

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра физики

ФИЗИКА
ОПТИКА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ
РЕФРАКТОМЕТРОМ АББЕ

Выполнение лабораторной работы

Методические указания для студентов очной и заочной форм обучения
по направлениям подготовки:

- 01.00.00 — Математика и механика
- 13.00.00 — Электро- и теплоэнергетика
- 15.00.00 — Машиностроение
- 18.00.00 — Химические технологии
- 27.00.00 — Управление в технических системах
- 29.00.00 — Технологии легкой промышленности

Составители:
М. Ю. Дёмина
Е. А. Яшкевич

Санкт-Петербург
2025

Утверждено
на заседании кафедры физики
04.02.2025 г., протокол № 4

Рецензент В. О. Кабанов

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Физика» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: 01.00.00 «Математика и механика», 13.00.00 «Электро- и теплоэнергетика», 15.00.00 «Машиностроение», 18.00.00 «Химические технологии», 27.00.00 «Управление в технических системах» и 29.00.00 «Технологии легкой промышленности».

Методические указания содержат теоретическую и практическую части. Теоретическая часть посвящена описанию законов геометрической оптики, явлению полного внутреннего отражения, в ней рассмотрена оптическая схема рефрактометра Аббе и ход лучей при измерении показателя преломления жидкости по методу скользящего луча и методу полного внутреннего отражения. В практической части приведено описание модели рефрактометра Аббе ИРФ-456 и порядок выполнения лабораторной работы.

Методические указания предназначены для бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
-Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 02.04.2025 г. Рег. № 5077/25

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
Законы геометрической оптики	4
Явление преломления света. Закон Снелля	5
Полное внутреннее отражение.....	7
Рефрактометр Аббе.....	9
<i>Метод скользящего луча</i>	9
<i>Метод полного внутреннего отражения</i>	11
Рефрактометрия	12
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-13	14
Описание экспериментальной установки	14
Порядок выполнения работы	17
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	19
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ И РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	20
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА	20
ОБРАЗЕЦ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3-13	21

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Законы геометрической оптики

Геометрической оптикой называют часть оптики, в которой изучаются законы распространения света в прозрачных средах на основе представления о нем, как о совокупности световых лучей.

Под лучом понимают линию, вдоль которой переносится энергия световой волны. Основу геометрической оптики образуют четыре закона: 1) закон прямолинейного распространения света; 2) закон независимости световых лучей; 3) закон отражения света; 4) закон преломления света.

Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Этот закон является приближенным: при прохождении света через очень малые отверстия наблюдаются отклонения от прямолинейности, тем большие, чем меньше отверстие.

Закон независимости световых лучей: лучи при пересечении не возмущают друг друга. Пересечения лучей не мешают каждому из них распространяться независимо друг от друга. Этот закон справедлив при не слишком больших интенсивностях света. При интенсивностях, достигаемых с помощью лазеров, независимость световых лучей перестает соблюдаться.

При падении лучей света на границу раздела двух сред происходят явления отражения и преломления световых лучей (рис. 1).

Углом падения называют угол i между падающим лучом A света и перпендикуляром к границе раздела двух сред, восстановленным в точке падения O .

Углом отражения называют угол i' между отраженным лучом B света и перпендикуляром к отразившей свет поверхности, восстановленным в точке падения O .

Закон отражения: 1) падающий луч A , отраженный луч B и перпендикуляр, восстановленный в точке падения O , лежат в одной плоскости; 2) угол падения i равен углу отражения i' .

При переходе света через границу раздела двух сред, скорость распространения света в которых различна, происходит изменение его направления. Это явление называется преломлением или рефракцией света. При перпендикулярном падении лучей на границу раздела сред изменения направления света не происходит.

Углом преломления называют угол r между лучом C , прошедшим через границу раздела двух сред, и перпендикуляром к границе, восстановленным в точке преломления O (рис. 1).

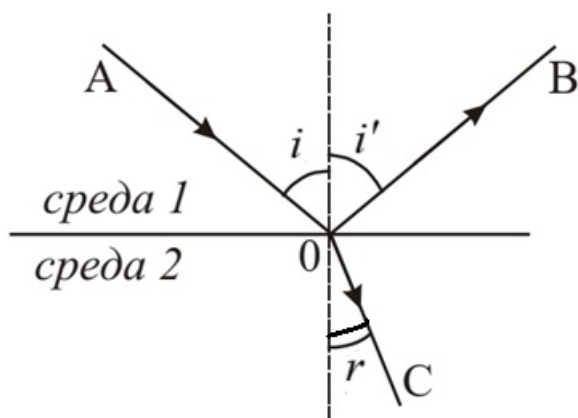


Рисунок 1 – Отражение и преломление света на границе раздела сред

Явление преломления света. Закон Снелля

Направление преломленной волны можно установить на основании принципа Гюйгенса – Френеля. Пусть AC (рис. 2) есть фронт плоской монохроматической волны, подошедшей к границе MN двух сред в некоторый момент времени t_1 .

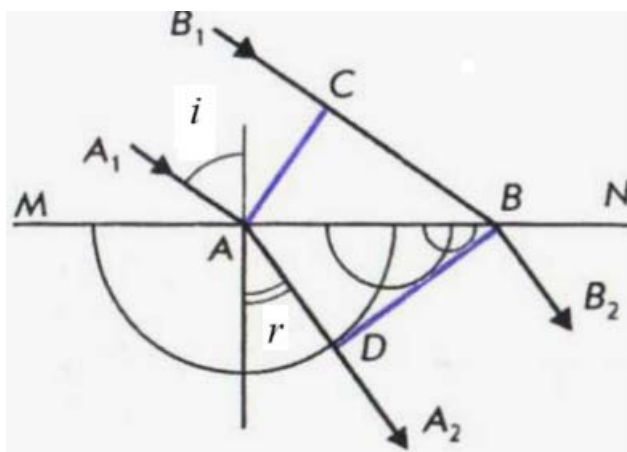


Рисунок 2 – Преломление световой волны на границе раздела сред

Скорость распространения волн в первой и второй средах обозначим, соответственно, v_1 и v_2 , причем $v_1 > v_2$. Определим положение фронта волны во второй среде в момент времени t_2 , который выберем таким образом, чтобы за время $\Delta t = t_2 - t_1$ фронт волны в первой среде дошел от точки C до точки B на границе сред. Искомый фронт волны можно найти как огибающую вторичных волн, распространившихся за время Δt из точек A и C .

Вторичная волна из точки A за время Δt пройдет во второй среде расстояние $AD = v_2 \Delta t$. Вторичная волна из точки B в первой среде за это время пройдет расстояние $CB = v_1 \Delta t$. Новый фронт волны будет представлять собой огибающую вторичных волн DB .

В точках A и B построим падающий и преломленный лучи. Угол CAB равен углу падения i , а угол ABD – углу преломления r .

Из треугольника BAC следует:

$$BC = AB \sin i = v_1 \Delta t. \quad (1)$$

Из треугольника ABD следует:

$$AD = AB \sin r = v_2 \Delta t. \quad (2)$$

Разделив первое равенство на второе и сократив левую часть на AB , а правую на Δt , получим:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (3)$$

Отношение скорости света в вакууме к скорости света в данной среде называется *абсолютным показателем преломления среды*:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (4)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, v – скорость света в данной среде.

При переходе света из одной среды в другую учитывается относительный показатель преломления n_{21} второй среды по отношению к первой, равный отношению абсолютных показателей преломления этих сред:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5)$$

Таким образом, относительный показатель преломления n_{21} второй среды относительно первой представляет собой отношение скорости света в первой среде v_1 к скорости света во второй среде v_2 :

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (6)$$

Из формул (3) и (6) следует закон преломления (*закон Снеллиуса или Снелля*): отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21}. \quad (7)$$

Преломленный луч, падающий луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости.

Обычно оптические свойства вещества характеризуются показателем преломления n относительно воздуха, который мало отличается от абсолютного показателя преломления. Среда, у которой абсолютный показатель преломления больше $n_2 > n_1$, называется оптически более плотной. Если $n_2 < n_1$, то среда 2 называется оптически менее плотной по сравнению со средой 1.

Показатель преломления зависит от длины волны света. Его обычно относят к монохроматическому желтому излучению паров натрия (длина волны 589 нм).

Полное внутреннее отражение

При переходе луча света из оптически более плотной в оптически менее плотную среду ($n_2 < n_1$) угол преломления r больше угла падения i (рис. 3). Преломленный луч $1''$ в точке падения луча отклоняется от перпендикуляра к границе раздела двух сред. По мере увеличения угла падения i (луч 2) угол преломления r растёт, оставаясь все время больше угла i (луч $2''$). Наконец, при некотором угле падения i_{np} (луч 3) угол преломления будет равен 90° и преломленный луч пойдёт по границе раздела сред (луч $3'$).

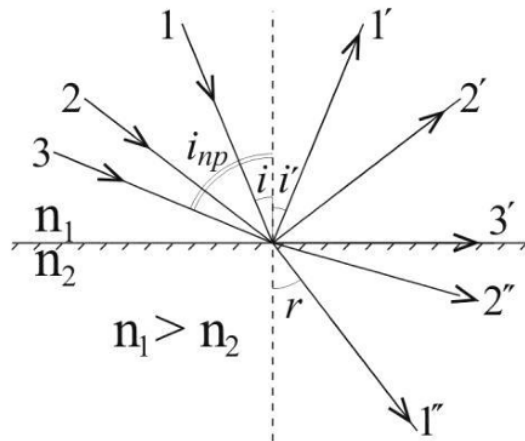


Рисунок 3 – Предельный угол полного внутреннего отражения

Следовательно, при падении лучей на границу раздела двух сред, из которых первая оптически более плотная ($n_1 > n_2$), под углом большим i_{np} , лучи не проходят через поверхность раздела, а полностью отражаются от нее, такое явление называют *полным внутренним отражением*. Угол падения i_{np} , соответствующий углу преломления $r = 90^\circ$, называется *предельным углом полного внутреннего отражения*. Он определяется из условия:

$$\sin i_{np} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (8)$$

Зная показатель преломления одной из сред и определяя на опыте предельный угол, можно с помощью (5) определить показатель преломления второй среды.

Для углов падения i , меньших предельного i_{np} , свет частично проникает в оптически менее плотную среду, а частично отражается. Если $i_{np} < i < 90^\circ$, преломленный луч отсутствует, и наступает полное внутреннее отражение (рис. 4). В результате этого в отраженных лучах образуется граница между светлой областью (полное отражение) и полутенью (частичное отражение).

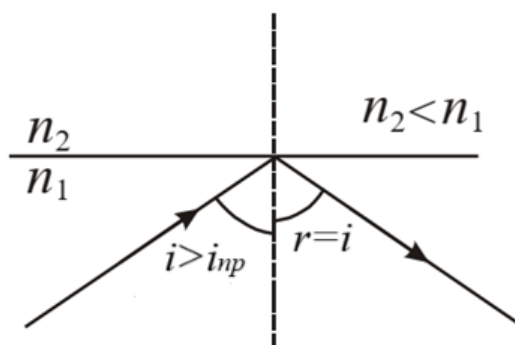


Рисунок 4 – Полное внутреннее отражение

При переходе луча света из оптически менее плотной в оптически более плотную ($n_2 > n_1$) среду угол преломления r меньше угла падения i (рис. 5). Преломленный луч в точке падения луча отклоняется в сторону перпендикуляра к границе раздела двух сред.

В зависимости от угла падения (рис. 5) луч во второй среде может составлять с нормалью углы, расположенные в интервале от нуля до r_{np} . Предельный угол преломления r_{np} (луч 2') соответствует углу падения $i = 90^\circ$ (скользящий луч 2).

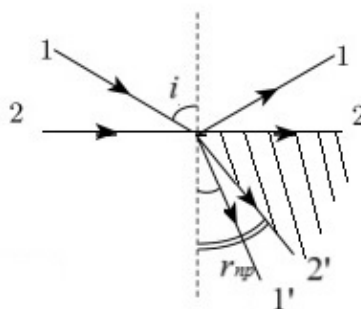


Рисунок 5 – Предельный угол преломления

Таким образом во второй среде свет будет распространяться только под углами к нормали, не превышающими r_{np} , т. е. в заштрихованную область свет из первой среды попасть не может. В результате в преломленных лучах образуется резкая граница между светлой и темной областями. Величина предельного угла преломления определяется формулой:

$$\sin r_{np} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (9)$$

Эффект полного внутреннего отражения используется в оптических волокнах. Осевая часть волокна (сердцевина) формируется из стекла с более высоким показателем преломления, чем окружающая оболочка. Такие световоды используются для построения волоконно-оптических кабелей (рис. 6).

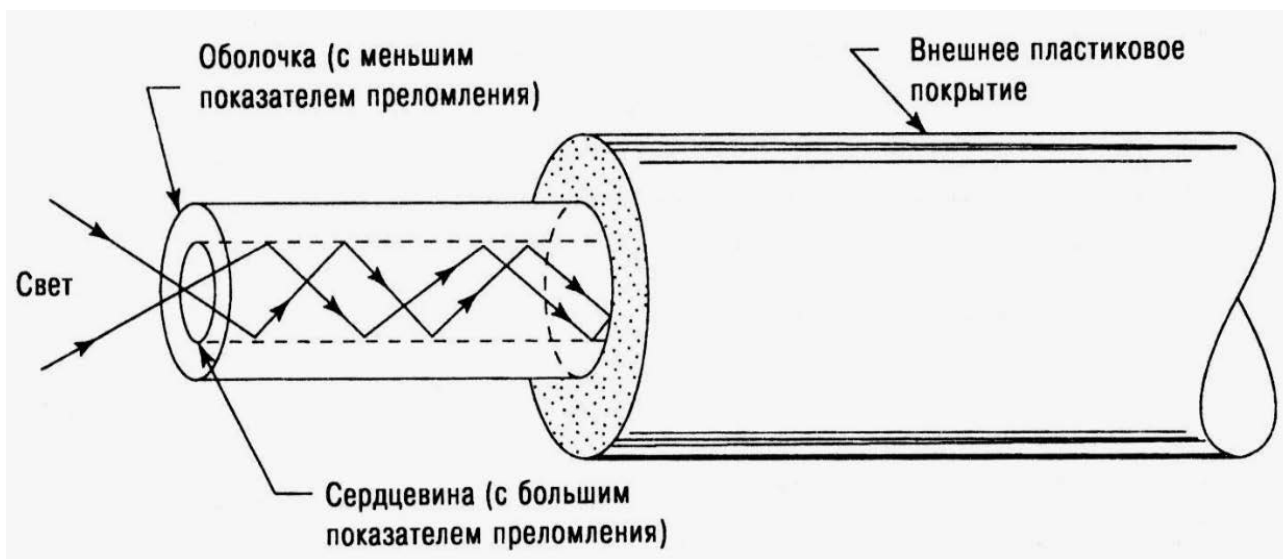


Рисунок 6 – Конструкция оптического волокна

Рефрактометр Аббе

Существует несколько видов приборов, предназначенных для измерения показателей преломления веществ, такие приборы называются рефрактометрами.

Технический рефрактометр Аббе служит для быстрого измерения показателей преломления жидких и твердых тел. В основу конструкции прибора положен метод определения показателя преломления исследуемого вещества по предельному углу преломления или предельному углу полного внутреннего отражения. Определение показателя преломления можно производить в проходящем (бесцветные и слабоокрашенные жидкости) или в отраженном свете (темные и сильноокрашенные жидкости).

Метод скользящего луча

При измерениях показателя преломления с помощью рефрактометра Аббе можно пользоваться как методом полного внутреннего отражения, так и методом скользящего луча.

Оптическая схема рефрактометра Аббе и ход лучей при измерении показателя преломления жидкости по методу скользящего луча показаны на рисунке 7.

Основной частью рефрактометра являются две прямоугольные призмы P_1 и P_2 , изготовленные из стекла с большим показателем преломления. В разрезе призмы имеют вид прямоугольных треугольников, обращенных друг к другу гипотенузами; зазор между призмами имеет ширину около 0,1 мм и служит для помещения исследуемой жидкости. Свет проникает в призму P_1 через грань bf и попадает в жидкость через матовую грань ab . Свет, рассеянный матовой поверхностью, проходит слой жидкости и под всевозможными углами падает на грань cd призмы P_2 .

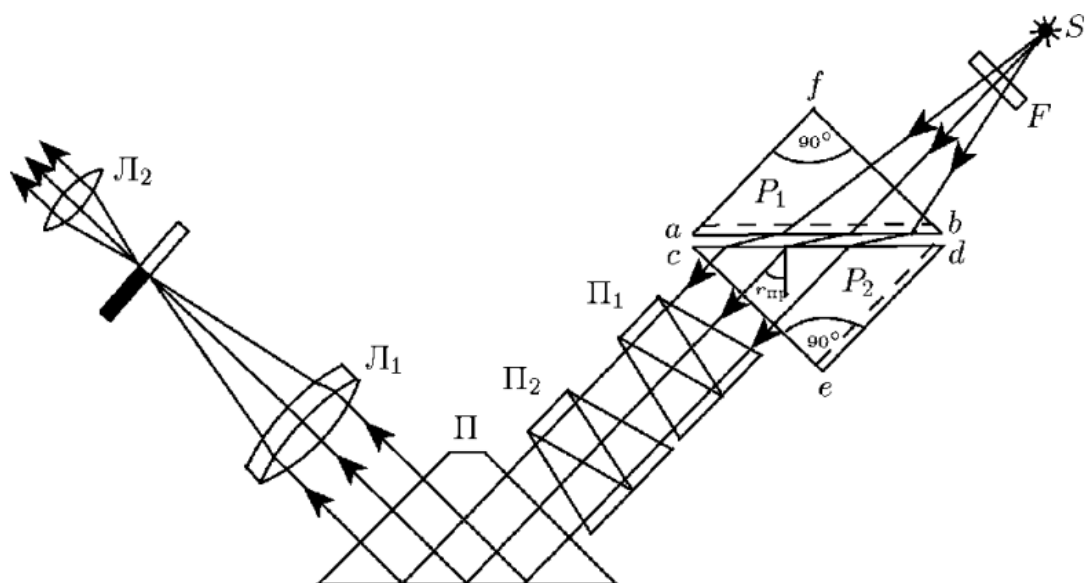


Рисунок 7 – Ход лучей в рефрактометре при измерении показателя преломления жидкости методом скользящего луча

Скользящему лучу в жидкости ($i = 90^\circ$) соответствует предельный угол преломления r_{np} . Преломленные лучи с углами больше r_{np} не возникают. В связи с этим угол выхода лучей из грани se может изменяться лишь в некотором интервале.

Если свет, выходящий из грани se пропустить через собирающую линзу L_1 , то в ее фокальной плоскости наблюдается резкая граница света и темноты. Граница рассматривается с помощью линзы L_2 . Линзы L_1 и L_2 образуют зрительную трубу, установленную на бесконечность. В их общей фокальной плоскости находится изображение шкалы величин показателя преломления и указатели (нить и перекрестие). Вращая систему призм P_1 и P_2 и, следовательно, изменяя наклон предельного пучка лучей относительно оси зрительной трубы, можно добиться, чтобы граница света и тени оказалась в поле зрения окуляра L_2 и совпала с положением указателя. При вращении системы призм поворачивается и шкала показателя преломления, установленная на пластине, жестко связанной с системой призм P_1 и P_2 . Значение показателя преломления жидкости отсчитывается по шкале на уровне резкой границы света и тени.

Если источник света S не является монохроматическим, то наблюдаемая в окуляре трубы граница света и темноты часто оказывается размытой и окрашенной из-за дисперсии показателя преломления исследуемого вещества, т. е. из-за зависимости n от длины волны λ . Для того чтобы получить и в этом случае резкое изображение границы, на пути лучей, выходящих из призмы P_2 , помещают компенсатор с переменной дисперсией. Компенсатор содержит две одинаковые дисперсионные призмы Амичи (призмы Π_1 и Π_2), каждая из которых состоит из трех склеенных призм, обладающих различными дисперсиями и показателями преломления.

Призмы рассчитывают так, чтобы монохроматический луч с $\lambda_D = 589,3$ нм (среднее значение длины волны желтого дублета натрия) не испытывал отклонения. Лучи с другими длинами волн отклоняются в ту или иную сторону. Если положение призм соответствует рисунку 7, то дисперсия двух призм равна удвоенной дисперсии каждой из них. При повороте одной из призм Амичи на 180° относительно другой (вокруг оптической оси) полная дисперсия компенсатора оказывается равной нулю, т. к. дисперсия одной из призм скомпенсирована дисперсией другой. В зависимости от взаимной ориентации призм дисперсия компенсатора изменяется, таким образом, в пределах от нуля до удвоенного значения дисперсии одной призмы.

Для поворота призм друг относительно друга служит специальная рукоятка и система конических шестерен, с помощью которых призмы одновременно поворачиваются в противоположных направлениях. Вращая ручку компенсатора, следует добиваться того, чтобы граница света и тени в поле зрения стала достаточно резкой. Положение границы при этом соответствует длине волны λ_D , для которой обычно и приводятся значения показателя преломления.

В некоторых случаях, когда дисперсия исследуемого вещества особенно велика, диапазона компенсатора оказывается недостаточно и четкой границы получить не удастся. В этом случае рекомендуется устанавливать перед осветителем желтый светофильтр.

Применяемая в рефрактометре Аббе поворотная призма Π (призма Дове) позволяет сделать прибор более компактным.

Метод полного внутреннего отражения

На рисунке 8 показан ход лучей в рефрактометре при работе по методу полного внутреннего отражения. В этом случае свет от источника S после отражения от зеркала M_1 падает на матовую грань ed призмы P_2 (в методе скользящего луча эта поверхность закрывается металлической шторкой).

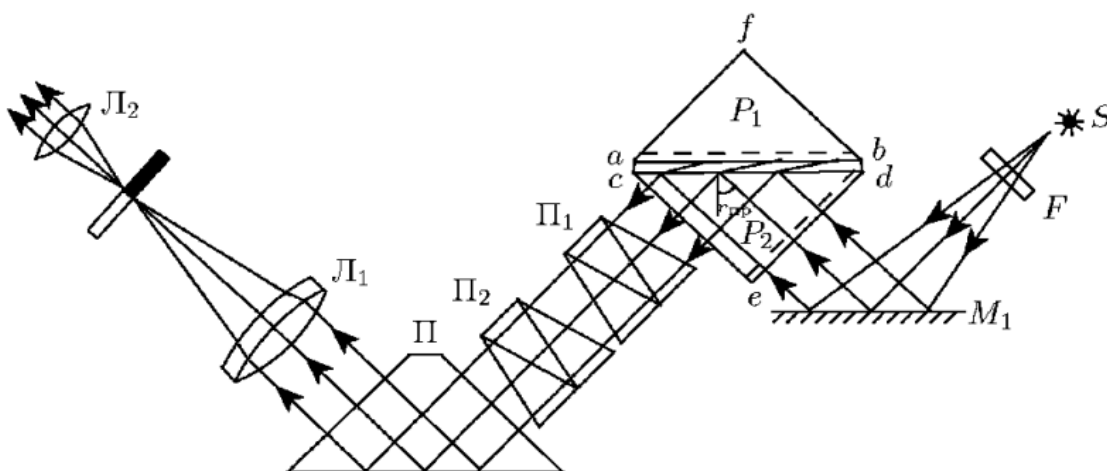


Рисунок 8 – Ход лучей в рефрактометре при измерении показателя преломления жидкости методом полного внутреннего отражения

После рассеяния на грани ed свет падает на границу раздела стекло-жидкость под всевозможными углами. При $r > r_{np}$ наступает полное внутреннее отражение, при $r < r_{np}$ свет отражается частично. В поле зрения трубы наблюдается граница света и полутени.

Так как условия, определяющие величину предельного угла в методе скользящего луча и в методе полного внутреннего отражения, совпадают, положение линии раздела в обоих случаях также оказывается одинаковым.

Заметим, что, в отличие от метода скользящего луча, метод полного внутреннего отражения позволяет измерять показатели преломления непрозрачных веществ.

Рефрактометрия

Показатель преломления принадлежит к числу немногих констант, которые можно измерить с очень высокой точностью и малой затратой времени, располагая лишь небольшим количеством вещества. При данной температуре и для данной длины волны они являются важнейшими постоянными, характеризующими вещество. Измерение показателей преломления может быть использовано для исследования веществ, соответствующий раздел науки носит название рефрактометрии. Обычно измерения проводят для D -линии натрия. Для этого используются приборы – рефрактометры.

Один из первых рефрактометров был создан в середине XVIII века. Ломоносов назвал его «квадрантом, придуманным для определения преломлений в химических телах». Термин «рефракция» был введен в науку Ньютоном в его книге «Оптика» в начале XVIII века. В наше время рефрактометр является обязательной принадлежностью многих исследовательских и производственных лабораторий. Рефрактометрические методы широко применяются в химической, нефтяной, фармацевтической, пищевой промышленности, в геологии, в сельском хозяйстве для контроля качества зрелости плодов, овощей, семян. В биологических, химических и физических лабораториях рефрактометры применяются для исследования эфирных масел, стекол, жиров, крови, жидкого топлива, смазочных масел, различных растворов и т. д. Простота и доступность измерений в сочетании с высокой точностью позволяет рефрактометрическим методам сохранить свое значение в будущем.

В основе рефрактометрического метода исследования лежит формула Лоренц-Лорентца, связывающая показатель преломления n изотропного вещества с числом молекул N в единице объема и поляризуемостью α молекул вещества:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi}{3} N\alpha. \quad (10)$$

Поляризуемость молекул

$$\alpha = \frac{p}{\varepsilon_0 E}, \quad (11)$$

где p – электрический момент молекулы; E – напряженность электрического поля; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Свойства вещества характеризует удельная рефракция

$$r = \frac{1}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}, \quad (12)$$

где ρ – плотность вещества. При помощи формулы (10) выражение для r чистого вещества преобразуется следующим образом:

$$r = \frac{4\pi\alpha}{3m_0}, \quad (13)$$

где m_0 – масса молекулы.

Существует эмпирическое правило, согласно которому рефракцию сложного химического соединения можно вычислить, складывая рефракции составляющих его элементов. Для каждого элемента удобно ввести понятие атомной рефракции R , представляющей произведение удельной рефракции r данного элемента на его атомную массу A :

$$R = Ar = \frac{A}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}. \quad (14)$$

Аналогично вводится молекулярная рефракция R_M химического соединения:

$$R_M = Mr = \frac{M}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}, \quad (15)$$

где M – молярная масса вещества.

Согласно формулам (10) и (15) молекулярная рефракция и поляризуемость молекулы связаны соотношением:

$$R_M = \frac{4\pi}{3} N_A \alpha, \quad (16)$$

где N_A – постоянная Авогадро.

Опыт показывает, что во многих случаях молекулярная рефракция обладает свойством аддитивности:

$$R_M = q_1 A_1 r_1 + q_2 A_2 r_2 + \dots = q_1 R_1 + q_2 R_2 + \dots, \quad (17)$$

где q_i – количество атомов i -го элемента в составе молекулы; R_i – атомная рефракция i -го элемента.

Идея аддитивной молекулярной рефракции подразумевает, что воздействие отдельных атомов на световую волну в основном не зависит от других атомов внутри той же молекулы. Когда аддитивность не наблюдается, это показывает, что атомы влияют друг на друга, и помогает понять структуру молекул.

Если на опыте измерить показатели преломления химических соединений, состоящих из трех одинаковых молекул, то, используя

аддитивность молекулярной рефракции, можно вычислить показатель преломления любого соединения из этих же молекул.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-13

Цель работы

Измерение показателей преломления жидкостей методом рефрактометрии.

Задачи работы

- 1) Экспериментальное определение показателей преломления жидкостей.
- 2) Вычисление молекулярной рефракции и поляризуемости молекул исследуемых жидкостей.

Приборы и оборудование

Рефрактометр Аббе ИРФ-454Б; жидкости: дистиллированная вода, глицерин, этиловый спирт.

Описание экспериментальной установки

Внешний вид прибора. Общий вид рефрактометра ИРФ-454 показан на рисунке 9. Основные узлы прибора смонтированы в металлическом корпусе. На корпус 1 выведены: рефрактометрический блок, маховик компенсатора 2, маховик поворота шкалы 3, зеркало подсветки шкалы 4, в верхней части корпуса размещен окуляр 5.

Рефрактометрический блок состоит из двух частей: верхней и нижней. Нижняя неподвижная часть является измерительной, а верхняя – осветительной призмой. Осветительную призму за рукоятку 6 можно откидывать на угол $\sim 100^\circ$. Обе призмы смонтированы так, что при складывании последних между ними остается свободное пространство около 0,1 мм. Это пространство при измерении заполняется исследуемой жидкостью. С левой стороны каждой из призм имеются отверстия, через которые свет от осветителя может быть направлен либо на боковую грань верхней призмы (метод скользящего луча), либо на нижнюю призму (метод полного отражения). Отверстия открываются (закрываются) шторками 7 и 8.

В поле зрения окуляра одновременно видны только часть изображения шкалы и часть поля сфокусированных лучей. Вращая маховик 2, можно добиться, чтобы граница света и тени оказалась в поле зрения окуляра и совпала с положением указателя. Индексом для отсчета служит центр неподвижного перекрестия.

Окрашенность наблюдаемой границы тени устраняется поворотом компенсатора с помощью маховика 3. Вместе с компенсатором одновременно

вращается и барабан со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества.

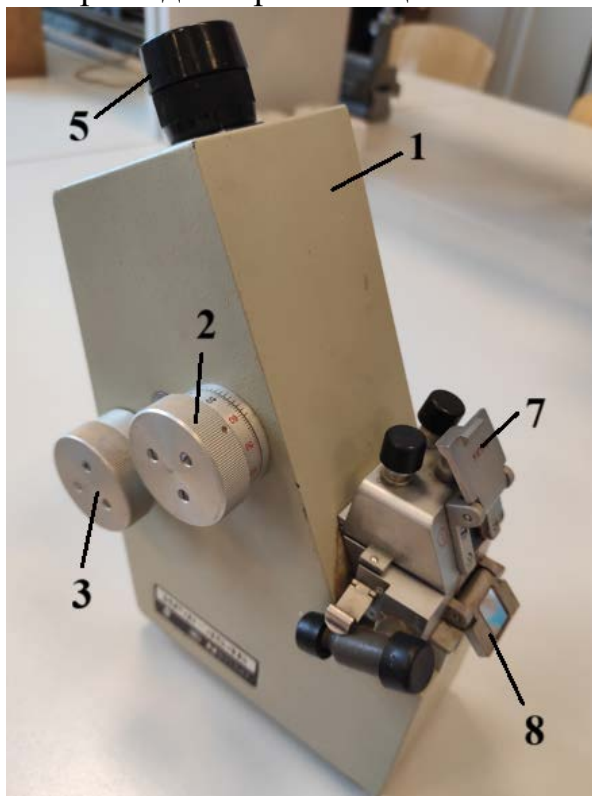


Рисунок 9 – Внешний вид рефрактометра Аббе ИРФ-454Б:
 1 – корпус; 2 – маховик компенсатора дисперсии; 3 – маховик поворота шкалы; 4 – зеркало; 5 – окуляр измерительная призма, 6 – рукоятка осветительной призмы; 7 – шторка осветительной призмы; 8 – шторка измерительной призмы

Принцип действия прибора. Действие рефрактометра ИРФ-454Б основано на измерении угла полного внутреннего отражения в случае непрозрачной исследуемой среды или предельного угла преломления на плоской границе раздела прозрачных сред (исследуемой и известной) при распространении света из среды с меньшим показателем преломления n в среду с большим показателем преломления n_{np}

$$n = n_{np} \sin r_{np}. \quad (18)$$

Подготовка рефрактометра к работе и установка освещения. Рефрактометр установить на лабораторном столе. Источником света может служить дневной свет или дополнительный осветитель. Осветитель установить так, чтобы свет падал на входное окно осветительной призмы или на зеркало 4, которым свет направляется во входное окно вдоль рабочей грани измерительной призмы.

Установка окуляра. Вывинтить окуляр 5 до упора. Затем повернуть его по часовой стрелке до тех пор, пока перекрестие в верхней части освещенного

поля зрения не будет видно резко. Одновременно окуляр фокусируется на резкость изображения шкалы в нижней части поля зрения.

Установка образца. Откинув осветительную (верхнюю) призму на чистую сухую поверхность измерительной (нижней) призмы, пипеткой осторожно, не касаясь призмы, нанести две-три капли жидкости. Жидкость должна полностью заполнить зазор между измерительной и осветительной призмами. Опустить осветительную призму и прижать ее застёжкой. Измерения прозрачных жидкостей проводить в проходящем свете, когда он проходит через открытое окно осветительной призмы, при этом окно измерительной призмы закрыто шторкой 8. Измерения окрашенных и мутных проб проводить в отраженном свете. Для этого закрыть шторку 7 и откинуть шторку с зеркалом 8, с помощью которого свет направляется в измерительную призму, при этом темное и светлое поля меняются местами.

Измерение показателя преломления. После установки исследуемого образца на измерительной призме навести окуляр на отчетливую видимость перекрестия визирных штрихов. Поворотом зеркала 4 добиться наилучшей освещенности шкалы. Вращать маховик компенсатора дисперсии 2 до исчезновения окраски граничной линии (рис. 10). Вращением маховика 3 ввести границу светотени в поле зрения окуляра.

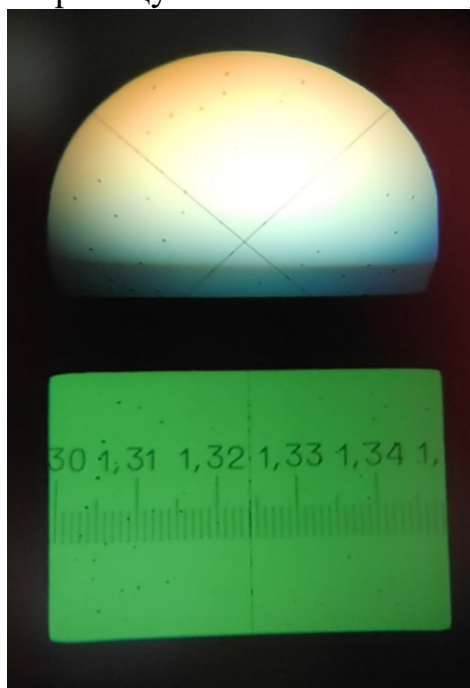


Рисунок 10 – Схема поля зрения в рефрактометре

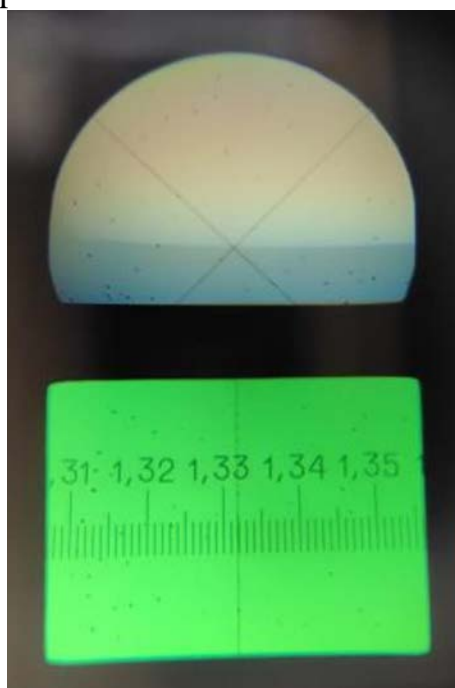


Рисунок 11 – Граница светотени на перекрестии визирных штрихов

Маховиком 3 точно совместить границу светотени и перекрестие визирных штрихов (рис. 11), снять отсчет по шкале показателей преломления. Индексом для отсчета служит неподвижный визирный штрих сетки.

Цена деления шкалы – 0,001. Целые, десятые, сотые и тысячные доли отсчитывать по шкале, десятитысячные доли оценивать на глаз. Область измерения в проходящем свете 1,3–1,7, в отраженном свете 1,3–1,57.

Очистка призм. Чтобы получать правильные значения показателей преломления, необходимо перед каждым опытом тщательно очищать рабочие поверхности призм, промокая их чистой мягкой салфеткой или фильтровальной бумагой. Следует иметь в виду, что рабочие поверхности призм легко повредить, поэтому при работе с ними необходима осторожность.

При визуальном отсчете по шкале наблюдатель допускает небольшие погрешности, в результате которых измеренные значения для одного и того же вещества в разных опытах не вполне точно совпадают между собой (случайный разброс). Рекомендуется поэтому проводить для каждой жидкости несколько измерений показателя преломления и определять среднее значение.

Порядок выполнения работы

1. Осторожно откидывают верхнюю призму. Наносят пипеткой на каждую призму 2–3 капли дистиллированной воды. Затем фильтровальной бумагой высушивают обе призмы (не тереть). Повторяют промывку призм еще раз.
2. Для измерения показателя преломления на поверхность нижней (измерительной) призмы наносят 2–3 капли исследуемого раствора.
3. Осторожно опускают верхнюю откидную призму.
4. Открывают зеркало подсветки шкалы 4 (рис. 9) и устанавливают его так, чтобы изображение шкалы, наблюдаемое в окуляр, было равномерно освещено. Если дневного света недостаточно, включают электролампу. Резкость изображения устанавливается вращением головки окуляра 5.
5. Открывают шторку окна осветительной призмы 7, шторка 8 должна быть закрыта.
6. Вращают окуляр 5 до тех пор, пока в поле зрения окуляра не появится граница света и тени (рис. 10).
7. Устраняют окраску светотени, вращая маховик компенсатора 2 (рис. 9).
8. Вращением окуляра 5 зрительной трубы производят дополнительную настройку на резкость изображения.
9. Вращая маховик 3, совмещают границу раздела светотени с центром перекрестия и по шкале показателей преломления производят отсчет (рис. 11).
10. Результат измерений показателя преломления жидкости записать в таблицу 1. Повторяют 5 измерений с каждой жидкостью. Для каждой исследуемой жидкости заполняется отдельная таблица 1.
11. Для каждой жидкости вычислить среднее значение показателя преломления:

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N},$$

среднее квадратичное отклонение:

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta n_i)^2}{N(N-1)},$$

оценить случайную:

$$\Delta n_{случ} = \sqrt{S_n^2}$$

и полную:

$$\Delta n = \sqrt{(\Delta n_{сист})^2 + (\Delta n_{случ})^2}$$

погрешности измерений.

12. По экспериментально определенным средним значениям показателя преломления вычислить молекулярные рефракции воды, глицерина и этилового спирта по формуле:

$$R_M = \frac{M}{\rho} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)}.$$

Необходимые справочные параметры исследуемых жидкостей приведены в таблице 2.

13. Поляризуемость молекулы вычислить по формуле:

$$\alpha = \frac{3R_M}{4\pi N_A},$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – число Авогадро.

14. Вычислить погрешности молекулярной рефракции и поляризуемости по правилам расчета погрешности косвенных измерений. Результаты записать в таблицу 3.
15. Дополнительно (по заданию преподавателя) по вычисленным в задании 2 молекулярным рефракциям воды R_{H_2O} , этилового спирта (этанола) $R_{C_2H_6O}$ и глицерина $R_{C_3H_8O_3}$ определить атомные рефракции углерода, водорода и кислорода R_C , R_H и R_O , решив систему трех линейных уравнений:

$$\begin{cases} R_{H_2O} = 2R_H + R_O \\ R_{C_3H_8O_3} = 3R_C + 8R_H + 3R_O \\ R_{C_2H_6O} = 2R_C + 6R_H + R_O \end{cases}$$

Таблица 1 – Показатель преломления

№ п/п	n_i	$\bar{n}$	$\Delta n_i = n_i - \bar{n}$	$(\Delta n_i)^2 = (n_i - \bar{n})^2$	S_n^2	$\Delta n_{случ}$	$\Delta n_{сист}$	Δn
1								
2								
3								
4								
5								

Таблица 2 – Справочные параметры жидкостей

Соединение	Химический состав	Молярная масса M , г/моль	Плотность ρ , г/см ³
Вода	H ₂ O	18,02	0,998
Этиловый спирт	C ₂ H ₅ OH	46,07	0,789
Глицерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,09	1,26

Таблица 3 – Результаты расчетов

Соединение	R_M , см ³ /моль	ΔR_M , см ³ /моль	α , 10 ⁻²⁴ см ³	$\Delta\alpha$, 10 ⁻²⁴ см ³
Вода				
Этиловый спирт				
Глицерин				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные законы геометрической оптики: законы отражения и преломления света.
2. Чем обусловлено изменение скорости распространения светового луча при переходе из одной среды в другую?
3. Каков физический смысл относительного и абсолютного показателей преломления вещества? Какое значение имеет измерение показателей преломления вещества?
4. Напишите закон преломления света. Нарисуйте ход луча при преломлении на границе раздела двух сред для случаев: 1) $n_1 > n_2$; 2) $n_1 < n_2$; 3) $n_1 = n_2$.
5. В каком случае угол преломления равен углу падения?
6. В чем состоит явление полного внутреннего отражения? При каких условиях оно может наблюдаться? Нарисуйте ход лучей при полном внутреннем отражении, укажите предельный угол внутреннего отражения.
7. Зависит ли показатель преломления вещества от длины волны преломляемого луча?
8. Расскажите о сущности метода, применяемого в работе для определения показателя преломления.
9. В чем заключается отличие метода скользящего луча от метода полного внутреннего отражения?
10. Расскажите, из каких основных частей состоит используемый в работе рефрактометр. Объясните их назначение.
11. Нарисуйте ход лучей в преломляющих призмах рефрактометра. Каким образом получается узкий пучок света, попадающий в объектив зрительной трубы рефрактометра? Поясните, как образуется граница света и тени в окуляре зрительной трубы.

12. Какова скорость света в воде, если при частоте 440 ТГц длина волны равна 0,51 мкм?
13. Найти скорость света в воде и стекле, если известно $n_{\text{воды}} = 1,33$ и $n_{\text{стекла}} = 1,5$.
14. Предельный угол полного внутреннего отражения для бензола равен $42^{\circ}23'$. Определить скорость света в бензоле.
15. Предельный угол полного отражения для спирта 47° . Найти показатель преломления спирта.
16. Луч от подводного источника света падает на поверхность воды ($n = 1,33$) под углом 35° . Под каким углом он выйдет в воздух?
17. Луч света, падая из воздуха на поверхность воды ($n = 1,33$), частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч перпендикулярен преломленному лучу?
18. Красный и фиолетовый лучи идут в стекле параллельно друг другу и падают на плоскую границу стекла и воздуха под углом 38° . Найти углы преломления этих лучей. Показатель преломления для красных лучей принять равным 1,6, для фиолетовых – 1,64.
19. На дно сосуда, наполненного водой ($n = 1,33$) до высоты 10 см, помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка таким образом, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды?

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ И РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев, И. В. Курс общей физики. Волны. Оптика. В 5 кн. Кн. 4 / И. В. Савельев. – М.: АСТ., Астрель, 2006. – 256 с.
2. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Издательский центр «Академия», 2020. – 560 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 3. – М.: Физматлит, 2004. – 792 с.
2. Ландсберг Г. С. Оптика: учебное пособие для студ. физических спец. вузов. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.

ОБРАЗЕЦ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3-13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ РЕФРАКТОМЕТРОМ АББЕ

1. Цель работы:

2. Задачи работы:

3. Приборы и оборудование:

4. Расчетные формулы:

Молекулярная рефракция

Поляризуемость молекулы

5. Результаты измерений и вычислений:

Таблица 1.1 – Показатель преломления воды

№ п/п	n_i	$\bar{n}$	$\Delta n_i = n_i - \bar{n}$	$(\Delta n_i)^2 = (n_i - \bar{n})^2$	S_n^2	$\Delta n_{случ}$	$\Delta n_{сист}$	Δn
1								
2								
3								
4								
5								

Таблица 1.2 – Показатель преломления этилового спирта

№ п/п	n_i	$\bar{n}$	$\Delta n_i = n_i - \bar{n}$	$(\Delta n_i)^2 = (n_i - \bar{n})^2$	S_n^2	$\Delta n_{случ}$	$\Delta n_{сист}$	Δn
1								
2								
3								
4								
5								

Таблица 1.3 – Показатель преломления глицерина

№ п/п	n_i	$\bar{n}$	$\Delta n_i = n_i - \bar{n}$	$(\Delta n_i)^2 = (n_i - \bar{n})^2$	S_n^2	$\Delta n_{случ}$	$\Delta n_{сист}$	Δn
1								
2								
3								
4								
5								

Таблица 2 – Результаты расчетов

Соединение	R_M , см ³ /моль	ΔR_M , см ³ /моль	α , 10 ⁻²⁴ см ³	$\Delta\alpha$, 10 ⁻²⁴ см ³
Вода				
Этиловый спирт				
Глицерин				

Выводы: