



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

Е. И. Вараксина	ГЕМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕРДЦА	
В. В. Майер	ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ	
А. В. Долженко	НА УРОКАХ ФИЗИКИ И БИОЛОГИИ.....	3

Старшая школа

В. В. Майер	ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ	
Е. И. Вараксина	ВОЗДУХА В ДЕМОНСТРАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ...	13

Высшая школа

В. Е. Сидоров	СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА	
Б. А. Русанов	ПО ОПТИКЕ НА БАЗЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО	
А. П. Усольцев	ТЕХНОПАРКА «КВАНТОРИУМ»	21
В. А. Семериков		
А. А. Сабирзянов		
В. В. Майер	ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ	
Е. И. Вараксина	КАК ОБЪЕКТ УЧЕБНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	35
И. И. Мышкин		

Компьютер в эксперименте

С. В. Барышников	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ПАНЕЛИ	
	В СОСТАВЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	51

Науковедение

Ю. А. Сауров	О ЖИЗНИ И ПРОБЛЕМАХ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ	
	АКАДЕМИКА В. Г. РАЗУМОВСКОГО	59

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	72
----------------------	----

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 02.06.25. Подписано в печать 25.06.25.

Дата выхода в свет: 27.06.25.

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

Заказ 170. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Демонстрация дифракции света на тумане.

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Вараксина

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ДЕМОНСТРАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В статье обоснована необходимость измерения показателя преломления воздуха в школьном курсе физики и показана доступность демонстрационной установки для самостоятельного изготовления обучающимися. Установка состоит из вакуумной призмы, полупроводникового лазера, двух одинаковых плоских зеркал, самодельного насоса из медицинского шприца и шкалы с миллиметровыми делениями.

Ключевые слова: показатель преломления, воздух, вакуумная призма, полупроводниковый лазер.

V. V. Mayer, E. I. Varaksina

MEASUREMENT OF THE REFRACTIVE INDEX OF AIR IN A DEMONSTRATION EXPERIMENT

The article substantiates the need to measure the refractive index of air in a school physics course and shows the availability of a demonstration installation for self-production by students. The installation consists of a vacuum prism, a semiconductor laser, two identical flat mirrors, a homemade pump made from a medical syringe and a scale with millimeter divisions.

Keywords: refractive index, air, vacuum prism, semiconductor laser.

DOI: 10.62957/2307-5457-2025-2-13-20

1. Проблема измерения показателя преломления воздуха

Есть несколько аргументов в пользу того, что на школьном уроке в демонстрационном эксперименте нужно измерить или оценить показатель преломления воздуха [1, 2].

Во-первых, в школьном учебнике дается определение: «Показатель преломления среды относительно вакуума называется абсолютным показателем преломления этой среды. Он показывает, во сколько раз скорость света в вакууме больше, чем в среде и равен...:

$n = c/v$ » [1, с. 181]. Из этого определения следует, что абсолютный показатель преломления вакуума (то есть *относительный относительно вакуума*) равен единице, и все остальные среды являются оптически более плотными, чем вакуум, так как имеют абсолютные показатели преломления, превышающие единицу. Причина этого в том, что скорость света в вакууме больше, чем в любом прозрачном веществе.

Во-вторых, в элементарной физике вводить новую для обучающихся физическую величину имеет смысл лишь при условии, что рассматривается способ ее измерения [3, с. 110–111]. Иными словами, необходим учебный эксперимент, позволяющий измерить абсолютный показатель преломления воздуха и тем самым убедительно доказывающий, что постепенное разрежение воздуха ведет к снижению его показателя преломления, который стремится к единице.

В-третьих, в учебнике решается задача на преломление света в треугольной призме с абсолютным показателем преломления $n > 1$ [1, с. 182]. Поэтому школьники вполне могут представить себе гипотетическую призму из газообразного воздуха, находящуюся в вакууме, которая привычно отклоняет световой луч к своему основанию.

И, наконец, последнее: вместо воздушной призмы в вакууме проще изготовить прозрачную призму из стекла и откачать из нее воздух. Анализ приведенного в учебнике решения задачи на преломление в плоскопараллельной пластинке [1, с. 188] показывает, что стеклянные стенки такой призмы не должны менять направления света, преломленного внутрь и вне призмы. Поэтому из закона преломления следует, что вакуумная призма в воздухе будет отклонять свет не к основанию, а в сторону своей вершины.

Таким образом, измерение абсолютного показателя преломления воздуха при изучении оптики *актуально* потому, что полученный при этом результат является *фундаментальным фактом*: показатель преломления вакуума имеет наименьшее из возможных для прозрачных сред значение, следовательно, скорость света в вакууме максимально возможная величина. Кроме того, теоретические основы метода измерения показателя преломления материала призмы даны в школьном учебнике. *Проблема* заключается только в том, чтобы предложить простую и доступную экспериментальную установку, которая на обычном уроке обеспечит выполнение доказательного учебного эксперимента. В статье [4] обозначенная проблема в принципе решена, но в ней описана явно не демонстрационная установка, для которой требуется помещение длиной не менее 10 м.

В настоящей работе показано, что итогом совместной научной деятельности студента и преподавателя педагогического вуза является экспериментальная установка, которая удовлетворяет стандартным требованиям дидактики физики к демонстрационным опытам,

может быть расположена на столе длиной не более 3–4 метров и позволяет измерить или оценить показатель преломления воздуха даже на школьном уроке.

2. Преломление света вакуумной призмой, находящейся в воздухе

Пусть в среде с показателем преломления $n_1 = n$ находится равнобедренная призма с показателем преломления $n_2 = 1$ и преломляющим углом γ (рис. 1). Будем считать, что луч света падает на боковую грань призмы под таким углом α , что преломленный под углом β луч идет внутри призмы параллельно ее основанию. Тогда в силу симметрии задачи и принципа обратимости лучей углы падения и преломления света на противоположную грань призмы равны соответственно β и α .

Вышедший из призмы луч попадает на белый экран в точку A . Если бы призмы не было, то прямолинейный луч света попал бы в точку B . Расстояние x между точками A и B на экране и длина основания призмы значительно меньше расстояния l от призмы до экрана $x \ll l$, поэтому приближенно угол отклонения луча призмой $\delta = x/l$. Если преломляющий угол γ призмы достаточно велик, то угол ψ мал по сравнению с углом падения α и при необходимости им можно пренебречь: $\psi \approx 0$.

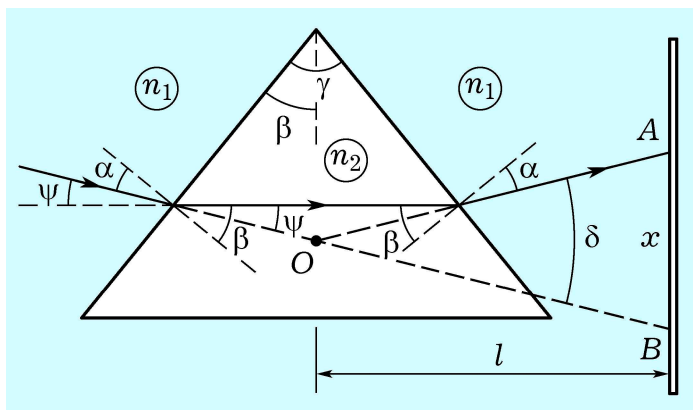


Рис. 1. Отклонение луча света от первоначального направления в результате преломления на равнобедренной вакуумной призме при распространении света внутри призмы параллельно ее основанию

По закону преломления:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n}. \quad (1)$$

Отсюда показатель преломления среды, окружающей призму:

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{\sin(\alpha + \psi)}{\sin \alpha} = \cos \psi + \operatorname{ctg} \alpha \sin \psi. \quad (2)$$

Так как угол ψ мал, то можно считать, что $\sin \psi = \psi$ и $\cos \psi = 1$. Тогда из предыдущей формулы имеем:

$$n = 1 + \psi \operatorname{ctg} \alpha. \quad (3)$$

Но из геометрии $\alpha = \beta - \psi = \gamma/2 - \psi \approx \gamma/2$ и угол отклонения луча от первоначального направления $\delta = 2\psi = x/l$, поэтому окончательно формула для вычисления показателя преломления воздуха приобретает вид:

$$n = 1 + \frac{x}{2l} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, изложенное в этом пункте показывает, что учебная теория вакуумной призмы, находящейся в воздухе, доступна учащимся старших классов и может быть ими создана в процессе решения одного из вариантов типовой физической задачи.

3. Оборудование для демонстрационной установки

На рис. 2 приведена фотография основного оборудования для предлагаемого нами варианта демонстрационной установки по измерению показателя преломления воздуха. Кроме основного для сборки установки потребуется общедоступное дополнительное оборудование.

3.1. Камера вакуумной призмы. Для изготовления камеры вакуумной призмы наиболее пригодна *труба дюралева профильная прямоугольная*, внешний размер сечения которой 15×30 мм и толщина стенки 1,5 мм. Приобрести такую трубу можно в интернет-магазине [5]. От трубы отрезают кусок длиной 250 мм и на его боковую поверхность наклеивают вырезанный из бумаги шаблон стенки усеченной равнобедренной призмы с преломляющим углом 150° (углы при основании призмы будут равны 15°). Ножовкой по металлу аккуратно отпиливают треугольные участки отрезка трубы. На стекло наносят мелкий абразивный порошок, смачивают его водой и на этой суспензии шлифуют срезы, стараясь сделать их как можно более плоскими. Посередине основания призмы сверлят отверстие для стальной стойки и рядом с ним — отверстие для патрубка. Стойку и патрубок изготавливают на токарном станке из дюраля и вклеивают в посадочные места подходящим суперклеем. Можно обойтись без токарных работ, если подобрать нужные по диаметрам металлические трубку для патрубка и стержень для стойки.

Соединить эти элементы с камерой для призмы можно пайкой, если воспользоваться флюсом для залуживания алюминия.

3.2. Преломляющие грани призмы. Для граней призмы подбирают оконное стекло толщиной 3–4 мм без дефектов типа царапин и свилей. Из отобранного стекла стеклорезом вырезают полосы размером 17×120 мм и шлифуют их торцы на стекле с абразивом, смоченным водой так же, как при обработке камеры призмы. Сухие чистые окошки приклеивают к камере любым клеем или герметиком, пригодным для соединения металла со стеклом (мы использовали клей «Момент»).

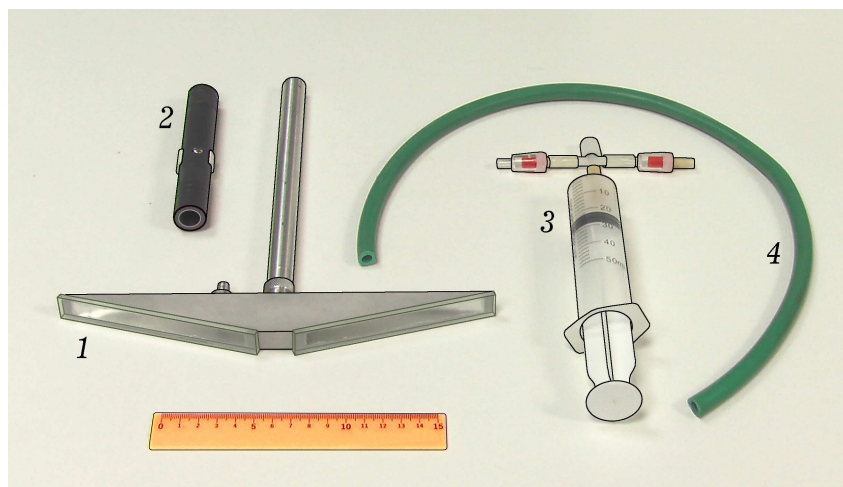


Рис. 2. Основное оборудование для демонстрационного опыта по измерению показателя преломления воздуха: 1 — вакуумная призма; 2 — лазер полупроводниковый; 3 — насос откачивающий; 4 — шланг соединительный

3.3. Лазер полупроводниковый. Подойдет любая лазерная указка, но мы предпочитаем полупроводниковый лазер, дающий зеленое излучение длиной волны $\lambda = 532$ нм и мощностью 100 мВт.

3.4. Насос откачивающий. В установке можно использовать любой имеющийся в школьном кабинете физики насос, например, ручной насос Шинца, механический насос Комовского или электромеханический насос. Но первый из перечисленных насосов требует постоянного внимания и капризен, а два других слишком массивны. Поэтому имеет смысл изготовить насос из медицинского шприца и двух обратных клапанов, которые можно приобрести в аптеке, зоомагазине или интернет-магазине. Технология изготовления насоса из шприца описана, например, в работе [6].

3.5. Шланг резиновый. Материал шланга не имеет значения, главное, чтобы шланг был гибким и не сминался атмосферным давлением при разрежении воздуха в призме.

3.6. Дополнительное оборудование. В школьном кабинете физики всегда найдутся основание и стойка универсального штатива, три муфты и лапка. Дополнительно нужно изготовить два плоских зеркала размером $4 \times 40 \times 80$ мм, вырезав их из мебельного зеркала с внутренним покрытием. Зеркала нужно закрепить в небольших подставках вертикально. Далее необходимо сделать вертикальную шкалу высотой примерно 120 мм с миллиметровыми делениями. Для этого подойдет любая линейка, на которую наклеена полоска белой бумаги для зайчика от лазера. Наконец, последнее, что нужно сделать — это приготовить строительную рулетку для измерения расстояния, проходимого светом от призмы до экрана, роль которого выполняет шкала.

4. Подготовка и проведение демонстрационного опыта

Внешний вид установки для проведения опыта представлен на рис. 3. Стойка вакуумной призмы 1 закреплена в основании универсального штатива. На стойке установлена муфта, в которой зажат расположенный горизонтально короткий штативный стержень. На стержне расположены две муфты, в первой из которых зажата лапка с полупроводниковым лазером 2, а во второй закреплена шкала 5 с миллиметровыми делениями. Плоское зеркало 3 расположено на краю демонстрационного стола на расстоянии примерно 4 м от вакуумной призмы. Рядом со шкалой находится второе плоское зеркало 4. На столе лежит насос 6, соединенный резиновым шлангом с патрубком призмы.

Налаживание установки производят следующим образом. Включают лазер 2 и направляют узкий световой пучок через призму 1 на зеркало 3. Поворачивают это зеркало вокруг вертикальной оси так, чтобы пучок попал на зеркало 4, которое также поворачивают вокруг вертикальной оси до тех пор, пока световой пучок не попадет обратно на зеркало 3 и после отражения от него — на шкалу 5. Перемещая шкалу по вертикали, совмещают ее нулевое деление с получившимся на ней световым зайчиком. Понятно, что нужна предварительная тренировка, чтобы эти простые действия занимали на уроке не более минуты и вызывали у школьников восхищение экспериментальными умениями своего учителя.

В демонстрационном опыте откачивают воздух из вакуумной призмы. Камера призмы имеет небольшой объем, поэтому достаточно не более 5 качков насосом объемом 50 мл, чтобы получить в ней максимально возможное разрежение воздуха. При этом учащиеся наблюдают, что зайчик смещается по шкале вверх, то есть к вершине тре-

угольной призмы. Отсюда они делают вывод, что разрежение воздуха делает среду в призме оптически менее плотной. Повторяют опыт несколько раз, чтобы убедить школьников, что при одинаковом разрежении воздуха в призме зайчик смещается на одну и ту же величину.

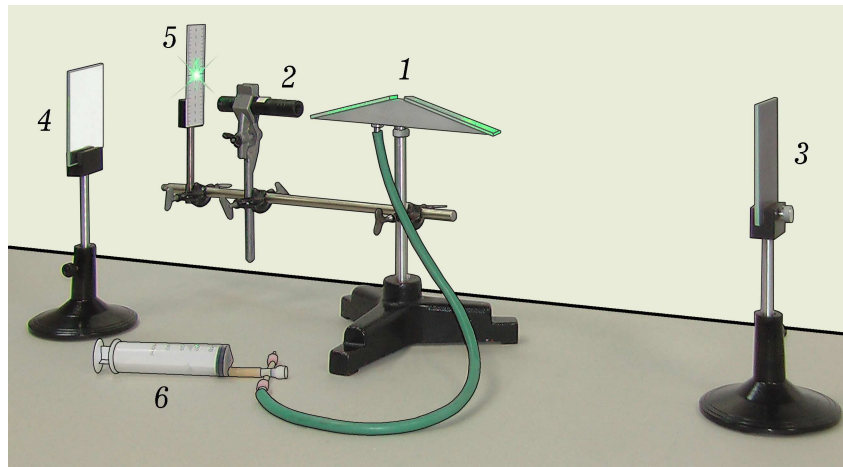


Рис. 3. Демонстрационная установка для измерения показателя преломления воздуха на школьном уроке

Находят среднее значение максимального смещения x зайчика по шкале. С помощью рулетки определяют расстояние l , проходимое светом от призмы до шкалы, которое, напомним, в 4 раза больше расстояния между призмой и зеркалом, стоящим на противоположном краю демонстрационного стола. По формуле (4) вычисляют показатель преломления воздуха и, если на уроке позволяет время, оценивают его погрешность. Сравнивают полученный результат с табличным ($n = 1,000292$ при нормальном атмосферном давлении $p = 101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.}$, при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ для длины волны света $\lambda_D = 589 \text{ нм}$). Объясняют обнаруженное несовпадение довольно сильной зависимостью показателя преломления воздуха от давления и температуры.

В качестве примера укажем, что в одном из наших демонстрационных опытов получилось: $\alpha = 150^\circ$, $l = 16 \text{ м}$, $x = 3,5 \text{ см}$ и $n = 1,000290$.

5. Заключение

Материал этой статьи предназначен в первую очередь студентам педагогических вузов — будущим учителям физики (хочется также надеяться, что он пригодится и действующим учителям).

Например, при подготовке к педагогической практике в старшей школе студент, проявивший интерес к основам геометрической оптики, выполняет следующие действия:

1) теоретически решает задачу о преломлении света вакуумной призмой, находящейся в воздухе;

2) выводит формулу для вычисления показателя преломления воздуха по смещению точки падения лазерного пучка по удаленному от призмы экрану при откачивании воздуха из призмы;

3) изготавливает вакуумную призму, собирает и налаживает экспериментальную установку;

4) отрабатывает методику демонстрации опыта, проводит измерения и вычисления, оценивает погрешности полученных результатов;

5) разрабатывает тест по определению уровня усвоения знаний и умений школьниками, включающий систему вопросов и правильных на них ответов;

6) выбирает и описывает метод статистической обработки результатов планируемого педагогического эксперимента;

7) выполняет педэксперимент, обрабатывает и анализирует его результаты, делает вывод.

В таком случае ожидаемая *научная новизна* выполненного практикантом исследования состоит в том, что будут обоснованы целесообразность и возможность количественной оценки абсолютного показателя преломления воздуха на школьном уроке; доказана доступность сборки и налаживания демонстрационной установки обучающимися при наличии готовой вакуумной призмы; подтверждена эффективность применения на учебных занятиях опытов, подготовленных школьниками под руководством учителя в процессе внеурочной проектной деятельности.

Авторы выражают благодарность И. А. Васильеву за существенную помощь при изготовлении вакуумной призмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Физика: 9-й класс: базовый уровень: учебник / И. М. Перышкин, Е. М. Гутник, А. И. Иванов, М. А. Петрова. — М.: Просвещение, 2024. — 350 с.
3. Усова А. В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. — М.: Педагогика, 1986. — 176 с.
4. Майер В. В., Вараксина Е. И. Измерение показателя преломления воздуха // Потенциал. — 2008. — № 7. — С. 71–76.
5. Труба профильная прямоугольная 15 × 30 × 1,5, 1500 мм (1,5 метра). — URL: <https://www.ozon.ru/product/truba-profilnaya-pryamougolnaya-15x30x1-5-1500-mm-1-5-metra-1299393148/> (дата обращения 24.06.2025).
6. Майер В. В., Вараксина Е. И. Ученический проект для будущих учителей: школьные опыты с воздушным насосом // Учебная физика. — 2018. — № 2. — С. 3–11.

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

Поступила в редакцию 14.04.25.