
Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

| | |
|----------------|--|
| 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 |
| В. А. Саранин | д.ф.-м.н., профессор, Глазов |
| Ю. А. Сауров | д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров |
| А. П. Усольцев | д.п.н., профессор, Екатеринбург |

Оргкомитет конференции:

| | |
|--------------------------|---|
| Н. Я. Молотков | д.п.н., профессор, Тамбов |
| Г. Г. Никифоров | к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва |
| А. Ю. Пентин | к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва |
| Ф. А. Сидоренко | д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург |
| Я. А. Чиговская–Назарова | к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, 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, Пединститут. 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 01.11.23. Подписано в печать 20.12.23.

Дата выхода в свет: 22.12.23.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 160. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Экспериментальная установка для градуировки электрометра по напряжению.

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИИ
ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ТУМАНЕ

Описан процесс научного исследования в дидактике физики по совершенствованию известного опыта, демонстрирующего дифракцию белого света на водном тумане.

Ключевые слова: дифракция света, туман из капелек воды, демонстрационный опыт, научное исследование, дидактика физики, совершенствование учебного эксперимента.

V. V. Mayer, E. I. Varaksina
IMPROVING THE DEMONSTRATION
OF LIGHT DIFFRACTION ON FOG

The process of scientific research in the didactics of physics to improve the well-known experiment demonstrating the diffraction of white light on water fog is described.

Keywords: light diffraction, mist from water droplets, demonstration experiment, scientific research, didactics of physics, improvement of educational experiment.

1. Введение

Дифракция света относится к тем физическим явлениям, которые встречаются на каждом шагу, но не замечаются подавляющим большинством обучающихся физике в современной школе. На поверхности лежит несколько причин, объясняющих этот факт. Во-первых, дифракция света — объективно сложное физическое явление. Во-вторых, дифракционные отклонения от в целом прямолинейного распространения света сравнительно невелики и для их обнаружения требуются специальные условия визуального наблюдения. В-третьих, дифракции света в школьном курсе физики уделяется несравненно меньше внимания, чем, скажем, явлениям кинематики, термодинамики или электричества. Поэтому важное значение имеет такая демонстрация дифракции света, которая одновременно всему классу позволяет показать большую, яркую и

красочную дифракционную картину, на глазах меняющую размеры и цвет при изменении условий эксперимента. Этим требованиям удовлетворяет дифракция белого света на искусственном тумане — явление, подобное наблюдаемым в природе *венцам* [1].

Одно из фундаментальных направлений научно-исследовательской деятельности в дидактике физики состоит в совершенствовании известного и создании нового учебного физического эксперимента. В настоящей статье на конкретном примере показан процесс совершенствования известного демонстрационного опыта по дифракции света на тумане [2]. С этой целью вначале воспроизводится описание опыта 20-летней давности [3], затем выявляются недостатки этого эксперимента с точки зрения современных условий обучения физике и, наконец, описывается возможный вариант устранения этих недостатков.

2. Известная демонстрация дифракции света на тумане

Для получения искусственного тумана удобно использовать хорошо известный демонстрационный опыт по адиабатическому расширению насыщенного водяного пара в стеклянном сосуде.

Этот опыт в современных условиях проводят так. Стеклоанный сосуд изнутри ополаскивают чистой водой при комнатной температуре, закрывают пробкой, соединенной с насосом, и закачивают в сосуд воздух до тех пор, пока пробка из него не выскочит. При этом в сосуде образуется слабый туман, который становится видимым, благодаря рассеянию света, если наблюдать сбоку световой пучок, проходящий через сосуд.

Чтобы получить густой туман, в сосуд вводят центры конденсации водяного пара. Сделать это можно, если внутрь сосуда вдуть немного дыма от только что погашенной вблизи горлышка спички. Еще лучше в качестве центров конденсации использовать ионы. Для этого внутрь стеклянного сосуда вводят конец пьезоэлектрической зажигалки и нажатием на ее клавишу производят несколько серий электрических разрядов.

Однако для наблюдения дифракции света на тумане необходимо выполнить еще три условия. Во-первых, источник света должен быть ярким и иметь небольшие размеры — это типичное условие успешности демонстрационных опытов по дифракции света. Во-вторых, стекло сосуда не должно иметь крупных дефектов типа грязи, царапин и свилей. Наконец, в-третьих, изнутри и снаружи на стенке стеклянного сосуда не должно оставаться капель воды или разводов после их высыхания. Необходимость выполнения двух последних условий вызвана тем, что в опыте дифракция света происходит не только на каплях тумана, но и на всех резко выраженных неоднородностях среды, через которую идет пучок света.

Поэтому успех опыта в первую очередь определяется чистотой и прозрачностью сосуда.

Отобранный сосуд предварительно должен быть тщательно вымыт хромпиком (это опасно и неприятно) или любым чистящим средством, которое применяется в быту (это более приятно и менее опасно). Критерием чистоты является наличие тонкой пленки, равномерно покрывающей стеклянную стенку после окончательного ополаскивания сосуда чистой водой. Практика показывает, что чистый сосуд, если не трогать руками его поверхность, через которую идет свет, сохраняет нужные для демонстрации качества по крайней мере в течение месяца.

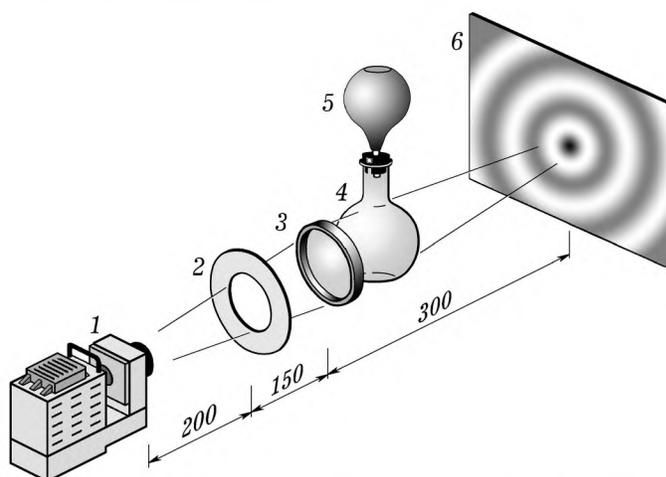


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки для демонстрации дифракции света на тумане [3]

Подготовив описанным способом стеклянный сосуд, собирают установку для демонстрации дифракции света на каплях тумана в соответствии со схемой, показанной на рис. 1: 1 — яркий источник белого света, например, изображение спирали лампы небольшого диапроектора, созданное его оптической системой; 2 — круглая диафрагма с отверстием диаметром 40 мм от проекционного аппарата ФОС-115, вырезающая световой пучок нужного сечения; 3 — собирающая линза диаметром 75 мм и фокусным расстоянием 160 мм из школьного набора; 4 — круглая стеклянная колба объемом 0,5 л; 5 — резиновая груша диаметром 8 см; 6 — белый рассеивающий экран с отверстием, диаметр которого несколько превышает поперечник созданного линзой изображения источника света.

При проведении опыта в колбу опускают конец пьезоэлектрической зажигалки и несколько (5–10) раз производят разряд. Затем

колбу герметически закрывают пробкой с грушей, грушу сдавливают, повышая давление в колбе, выжидают несколько секунд и резко отпускают. При этом вокруг изображения источника на экране появляется белесый светлый круг.

В работе [3] даны точные рекомендации по реализации одного из возможных вариантов экспериментальной установки и техники выполнения демонстрационного опыта.

3. Мотивация дидактического исследования экспериментальной установки

Мотивом дидактического исследования нередко оказывается эмоциональное восприятие конкретной дидактической задачи. Поясним сказанное примером.

В течение многих лет мы время от времени показывали дифракцию света на тумане, не испытывая при этом особых неудобств и игнорируя очевидные недостатки установки. С необходимостью выявить и устранить их мы столкнулись, когда для очередной педагогической практики в основной школе готовили *хорошего и ответственного* студента к демонстрации на внеурочном занятии этого красивого и поучительного опыта.

Увы, перед нашим мысленным взором разворачивались ужасающие картины. Например, студенту не удалось правильно собрать и наладить установку — в итоге опыт не получился и все пришедшие на занятие школьники выбрали для дальнейшего обучения в вузе не физику, а английский язык. Или он случайно задел пальцем раскаленный колпачок лампы накаливания в диапроекторе и, получив ожог, попал в реанимацию, поэтому не сумел довести занятие до конца. Или, закрывая колбу, студент так надавил на пробку, что колба выскочила из лапки штатива, упала на стол и разлетелась на мелкие осколки, заметная часть которых достигла задних парт класса и поразила внимательно наблюдавших опыт *детей*.

Находясь под впечатлением этих и других страхов, мы решили, наконец, выявить и устранить хотя бы наиболее вопиющие недостатки демонстрационной установки.

4. Основные недостатки установки и возможные способы их устранения

1. Экспериментальная установка. Фотография внешнего вида старой установки [3] для демонстрационного опыта приведена на рис. 2. Сразу бросается в глаза, что для создания условий эксперимента используются два универсальных штатива с муфтами и лапками, а также два основания для подъемных столиков. Это вспомогательное оборудование нужно: во-первых, заранее принести на демонстрационный стол; во-вторых, на уроке быстро собрать из

него и основных приборов установку; в-третьих, настроить установку и безупречно провести на ней доказательный демонстрационный опыт. Поэтому было бы лучше, если бы такого оборудования стало меньше.

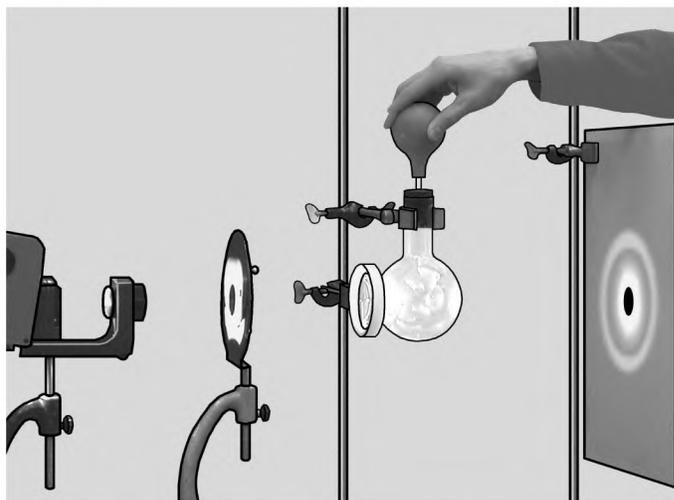


Рис. 2. Внешний вид известной экспериментальной установки для демонстрации дифракции света на тумане [3]

2. Источник света. Для успеха опыта необходим небольшой и яркий источник света. Старый диапроектор марки «Этюд» обеспечивает нужную яркость, но спираль его лампы довольно велика по размерам. Кроме того, он опасен, так как питается от электросветильной сети переменного напряжения 220 В, работа с которой школьникам запрещена. Чтобы исключить перегрев лампы и в целом диапроектора его корпус делается полуоткрытым, что приводит к засветке области наблюдения. Поэтому естественна мысль, что громоздкий, небезопасный и далеко неточечный источник света целесообразно заменить небольшим по размерам мощным светодиодом белого излучения, для питания которого достаточен источник напряжением в несколько вольт.

3. Собирающая линза. Рекомендованный выше к использованию школьный набор линз давно не выпускается промышленностью и поэтому малодоступен для учителя. Однако устаревшая проекционная техника содержит конденсоры, линзы которых, возможно, подойдут для установки.

4. Крепление колбы. Стеклоянная колба закреплена за горлышко в лапке штатива, что представляет собой определенную опас-

ность. Горлышко колбы можно случайно раздавить при зажиме лапкой. При неудачном закрывании отверстия колбы пробкой, колбу нетрудно выдвинуть из лапки. Поэтому колба должна быть не только закреплена в лапке штатива, но и стоять на подставке.

5. Резиновая груша. Сжатие и отпускание груши с целью изменения давления газа в колбе требуют особого внимания и аккуратности. Обычно эти манипуляции демонстратор делает одной рукой, придерживая колбу снизу другой рукой. Чтобы давление на грушу не передавалось колбе, нужно колбу соединить с грушей резиновым шлангом и грушу положить на стол.

5. Усовершенствованный вариант демонстрационной установки

На рис. 3 приведена фотография усовершенствованного варианта демонстрационной установки. Для ее сборки необходим универсальный штатив с двумя муфтами и одной лапкой.

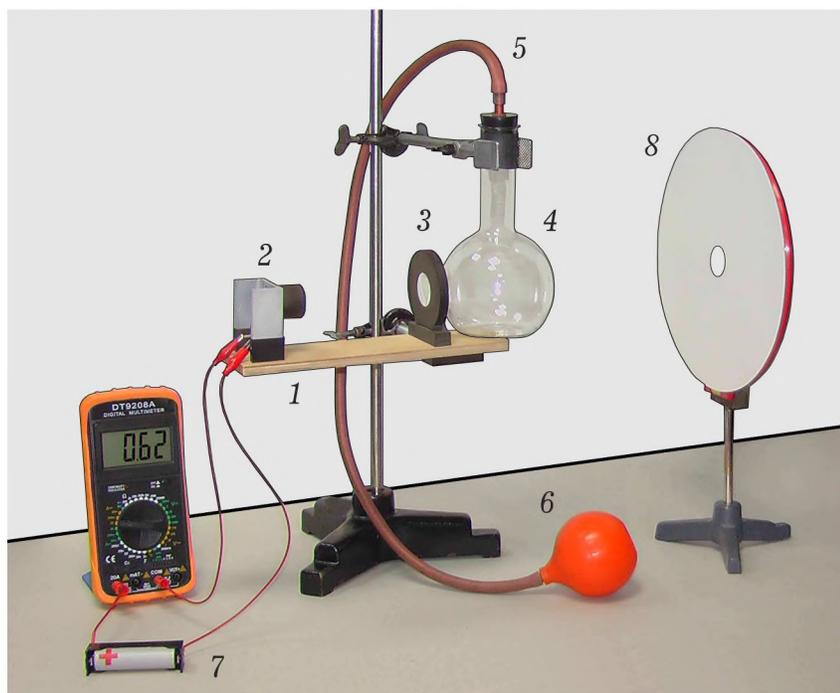


Рис. 3. Усовершенствованный вариант экспериментальной установки для демонстрации дифракции света на тумане

В нижней муфте штатива закреплено основание прибора 1, на левом конце которого расположен мощный светодиод белого света,

установленный на радиаторе 2. Вблизи правого конца основания находится собирающая линза 3, рядом с которой на выступающую часть основания своим дном опирается стеклянная колба 4. В верхней муфте зажата лапка, в которой закреплено горлышко колбы. Колба закрыта резиновой пробкой с металлическим патрубком, который гибким шлангом 5 соединен с резиновой грушей 6. Для питания светодиода использован литий-ионный аккумулятор 7, сила тока которого контролируется мультиметром. Дифракционная картина получается на экране 8, установленном на малой треноге.

Основание прибора размером $10 \times 60 \times 250$ мм изготовлено из фанеры, которую можно заменить гетинаксом. Основание снабжено дюралевым держателем диаметром 14 мм и длиной 120 мм для зажима в муфту штатива.

В качестве близкого к точечному источнику белого света использован светодиод TDS-P005L8 (напряжение питания 3,4 В, сила тока 700 мА, потребляемая мощность 3 Вт). Светодиод снабжен дюралевым радиатором в форме швеллера размером $25 \times 50 \times 40$ мм и запитан от литий-ионного аккумулятора на 3,7 В (18650, 2000 mAh, 3,7 V). На светодиод надет непрозрачный колпачок длиной 22 мм с отверстием диаметром 2 мм.

Фокусировка расходящегося от светодиода пучка осуществлена собирающей линзой от конденсора устаревшего проекционного аппарата. Диаметр этой линзы 60 мм, ее фокусное расстояние 60 мм, расстояние от светодиода до линзы равно 150 мм.

На горлышко круглой колбы диаметром примерно 100 мм и объемом 0,5 л надето резиновое кольцо шириной 30 мм от подходящей велосипедной камеры, обеспечивающее надежное и безопасное крепление колбы в лапке штатива.

Экран изготовлен из белой матовой плотной бумаги и закреплен в круглой оправке диаметром 250 мм, в качестве которой использованы пяльцы для вышивания. В центре экрана сделано круглое отверстие диаметром примерно 30 мм, через которое выходит сфокусированный линзой пучок света.

Последовательность действий при проведении демонстрационного опыта частично описана выше и более полно в статье [3]. Фотографии получающихся на экране типичных дифракционных картин приведены на рис. 4.

6. Заключение

В статье показаны основные этапы дидактического исследования известной экспериментальной установки для динамической демонстрации дифракции белого света на тумане. *Научная новизна* полученного результата состоит в повышении безопасности, доступности и эргономичности демонстрационной установки. *Практическая значимость* исследования определяется доказанной пе-

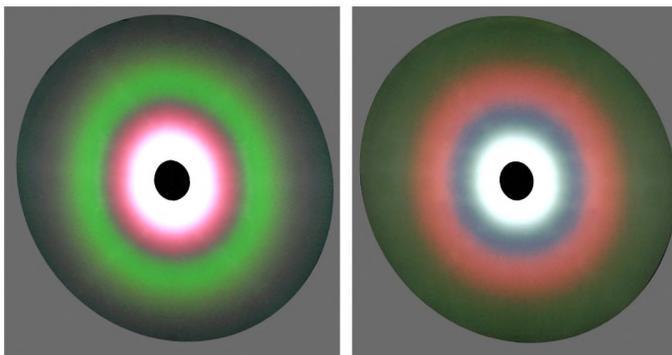


Рис. 4. Картины дифракции белого света на тумане, которые получаются в демонстрационном эксперименте на экране диаметром 25 см

дагогическим экспериментом возможностью использования его результата в школьном и вузовском курсах элементарной физики. Конструкторская, технологическая, техническая и экспериментальная деятельность при создании аналога описанной установки способствует развитию инженерной компетенции обучающихся.

Исследование выполнено на базе Федеральной инновационной площадки «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методика проведения новых физических опытов в школе как средство формирования инженерных компетенций обучающихся», который реализуется при финансовой поддержке Министерства просвещения Российской Федерации в рамках государственного задания (дополнительное соглашение Министерства просвещения Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко» № 073-03-2023-026/2 от 20.06.2023 к соглашению № 073-03-2023-026 от 27.01.2023, регистрационный № НИОКТР 1022080500004-8-5.3.1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — М.: Наука, 1980. — 752 с.
2. Майер В. Зеленый туман // Квант. — 1990. — № 4. — С. 47–51.
3. Майер В. В., Мамаева Е. С. Демонстрация дифракции света на тумане // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 17. — М.: ИОСО РАО, 2003. — С. 39–41.

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

Поступила в редакцию 29.09.23.