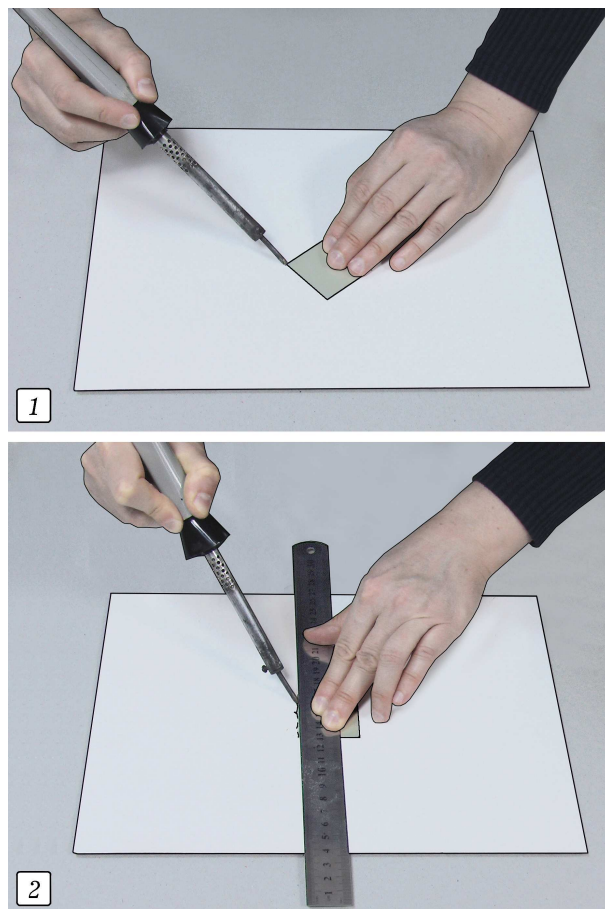


Рис. 5. Герметизация препарата из ликоподия: 1 — прозрачный квадрат из полимерной пленки наложен на такой же квадрат со слоем ликоподия и получившийся *сэндвич* сварен по углам паяльником; 2 — так паяльником сваривают края квадратов

Соединенные в четырех углах прозрачные квадраты с ликопидием между ними прижмите стальной линейкой так, чтобы край квадрата выступал из-под линейки не более, чем на 0,5 мм. Аккуратно приложите разогретое жало паяльника к стыку двух квадратов. Медленно при легком нажатии ведите жало по верхней полимерной ПВХ-пленке вдоль стыка (рис. 5.2). Старайтесь плавить край пленки равномерно. Не держите жало на одном месте слишком долго, чтобы не перегреть и не деформировать ПВХ-пленку. Убедитесь, что оплавленное соединение пленок получается прочным и герметичным. Продолжайте плавить и сплавлять, пока не пройдете весь стык по периметру препарата.

Внимательно осмотрите получившийся шов. Проверьте, нет ли пропусков, слабых мест или деформаций пленки. Осторожно попробуйте слегка потянуть или согнуть место соединения, чтобы убедиться в его прочности. При необходимости шов можно выровнять и зачистить с помощью канцелярского ножа, наждачной бумаги или другого подходящего инструмента.

2.5. Выводы

Изучив технологию изготовления препарата для экспериментов по дифракции света на ликопидии, вы, конечно, поняли, что прежде чем приступить к работе, необходимо освоить все операции, ведущие к достижению поставленной цели. Для этого вначале нужно найти подходящую прозрачную пленку из ПВХ и убедиться, что она действительно плавится под жалом паяльника. Затем надо научиться делать из пленки квадраты и спаивать их по краям. Только после этого имеет смысл приступить к изготовлению препаратов с ликопидием для всего класса.

3. Учебные эксперименты

Эта часть статьи предназначена, главным образом, учителю, организующему урочную и внеурочную деятельность школьников по формированию и усвоению начального понятия дифракции света. Учебные эксперименты включают визуальные наблюдения дифракции в школе и дома, демонстрационные опыты на уроке и количественные эксперименты в проектной деятельности.

3.1. Визуальные наблюдения

Для визуальных наблюдений дифракции света на множестве беспорядочно расположенных в плоскости одинаковых шариков необходим точечный источник белого или монохроматического света. Наиболее красивые дифракционные картины получаются, на наш взгляд, если таким источником является спираль небольшой и яркой лампы накаливания или уменьшенное изображение такой лампы, созданное короткофокусным конденсором. Однако в наше время в качестве яркого точечного источника света проще всего использовать белый или монохроматический светодиод мощностью порядка единиц ватт. Подобный источник света описан, например, в работе [8].

Впрочем, сейчас у каждого школьника есть смартфон, имеющий светодиодный фонарик белого света. Поэтому наблюдать и фотографировать дифракционные картины они могут сразу после изготовления препарата из ликопидия, если один смартфон они используют в качестве источника света, а другой — в качестве фотоаппарата.

Покрывая белый светодиод красным ($\lambda_k = 650$ нм), зеленым ($\lambda_z = 540$ нм) и синий ($\lambda_c = 450$ нм) светофильтрами, школьники

обнаруживают, что в монохроматическом свете возникают черно-светлые дифракционные картины, диаметры (радиусы) колец которых с уменьшением длины световой волны уменьшаются.

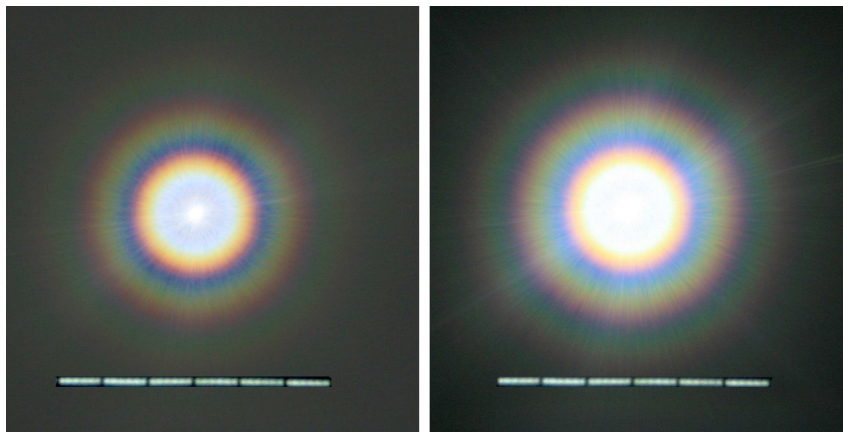


Рис. 6. Фотографии одной и той же дифракционной картины, сделанные при разных выдержках. Снизу возле источника света расположена шкала с ценой деления 5 см, сделанная из матовой светодиодной ленты

На рис. 6 представлены фотографии картин, которые обучающиеся могут получить непосредственно на школьном уроке или на внеурочном занятии по физике.

3.2. Демонстрационные опыты

Демонстрация дифракции света на препарате из ликоподия должна занимать на уроке не более нескольких минут. Поэтому имеет смысл использовать установку, состоящую, в основном, из полупроводникового лазера (лазерной указки) красного или, лучше, зеленого света и белого экрана, расположенного на расстоянии примерно 3 м от лазера. Так как почти вся энергия лазерного излучения будет сосредоточена в центре дифракционной картины, то в экране следует предусмотреть отверстие диаметром 20 мм, через которое будет выходить лазерный пучок и поглощаться черной бархатистой тканью. Демонстрацию явления проводят следующим образом.

Включают лазер и направляют узкий пучок света в отверстие на экране. Возле лазера перекрывают световой пучок препаратом из ликоподия. При этом на экране сразу возникает дифракционная картина в виде круглого светлого пятна и одного или двух слабых светлых колец, разделенных темными промежутками (рис. 7.1).

Этот эксперимент доказывает сам факт существования дифракции света, так как учащиеся воочию видят, что свет огибает шарики ликоподия и идет в сторону от лазерного пучка, попадая на белый

экран вокруг отверстия, через которое выходит недифрагированное излучение лазера. Сомневающимся можно показать, что проходящий через слой ликоподия пучок не исчез, если убрать расположенный за экраном поглотитель.

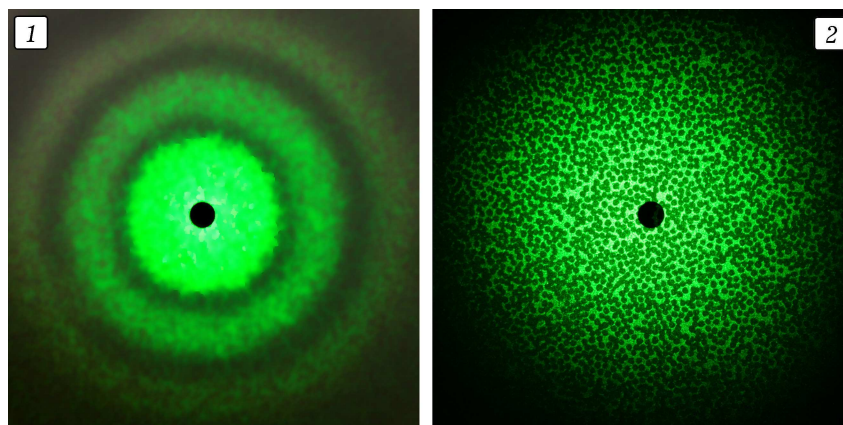


Рис. 7. Картины на белом экране в демонстрационном опыте: 1 — дифракция света на слое ликоподия (яркий лазерный пучок проходит через отверстие в экране и не мешает наблюдениям); 2 — микропроекция шариков ликоподия, образующих слой, на котором дифрагирует свет

Обращают внимание школьников, что на экране, кроме круглого светлого пятна в центре картины, видны концентрические с ним светлые и темные кольца. Это свидетельствует о перераспределении интенсивности (энергии) света в дифрагированном пучке. Таким образом, опыт показывает, что наблюдаемая дифракция света сопровождается явлением интерференции [7, 9].

3.3. Количественные эксперименты

В проектной деятельности школьники могут помимо качественных провести и количественные учебные исследования.

1. Совместная проектная деятельность учителя и учеников. Учащиеся вместе с учителем замечают, что в опытах с монохроматическим светом наиболее четко выражено первое темное кольцо дифракционной картины.

Далее *учитель сообщает*, что физическая теория для углового радиуса φ первого темного кольца дифракционной картины от круглого непрозрачного диска диаметром d дает примерное выражение:

$$d \sin \varphi = 1,22\lambda, \quad (1)$$

где λ — длина световой волны, и *нацеливает обучающихся* на экспериментальное подтверждение этого соотношения.

Так как споры ликоподия расположены в плоскости беспорядочно, то дифракционные картины от них на сетчатке глаза накладываются одна на другую, причем ориентированные под всевозможными углами прямые полосы интерференции от лежащих рядом спор смазываются. В результате от множества одинаковых спор получается такая же, но гораздо более яркая картина, чем от одной споры [7].

Расстояние L от источника света S до оптического центра глаза, перед которым находится препарат с ликоподием, значительно больше диаметра $D = 2r$ первого темного кольца картины (рис. 8), поэтому угловой радиус этого кольца примерно равен:

$$\varphi \approx \sin \varphi \approx \frac{r}{L} = \frac{D}{2L}. \quad (2)$$

Тогда диаметр d одной споры ликоподия определяется выражением:

$$d = 1,22 \frac{2L}{D} \cdot \lambda. \quad (3)$$

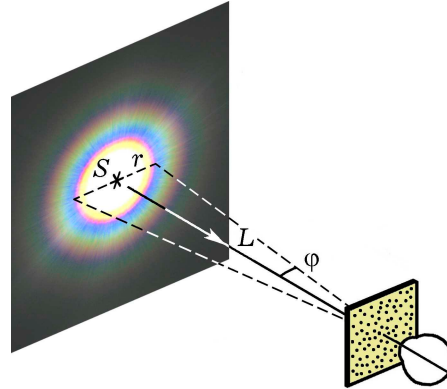


Рис. 8. К выводу формулы для углового радиуса первого темного кольца дифракционной картины

2. Оценка размеров спор ликоподия по дифракционной картине, наблюдаемой вокруг источника света. Чтобы измерить диаметр первого темного кольца картины, нужно рядом с точечным источником света расположить *видимую сквозь препарат из ликоподия*, даже при не слишком ярком освещении, шкалу, цена деления которой равна 5 см (рис. 6). Такую шкалу проще всего сделать из матовой светодиодной ленты, рассчитанной на 12 В, подключив ее через резистор сопротивлением 130 Ом к батарее напряжением 9 В. Учащиеся с разных расстояний L фотографируют дифракционную картину вместе со шкалой на смартфон и по полученным фотографиям вычисляют средний диаметр спор ликоподия.

В белом свете дифракционная картина получается в результате наложения разноцветных монохроматических картин. Поэтому первое темное кольцо оказывается между красным краем центрального белого пятна и ближайшим к нему синим кольцом.

В одном из наших опытов измерения дали следующие результаты: $L = 315$ см, $D = 15$ см и длина волны красного света взята равной $\lambda = 650$ нм. Тогда диаметр спор ликоподия равен:

$$d = 1,22 \frac{2 \cdot 315}{15} \cdot 6,5 \cdot 10^{-4} \approx 0,033 \text{ (мм)}. \quad (4)$$

3. Оценка диаметра спор ликоподия методом микропроекции. Собирают демонстрационную установку (п. 3.2) и получив на экране

дифракционную картину, вводят в световой пучок лупу с увеличением $\Gamma_{\text{л}} = 10^{\times}$ или $15^{\times}$ и проецируют на экран слой ликоподия в препарате. На экране вместо дифракционной картины школьники видят изображения беспорядочно расположенных в препарате спор ликоподия (рис. 7.2) и с помощью линейки с миллиметровыми делениями определяют средний диаметр изображения споры. Чтобы определить истинное значение d этой величины, нужно диаметр изображения d' , разделить на увеличение микропроектора $\Gamma_{\text{м}}$. Очевидно, оно примерно равно отношению расстояния L от лупы до экрана к фокусному расстоянию лупы f : $\Gamma_{\text{м}} = L/f = L\Gamma_{\text{л}}/L_{\text{нз}}$, где $L_{\text{нз}} = 25$ см — расстояние наилучшего зрения. Отсюда средний диаметр споры ликоподия

$$d = \frac{d'}{\Gamma_{\text{м}}} = \frac{d'L_{\text{нз}}}{L\Gamma_{\text{л}}}. \quad (5)$$

В одном из наших опытов получились следующие значения: $\Gamma_{\text{л}} = 14$ (использованы две сложенные вместе $7^{\times}$ лупы); $L = 300$ см; $d' = 0,5$ см. Тогда

$$d = \frac{0,5 \cdot 25}{300 \cdot 14} = 0,03 \text{ (мм)}. \quad (6)$$

Таким образом, количественный эксперимент подтвердил справедливость полученной теоретически (и сообщенной учащимся без вывода) формулы (1) для углового радиуса первого темного кольца дифракционной картины, созданной препаратом из ликоподия, что свидетельствует в пользу справедливости этой формулы.

5. Практическое применение изученного дифракционного явления. Уже Т. Юнг нашел применение этому явлению: он изобрел *эриометр* — прибор для измерения толщины и однородности овечьей шерсти. Кроме того, Юнг использовал эриометр для измерения диаметров эритроцитов — метод, который успешно применялся в физиологических исследованиях [10]. Дифракция света на множестве одинаковых капель является объектом исследований в метеорологии [11]. Дифракция на ликоподии будет интересна школьникам, увлекающимся биологией [12, с. 34–38, с. 142–165].

4. Педагогический эксперимент

Для обоснования возможности и целесообразности использования описанного выше учебного физического эксперимента с целью формирования начальных представлений учащихся основной школы о дифракции света был разработан и проведен специальный педагогический эксперимент, который состоял из пяти этапов.

4.1. Подготовка внеурочного занятия. Студент, обучающийся на 4 курсе по программе *математика и физика*, для предстоящей педпрактики в основной школе подготовил внеурочное занятие «Удивительная дифракция» [13]. Работая под руководством преподавателей, он выделил фундаментальные физические понятия по дифракции света; отобрал и воспроизвел серию из 5 простых

демонстрационных опытов по формированию этих понятий; разработал тест (10 вопросов с выбором ответов) для определения уровней усвоения школьниками новых знаний и сформированности учебных умений.

4.2. Проведение внеурочного занятия. В педагогическом эксперименте продолжительностью 45 минут приняли участие 18 школьников 8 класса. Содержание и структура внеурочного занятия: входное тестирование школьников (7 минут); цель занятия; краткие исторические сведения; понятие дифракции света; связь дифракции и интерференции; демонстрация и объяснение опытов: 1) рассеяние света на искусственном тумане; 2) дифракция света на щели; 3) дифракция на голографической решетке; 4) дифракция на слое ликоподия; 5) дифракция на однородном тумане; заключение; выходное тестирование (7 минут). Наблюдения показали значительный интерес обучающихся к новым для них физическим явлениям, связанным с дифракцией света.

4.3. Создание дидактического ресурса проектной деятельности. Тот же студент, обучаясь уже на 5 курсе, принял активное участие в разработке дидактического ресурса ученического проекта «Дифракция света на плоском слое ликоподия». В теоретической части ресурса рассмотрены: электромагнитная природа света, основные характеристики световой волны, дифракция и интерференция света, дифракция света на непрозрачном шарике. В экспериментальной части исполнителям проекта предлагается выполнить серию заданий: 1) изучение экспериментального оборудования; 2) изготовление объекта дифракции; 3) сборка светодиодного источника; 4) изготовление шкалы для измерения дифракционной картины; 5) сборка экспериментальной установки; 6) фотографирование дифракционной картины; 7) зависимость размеров картины от длины световой волны; 8) оценка диаметра частиц ликоподия; 9) компьютерная презентация сообщения.

4.4. Выполнение проекта. Предполагалось, что дифракцию света на плоском слое ликоподия будет исследовать звено из двух человек. Однако обстоятельства в школе сложились так, что проект выполнил один ученик 8 класса. За три дня до начала работы он получил для изучения дидактический ресурс предстоящей проектной деятельности в форме печатного пособия с рисунками и фотографиями объемом 4 страницы формата А5. Школьник полностью выполнил проект в течение одной недели, работая каждый день по 2 часа. Затем он выступил с презентацией полученных результатов и демонстрацией опытов на школьном уроке.

4.5. Анализ результатов педэксперимента. Для статистической обработки результатов педагогического эксперимента применен критерий Стьюдента, который показал достоверность динамики изменения знаний и умений, полученных в одной и той же группе из 18 испытуемых (п. 4.2).

5. Заключение

1. В работе теоретически и экспериментально обосновано предположение, что поскольку дифракция света изучается в выпускном классе, начальное представление об этом явлении и его физической сущности должно быть сформировано еще в основной школе. Такое формирование может быть осуществлено только средствами учебного физического эксперимента.

2. Показано, что для ознакомления школьников с дифракцией света достаточно проведения внеурочного занятия с яркими и запоминающимися опытами. Такое занятие может быть подготовлено студентом педагогического вуза и проведено им в период подработки в школе.

3. Разработано содержание дидактического ресурса проектной деятельности по учебному исследованию дифракции света и показана возможность его реализации учащимся основной школы. Демонстрация учителем и его учеником результатов выполнения проекта позволяет решить проблему ознакомления обучающихся с дифракцией света непосредственно на школьном уроке.

Таким образом, научная новизна представленного в настоящей статье исследования заключается в том, что впервые в дидактике физики обоснованы и подтверждены педагогическим экспериментом целесообразность и возможность формирования серией учебных опытов по прохождению света через запыленную ликоподием прозрачную пластинку начальных представлений о дифракции света в основной школе.

Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (XUJA-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ (соглашение № 073-03-2025-043 от 15.01.2025) в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика: 9-й класс: базовый уровень: учебник / И. М. Перышкин, Е. М. Гутник, А. И. Иванов, М. А. Петрова. — М.: Просвещение, 2024. — 350 с.
2. Физика: 11-й класс: базовый и углубленный уровни: учебник / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2024. — 432 с.
3. Поль Р. В. Оптика и атомная физика. — М.: Наука, 1966. — 552 с.
4. Ростовцев Н. Как с помощью проволоки измерить длину световой волны // Квант. — 1977. — № 8. — С. 34–37.
5. Амтиславский Я. Необычные явления вокруг обычных источников // Квант. — 1982. — № 6. — С. 15–18.
6. Майер В. В. Зеленый туман // Квант. — 1990. — № 4. — С. 47–51.
7. Майер В. В., Вараксина Е. И. Эриометр Юнга как объект учебного исследования в ученическом проекте // Учебная физика. — 2013. — № 2. — С. 10–25.
8. Майер В. В., Вараксина Е. И. Совершенствование демонстрации дифракции света на тумане // Учебная физика. — 2023. — № 4. — С. 18–25.
9. Майер В. В., Вараксина Е. И. Интерференционный опыт Юнга в исследовательском проекте // Учебная физика. — 2012. — № 6. — С. 11–27.
10. Allen A., Ponder E. The measurement of the diameter of erythrocytes by the diffraction method // The Journal of Physiology. — 1928. — Vol. 66. — DOI: 10.1113/jphysiol.1928.sp002506
11. Броунов П. И. Атмосферная оптика. Световые явления неба в связи с предсказаниями погоды. — М.: Гостехтеориздат, 1924. — 220 с.
12. Биология: 7 класс: базовый уровень: учебник / В. В. Пасечник, С. В. Суматохин, З. Г. Гапонюк, Г. Г. Швецов; под ред. В. В. Пасечника. — М.: Просвещение, 2023. — 176 с.
13. Майер В. В., Вараксина Е. И., Широкова Е. А. Простые опыты по дифракции света для внеурочного занятия в основной школе // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 40. — М.: ИСПО РАО, 2024. — С. 79–81.

Глазовский государственный
инженерно-педагогический
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 20.01.25.