

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ РЕФРАКТОМЕТРИИ В МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Ельцов Анатолий Викторович,

профессор

Рязанский государственный медицинский университет имени акад. И.П. Павлова, кафедра математики, физики и медицинской информатики

✉ eltsov17@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена вопросам использования рефрактометрии в медицине. Рассмотрена последовательность формирования у обучаемых понятий предельного угла преломления и предельного угла отражения, предложены методические рекомендации по изучению данной темы. На основе представленного подхода раскрыт механизм работы лабораторного рефрактометра. Для ознакомления обучаемых с использованием рефрактометрии в офтальмологии проиллюстрировано использование метода рефрактометрии предельного угла в работе медицинского оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *закон преломления света, предельный угол, рефрактометр, медицина, рефракция.*

ON THE METHOD OF STUDYING REFRACTOMETRY IN A MEDICAL UNIVERSITY

Yeltsov A. V.,

Ph.D. (Education), Professor

Ryazan State Medical University named after Academician Ivan Pavlov, Chair of
Mathematics, Physics and Medical Information Technology

ABSTRACT

This article focuses on the use of refractometry in medicine. The sequence of formation of the concepts of the limiting angle of refraction and the limiting angle of reflection by the students is considered, methodical recommendations for studying this topic are proposed. Based on the presented approach, the mechanism of the laboratory refractometer operation is revealed. To familiarize students with the use of refractometry in ophthalmology, the use of the method of refractometry of the limiting angle in the work of medical equipment is illustrated.

KEYWORDS: *the law of refraction of light, limiting angle, refractometer, medicine, refraction.*

Рефрактометрия (от *лат.* *refractus* — преломленный и греч. *metreo* — измеряю) — это метод исследования веществ, основанный на определении показателя преломления при переходе света из одной среды в другую. Данный метод применяется для идентификации химических соединений, количественного и структурного анализа, определения физико-химических параметров веществ. Приборы, использующие в своей работе принцип рефрактометрии, называются рефрактометрами. Рефрактометры получили широкое распространение в различных видах профессиональной деятельности. В медицинских учреждениях для определения белка в моче и сыворотке крови, при анализе плотности мочи, мозговой и суставной жидкости, в офтальмологии при диагностике зрения. В фармакологии для определения количества глюкозы в биологических жидкостях, процентного содержания лекарственных средств в различных растворах. Достоин-

ства рефрактометрических методов это быстрота измерений, малый расход вещества, высокая точность, существенная экономия времени при обследованиях.

Одной из главных задач медицинского образования является формирование клинического мышления, которое невозможно без понимания единства материального мира, взаимосвязи и взаимообусловленности всех явлений, фактов и процессов. Обучение в медицинском университете должно предполагать использование такого подхода, который одновременно позволяет студентам вникать в суть рассматриваемых явлений и процессов и демонстрировать возможность их использования в будущей профессии. На первом курсе во время учебных занятий по физике, когда студенты впервые знакомятся с рефрактометрией, возникает необходимость в формировании соответствующих знаний оптических явлений, которые в дальнейшем послужат фундаментом для их профессиональной и исследовательской деятельности. При этом приходится констатировать недостаточные знания школьной физики у студентов медицинских вузов, так как вступительного экзамена по физике нет, во многих школах в профильных медицинских классах изучение физики сведено к минимуму, обязательная сдача единого государственного экзамена по физике для поступления в медицинский вуз не предусмотрена. Созданные ранее учебники физики для медицинских вузов строились по принципу фундаментализации и профилизации, с опорой на приобретенные фундаментальные знания по физике, полученные в средней школе, и иллюстрацией их возможных применений в медицине. Отсутствие единой школьной образовательной программы по физике, существование многих индивидуальных личностных траекторий обучения не позволяет обеспечить преемственность обучения, у многих учащихся знания необходимые для успешного изучения оптики недостаточны. Малое количество отводимых учебных часов для изучения физики в медицинском вузе не позволяет в полном объеме сформировать необходимые знания и умения будущему специалисту в области медицины. Поэтому для восполнения имеющихся про-

белов знаний и успешного освоения курса физики в медицинском вузе требуется разработка специальных методических материалов, раскрывающих смысл изучаемых понятий, механизм протекающих процессов. Большое значение имеет правильная организация внеаудиторной самостоятельной работы, именно в процессе этой работы студенты имеют возможность использовать специально созданные учебные материалы, размещенные в единой информационной образовательной среде, позволяющие скомпенсировать недостаток имеющихся фундаментальных знаний по физике [1].

В первую очередь при рассмотрении законов геометрической оптики, необходимо четко проиллюстрировать зависимость угла преломления от угла падения при переходе светового луча через границу раздела двух сред. Показатель преломления важнейшая характеристика оптических сред, но на данном этапе у большинства обучаемых это понятие не сформировано. Поэтому для объяснения изучаемых закономерностей лучше воспользоваться наиболее наглядным и легко воспринимаемым понятием скорости. В основу объяснения необходимо положить научный факт, что скорость света максимальна в вакууме, а по мере увеличения оптической плотности среды она уменьшается. Эффект преломления луча света, при его прохождении из первой среды во вторую, описывается классическим соотношением:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1)$$

где α — угол падения света в первой среде, β — угол преломления во второй среде, v_1 и v_2 — скорости света в первой и во второй среде, соответственно.

Далее на специально подобранных примерах иллюстрируется прохождение светового луча через конкретные среды, вначале из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду. Учитывая, что в данном случае скорость света $v_1 > v_2$: имеем $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} > 1$

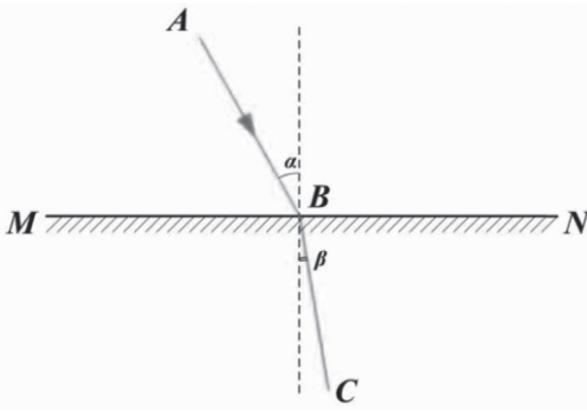


Рис. 1. Преломление луча при переходе из менее плотной среды в более плотную среду.

или $\sin \alpha > \sin \beta$. Так как угол падения α лежит в пределах от 0 до $\pi / 2$, функция на этом интервале является возрастающей, то в итоге имеем $\alpha > \beta$, т.е. при переходе луча из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, угол падения всегда больше угла преломления. Этот факт учащиеся должны четко понять и подтвердить рисунками на рассмотренных примерах (рис. 1).

В качестве примеров лучше всего последовательно рассмотреть переход луча из воздуха в воду, стекло и алмаз. Скорости света в данных средах известны, и для выбранных углов падения расчет углов преломления не вызывает трудностей. Эти примеры позволят проиллюстрировать уменьшение угла преломления при увеличении плотности второй среды. Выбрав две конкретные среды (например, воздух—вода), последовательно увеличивая угол падения, продемонстрируем увеличение угла преломления, (для неизменяющегося отношения скоростей $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$ увеличение $\sin \alpha$ приводит к увеличению $\sin \beta$. При максимальном угле падения равном $\pi / 2$, когда падающий луч будет скользить по границе раздела двух сред, получим максимальный угол преломления для данных сред (луч 3, рис. 2). Здесь учащиеся впервые знакомятся с понятием предельного угла прелом-

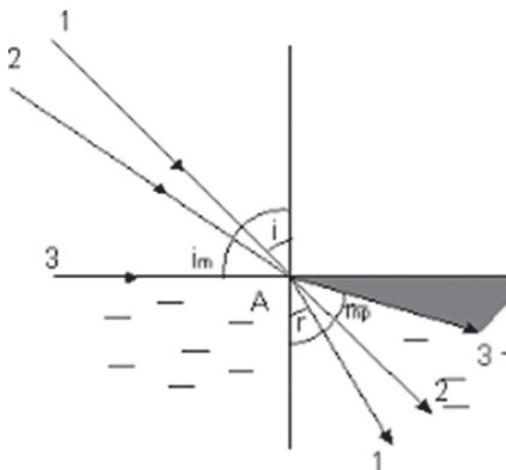


Рис. 2. Предельный угол преломления

ления, который играет важную роль при изучении рефрактометрии. Предельный угол преломления это такой угол преломления, которому соответствует угол падения равный $\pi / 2$. Анализируя полученный результат, важно отметить, что область, где лежат все преломленные лучи (IV четверть), условно можно разбить на две части: на область, где есть лучи, соответствующие всем углам падения (светлая область) и область где их в принципе быть не может (темная область). Граница этих областей как раз проходит вдоль луча, образующего предельный угол преломления.

Согласно дидактической схеме упражнений следует рассмотреть обратную задачу, когда световой луч идет из оптически более плотной среды в менее плотную. В этом случае, скорость света

$$v_1 < v_2: \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} < 1, \sin \alpha < \sin \beta \Rightarrow \alpha < \beta$$

При переходе луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду, угол падения всегда меньше угла преломления. На конкретном примере для двух выбранных сред (например, вода — воздух), вновь последовательно увеличивая угол падения, рассчиты-

ваем угол преломления, зная соответствующие скорости света в данных средах. Наблюдаем, что в определенный момент значение станет больше единицы, чего быть не может, так как данная функция ограничена, ее значения лежат в пределах от -1 до 1 . Это говорит о том, что для данного угла падения не существует угла преломления, вместо преломленного луча наблюдается отраженный луч, построенный в соответствии с законом отражения (луч 3, рис. 3). Для нахождения предельного угла, необходимо рассмотреть ситуацию, когда преломленный луч будет скользить по границе раздела двух сред, т.е. когда угол преломления будет равен 90 градусов (луч 2, рис. 3), этот угол будет максимальным углом падения которому будет соответствовать угол преломления равный $\pi/2$. Для всех световых лучей, падающих под углом больше этого предельного угла, вместо преломления будет наблюдаться отражение, поэтому данный предельный угол называется предельным углом отражения. Предельный угол отражения это такой угол падения, которому соответствует угол преломления равный $\pi/2$.

При анализе данного результата область, где лежат отраженные лучи, также условно можно разбить на две части (I четверть), там, где

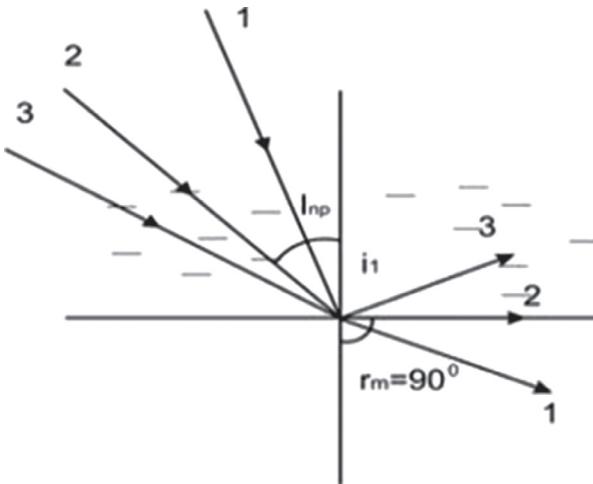


Рис. 3. Предельный угол отражения

есть лучи, соответствующие углам падения больше предельного — светлая область, и темная область, для отсутствующих отраженных лучей, соответствующих углам меньше предельного угла падения, которые будут преломляться, не испытывая отражения.

При формировании у студентов понятий предельных углов преломления и отражения мы опирались на то, что скорость света уменьшается с увеличением оптической плотности среды. Отношение скорости света в вакууме ($c = 3 \times 10^8$ м/с) к скорости света в конкретной среде характеризуется величиной, которая называется абсолютным показателем преломления n . Для первой среды $n_1 = c/v_1$, для второй среды $n_2 = c/v_2$, тогда $n_1 = c/v_1$, $n_2 = c/v_2$, то для соотношения

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1)$$

есть относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Оптически более плотной среда будет та, скорость света в которой будет меньше, а абсолютный показатель преломления которой будет больше. Далее необходимо предложить учащимся задачи на распознавание, на основе представленных им рисунков с указанием углов падения и преломления определить какая среда является оптически более плотной. После чего предложить им самим сконструировать задачи с подбором конкретных сред для имеющих предельных углов преломления и отражения.

После того как данные знания и умения будут сформированы обучаемые понимают, что найдя предельный угол и зная показатель преломления одной среды, однозначно рассчитывается показатель преломления другой среды. Именно этот метод предельного угла является одним из наиболее простых и доступных способов рефрактометрии для измерения показателей преломления твердых тел и жидкостей.

Устройство большинства рефрактометров предполагает наличие измерительной призмы, осветительной призмы, для дневного или искусственного света и соответствующую конструкцию шкалы. Из-

мерительную призму изготавливают из тяжелого флинта. Капля исследуемой жидкости помещается на гипотенузную (входную) грань этой призмы и прижимается вспомогательной (осветительной) призмой так, что между гипотенузными гранями обеих призм остается тонкий слой жидкости (рис. 4). Направленный на осветительную призму свет проходит в жидкость, преломляется на гипотенузной грани измерительной призмы и, выходя из нее, попадает в зрительную трубу. Наблюдаемый в такой системе граничный луч (граница между темной и светлой областью) соответствует предельному лучу преломления. В этом случае, соотношение (1) упрощается, поскольку угол падения α равен 90° . Запишем его в виде:

$$\sin \varphi = n_1 / n_2, \tag{2}$$

где φ — предельный угол преломления луча на гипотенузной грани измерительной призмы (рис. 4), а n_2 показатель преломления этой призмы. Таким образом, для определения показателя преломления исследуемого вещества необходимо лишь измерить величину угла φ . Прохождение света через выходную грань измерительной призмы усложняет расчетную формулу, однако рефрактометр отградуирован так, что при совмещении граничного луча с перекрестием линий

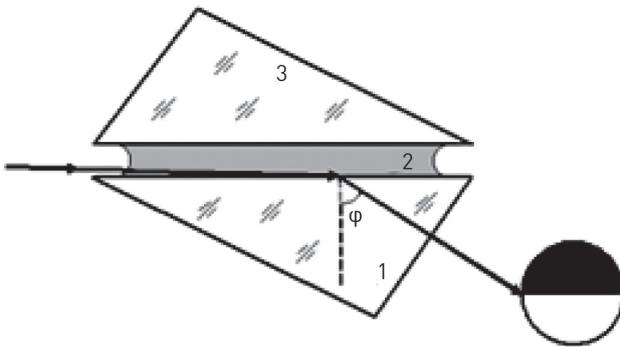


Рис. 4. Прохождение света через призмный блок рефрактометра 1 — измерительная призма, 2 — слой жидкости, 3 — осветительная призма.

в зрительной трубе, шкала прибора показывает искомое значение показателя преломления образца.

При наблюдении в белом свете, вследствие дисперсии (зависимости показателя преломления света от длины волны), вместо резкой границы светотени получается размытая полоса с радужной окраской. Для устранения этого эффекта служит компенсатор дисперсии, устанавливаемый перед объективом зрительной трубы, рассчитанный на измерение показателей преломления для длины волны светового излучения $\lambda = 0,589$ мкм. Так как положение границы светотени зависит от показателя преломления исследуемой жидкости, то на экране окуляра нанесена шкала, которая проградуирована в делениях показателя преломления n . В рефрактометрах целевого назначения дополнительно наносится шкала концентраций растворов какого-либо вещества $C\%$ (например, сахара). Таким образом, в поле зрения наблюдателя оказываются две шкалы (n и $C\%$), граница света и тени, а также визирная линия в виде трех штрихов, при совмещении которых с границей светотени, определяется предельный угол и соответствующие ему значения показателя преломления и концентрации (рис. 5.)

Для ознакомления обучаемых с использованием рефрактометрии в офтальмологии следует познакомить их с современными методами диагностики зрения. Глаз человека является сложной оптической системой, которая состоит из нескольких поверхностей, тел и сред, обладающих определенными свойствами преломления света. Способность преломлять свет с нужной силой для получения четкого

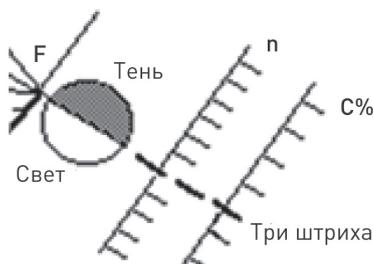


Рис. 5. Поле окуляра рефрактометра

изображения называется рефракцией. При нарушениях рефракции диагностируются близорукость (миопия), дальнозоркость (гиперметропия) и астигматизм. Во время исследования инфракрасный луч, испущенный специальным рефрактометром проходит через зрачок и преломляющие среды глаза (роговица, хрусталик) к сетчатке, после чего он отражается от глазного дна и прodelьывает путь в обратном порядке. Оптическая сила глаза уникальна для каждого конкретного человека и зависит от степени кривизны роговицы, расстояния между ней и хрусталиком, именно за счет разности значений этих показателей достигается определенный уровень рефракции. Сила и интенсивность отраженного луча анализируется специальным датчиком. В норме (при эметропии) инфракрасные лучи фокусируются на сетчатке, если есть помутнения, искривления или другие патологии в глазных средах, то время прохождения световых лучей изменяется — это и улавливает рефрактометр. Одновременно аппарат определяет радиус и кривизну роговицы. Датчики считывают полученную информацию, а компьютерная программа производит сравнительный анализ исходных и вновь полученных данных, на основании этого анализа делается расчёт клинической рефракции для каждого глаза. Полученные результаты отражаются на мониторе и тут же распечатываются. В наши дни рефрактометрию проводят на компьютерных аппаратах последнего поколения. Каждый глаз исследуется по отдельности. Пациент получает установку сосредоточенно смотреть на специальное изображение, которое постепенно меняет свою резкость. Показатели рефрактометрии записывают в три колонки. Первая колонка SPH (сферический компонент рефракции), его расшифровка показывает наличие близорукости или дальнозоркости, здесь также указывается степень нарушения зрения. Вторая колонка CYL (цилиндр), его расшифровка показывает астигматизм каждого глаза. Третья колонка AX (ось) также относится к астигматизму и показывает, под каким углом должна быть установлена линза. Показатель PD показывает расстояние между зрачками и нужен для изготовления линз и очков.



Рис. 6. Современный рефрактометр для диагностики зрения

Представленный подход к изучению рефрактометрии на занятиях по физике в медицинском университете, может быть использован для составления методических материалов и будет способствовать эффективному формированию у студентов компетенций, необходимых в их будущей профессиональной деятельности. ■

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельцов А.В., Авачева Т.Г. Возможности единой информационной образовательной среды для изучения физики в медицинском вузе // Школа будущего. 2018, №3. С. 53–63.
2. Ельцов А.В., Ельцова Л.Ф., Махмудов М.Н. Принципы создания электронного учебника // Человеческий капитал. 2016, № 10(94). С. 4–7.
3. <https://zrenie1.com/proverka/diagnostika/refraktometriya.html>