

## Лабораторная работа № 2

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА

### Приборы и принадлежности:

Рефрактометр типа Аббе (ИРФ-454), глицерин, дистиллированная вода, растворы глицерина.

### Принцип действия рефрактометра

Устройство рефрактометра типа Аббе основано на явлении полного внутреннего отражения света. Величина предельного угла на границе двух веществ зависит только от показателей преломления этих веществ. Поэтому, если известен показатель преломления одного вещества, то показатель преломления другого вещества можно определить, измерив предельный угол  $\alpha_{пр}$ :

$$n_2 = n_1 \sin \alpha_{пр} \quad (1)$$

Предельный угол можно измерить двумя способами:

Во-первых, направить на границу раздела пучок лучей со стороны среды с большим показателем преломления и наблюдать отраженный свет, как это показано на рис. 1, а. При  $\alpha < \alpha_{пр}$  свет частично проникает в оптически менее плотную среду, а частично отражается. При  $\alpha_{пр} < \alpha < 90^\circ$  преломленный луч отсутствует и наступает полное внутреннее отражение. Интенсивность света увеличивается.

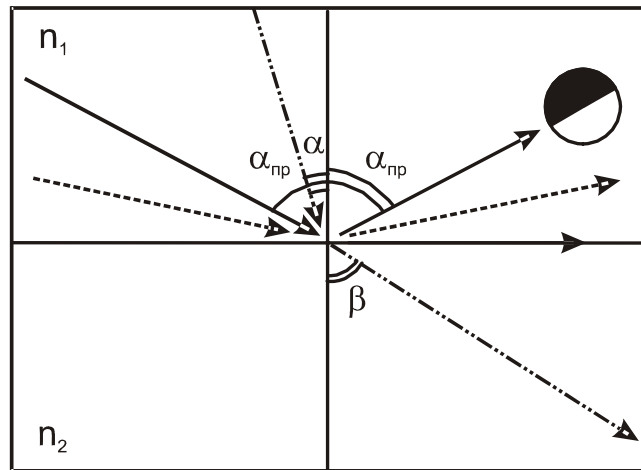


Рис. 1, а. Оптическая схема метода отражения

Во-вторых, можно осветить границу раздела сред скользящим пучком лучей со стороны слабопреломляющей среды и рассматривать преломленные лучи (рис. 1, б). При углах падения  $\beta < 90^\circ$  преломленные лучи проникают во вторую среду под углами  $\alpha < \alpha_{\text{пр}}$ . Предельный угол соответствует углу падения  $\beta = 90^\circ$ . Преломленные лучи с углами больше предельного не возникают.

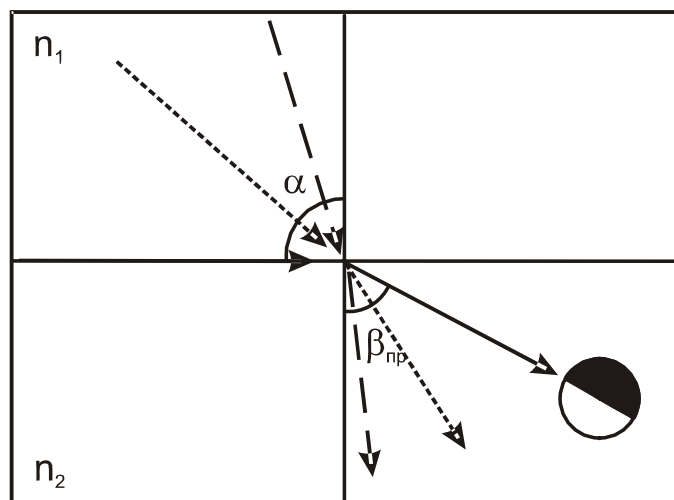


Рис. 1, б. Оптическая схема метода скользящего луча

В обоих случаях наблюдается граница света и тени, соответствующая предельному углу. Второй способ (метод "скользящего вхождения лучей") дает очень отчетливую и контрастную картину, но пригоден только для прозрачных

сред. Первый способ (метод полного отражения) может применяться и в случае малопрозрачных сред, но дает небольшую разницу освещенностей светлой и темной частей поля зрения, так что граница наблюдается труднее. При измерениях показателя преломления с помощью рефрактометра Аббе можно пользоваться как методом отражения, так и методом скользящего луча.

Оптическая схема рефрактометра типа Аббе и ход лучей при измерении показателя преломления жидкости по методу скользящего луча показаны на рис. 2, 3.

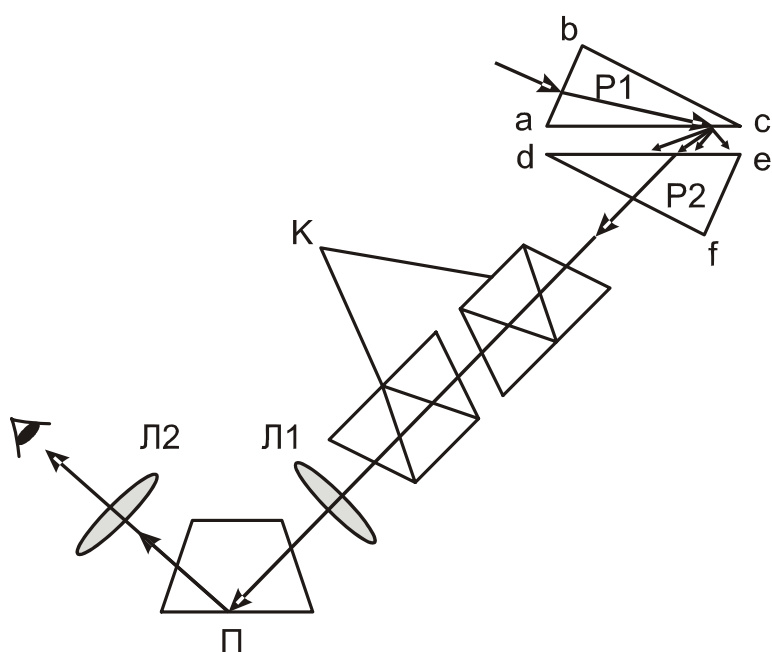


Рис. 2. Оптическая схема рефрактометра типа Аббе

Основной частью рефрактометра являются две прямоугольные стеклянные 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 служит для помещения исследуемой жидкости. Призма  $P_2$  с хорошо отполированной плоской гранью является измерительной, а призма  $P_1$  с матовой гранью осветительной. Лучи от источника света попадают на грань  $ab$  осветительной призмы, преломляются и попадают на матовую поверхность  $ac$ . Свет, рассеянный матовой

поверхностью, проходит плоскопараллельный слой исследуемой жидкости и под всевозможными углами падает на грань  $de$  призмы  $P_2$ . Если показатель преломления исследуемой жидкости меньше показателя преломления измерительной призмы  $P_2$ , то лучи всех направлений, преломившись на границе жидкость-стекло, войдут в призму  $P_2$ .

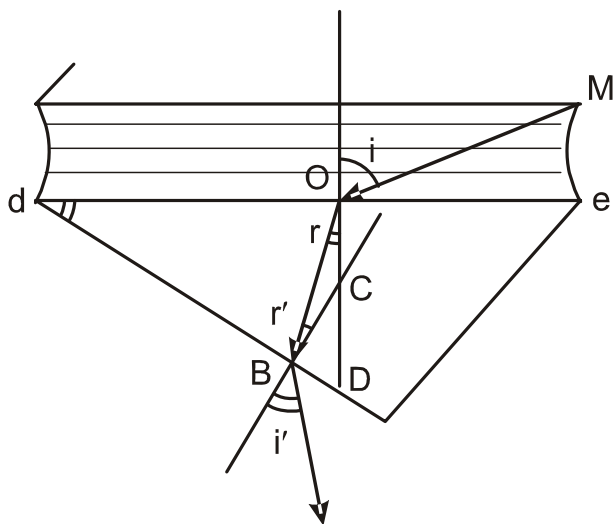


Рис. 3. Ход лучей при измерении показателя преломления жидкости по методу скользящего луча

На рис. 3 показан ход одного (MO) из множества лучей. Пусть  $n_1$  – показатель преломления исследуемой жидкости, а  $n_2$  – показатель преломления призмы, тогда, как видно из рисунка:

$$\sin i / \sin r = n_2 / n_1 \quad \text{и} \quad \sin r' / \sin i' = 1 / n_2 \quad (2)$$

Для  $\Delta OBC$  внешний угол  $\angle BCD = r + r'$ . Нетрудно показать, что угол  $\alpha$  одной из вершин призмы (рис. 3) также равен  $r + r'$ . Подставляя это значение в уравнение (2), получим:

$$\sin i' = n_2 \sin(\alpha - r) = n_2 \sin \alpha \cos r - n_2 \cos \alpha \sin r \quad (3)$$

и  $\sin r = (n_1 / n_2) \sin i$ , откуда  $\cos r = \left(1 - (n_1^2 / n_2^2) \sin^2 i\right)^{1/2}$ .

Подставляя значения  $\sin r$  и  $\cos r$  в уравнение (3), получим

$$\sin i' = \sin \alpha \left( n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i \right)^{1/2} - n_1 \cos \alpha \sin i \quad (4)$$

При достаточно тонком слое исследуемой жидкости из всего множества лучей, излучаемых матовой поверхностью  $ac$ , всегда найдется луч, для которого угол  $i$  будет близким к  $90^\circ$  (граничный луч). Пусть он выходит из призмы под углом  $i'_0$ . В этом случае:

$$\sin i'_0 = \sin \alpha \left( n_2^2 - n_1^2 \right)^{1/2} - n_1 \cos \alpha . \quad (5)$$

При любых других углах падения  $i < 90^\circ$  световые лучи выходят из призмы под углами  $i'$  большими, чем  $i'_0$ . Действительно, из уравнения  $r + r' = \alpha$  следует, что максимальному значению угла соответствует минимальное значение  $i' = i'_0$ . С этой точки зрения угол  $i'_0$  можно назвать "предельным углом". Таким образом, совокупность всех падающих лучей при выходе из призмы  $P_2$  дает лучи, идущие под углами, которые равны предельному или больше его. Если свет, выходящий из грани  $df$ , пропустить через собирающую линзу  $L_1$  (рис.2): параллельные лучи соберутся в ее фокальной плоскости и дадут светлую точку, а вся совокупность предельных пучков и пучков, идущих под углами больше предельного, разделят поле зрения на две части – светлую и темную с достаточно резкой границей между ними, так как в направлениях, заданных углами, меньшими, чем  $i'_0$ , свет не распространяется. Граница раздела соответствует направлению выхода лучей под предельным углом  $i'_0$ . Положение ее зависит от величины показателя преломления среды. Следовательно, если измерить предельный угол  $i'_0$ , можно по формуле (5) рассчитать показатель преломления жидкости (величины  $\alpha$  и  $n_2$  являются постоянными прибора).

Измерение угла  $i'_0$  производят с помощью зрительной трубы (линзы  $L_1$  –  $L_2$ , рис. 2), установленной на бесконечность. В фокальной плоскости трубы находятся также изображение шкалы и указатели. Шкала рефрактометров типа Аббе градуируется непосредственно в значениях показателя преломления  $n_D$ , необходимость каких-либо вычислений поэтому отпадает.

Оптическая схема рефрактометра содержит еще две вспомогательные призмы. Одна из них – поворотная призма  $\Pi$  – позволяет расположить ось зрительной трубы перпендикулярно плоскости расположения призм  $P_1 - P_2$ . Это делает прибор более компактным. С помощью второй – компенсатора  $K$  – устраняется влияние дисперсии белого света в призмах и исследуемом веществе.

Основной деталью компенсатора является призма прямого зрения (призма Амичи). Призма Амичи сложная, она склеена из трех призм (рис. 4), обладающих различными показателями преломления и различной дисперсией.

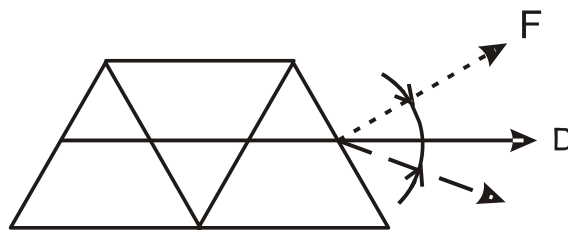


Рис. 4. Призма Амичи

Угловая дисперсия всей системы имеет некоторую суммарную величину  $\Delta k$ , которую можно изменять, вращая компенсатор. В рефрактометре Аббе призмы подобраны с таким расчетом, чтобы желтые лучи (D-линии натрия) не изменяли своего направления.

Принцип действия компенсатора сводится к следующему. Из призмленного блока  $P_1P_2$  лучи разного цвета выходят под разными углами с угловой дисперсией  $\Delta \beta$ . Если на пути выходящего светового потока установить призмы Амичи так, чтобы их угловая дисперсия  $\Delta k$  была равна по величине, но противоположна по знаку угловой дисперсии  $\Delta \beta$ , то суммарная дисперсия системы  $P_1P_2 -$  компенсатор будет равна нулю. При этом пучок цветных лучей соберется в белый луч, направление которого совпадает с направлением

желтого граничного луча  $D$ . Линия полного внутреннего отражения представится в этом случае в виде резкой границы между светлой и темной частями поля зрения, причем положение границы будет соответствовать длине волны  $\lambda_D$ , для которой обычно и приводятся значения показателей преломления.

В методе "полного отражения" свет вводится в рефрактометр через матовую грань  $ef$  призмы  $P_2$ , преломляется и под всевозможными углами падает на ее измерительную грань  $de$ . Так как условия, определяющие величину предельного угла в методе "скользящего луча" и методе "полного отражения", совпадают, положения линии раздела в обоих случаях совпадают и определяются выражением (5).

### **Описание прибора**

Общий вид рефрактометра ИРФ-454 показан на рис. 5. 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 вхождения лучей"), либо на нижнюю призму (метод "полного отражения"). Отверстия открываются (закрываются) заслонками 7 и 8.

В поле зрения окуляра одновременно видны только часть изображения шкалы и часть поля сфокусированных лучей. Вращая маховик 3, можно добиться, чтобы граница света и тени оказалась в поле зрения окуляра и

совпала с положением указателя. Индексом для отсчета служит центр неподвижного перекрестия.

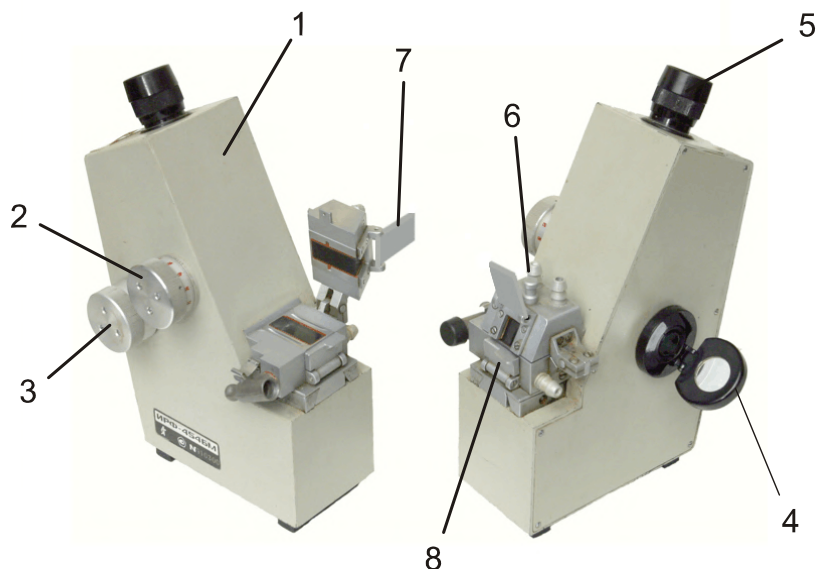


Рис. 5 Общий вид рефрактометра ИРФ-454

Окрашенность наблюдаемой границы тени устраняется поворотом компенсатора с помощью маховика 2. Вместе с компенсатором одновременно вращается и барабан со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества.

### **Порядок выполнения работы**

1. Открывают зеркало подсветки шкалы 4 (рис. 5) 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.

2. Открывают заслонку окна осветительной призмы 7. Заслонка окна измерительной призмы 8 должна быть закрыта. В этом случае реализуется метод "скользящего вхождения лучей".



3. Осторожно откидывают верхнюю часть призмного блока и на поверхность нижней (измерительной) призмы наносят 2-3 капли исследуемого раствора.

4. Опускают верхнюю часть рефрактометрического блока.

5. Вращают маховик 3 до тех пор, пока в поле зрения окуляра не появится граница света и тени.

6. Устраняют окраску границы светотени, вращая рукоятку компенсатора 2.

7. Вращением окуляра зрительной трубы производят дополнительную настройку на резкость изображения.

8. Совмещают границу раздела с центром перекрестия и по шкале показателей преломления производят отсчет. Индексом для отсчета служит неподвижный визирный штрих. Пример отсчета показан на рис. 6.

В этом примере  $n=1.533$ .

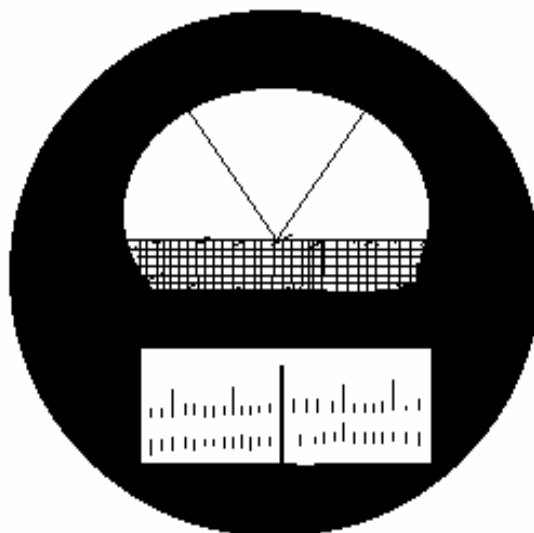


Рис. 6. Пример отсчета.

9. Всего производят 3 измерения с каждым раствором. Результаты измерений записывают в таблицу.

10. Те же операции проделывают с другими растворами. Все измеренные значения записывают в таблицу. Рекомендуется проводить вычисления в следующем порядке: вода, раствор № 1, раствор № 2, раствор № 3, глицерин.

11. По окончании измерений вытирают рабочие поверхности блока Аббе чистой мягкой тряпочкой или фильтровальной бумагой.

12. По измеренным значениям показателя преломления вычисляют рефракции воды  $R_B$ , глицерина  $R_G$  и растворов глицерина в воде  $R_1, R_2, R_3$ .

$$R_B = (n_B^2 - 1) / (n_B^2 + 2), \quad R_G = (n_G^2 - 1) / (n_G^2 + 2), \quad R_1 = (n_1^2 - 1) / (n_1^2 + 2),$$

$$R_2 = (n_2^2 - 1) / (n_2^2 + 2), \quad R_3 = (n_3^2 - 1) / (n_3^2 + 2)$$

Результаты расчетов записывают в таблицу.

13. Вычисляют объемное содержание (концентрацию) глицерина для каждого из предложенных растворов:

$$\delta_1 = (R_B - R_1) / (R_B - R_G), \quad \delta_2 = (R_B - R_2) / (R_B - R_G),$$

$$\delta_3 = (R_B - R_3) / (R_B - R_G)$$

Результаты расчетов записывают в таблицу.

14. Строят график зависимости рефракции воды, глицерина и растворов от концентрации растворенного вещества

**Таблица для записи результатов опытов**

	H <sub>2</sub> O	Р-р, 1	Р-р, 2	Р-р, 3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>
n	1				
	2				
	3				
Среднее n					
Среднее R					
δ, %	0 %				100 %

### Дополнительное задание

Используя измеренные значения показателей преломления воды ( $H_2O$ ), глицерина ( $C_3H_8O_3$ ) и таблицы физических величин, определите поляризуемость молекул этих жидкостей.

### Контрольные вопросы

1. Сформулировать законы преломления и пояснить физический смысл относительного и абсолютного показателя преломления.
2. Сформулировать условия, при которых наблюдается полное внутреннее отражение. Как измерить предельный угол?
3. Чем ограничены пределы измерения показателя преломления рефрактометром типа Аббе?
4. Какую роль играет в приборе компенсатор дисперсии?
5. Как измерить показатель преломления непрозрачных жидкостей?
6. Что такое рефракция вещества? Как проверить, выполняется ли правило аддитивности рефракции для растворов глицерина?
7. Устройство рефрактометра и ход лучей при монохроматическом излучении.
8. Почему сверкает бриллиант?

### **Литература**

1. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. Курс общей физики // СПб.: Издательство "Лань", 2006, т.3, §§ 251, 252, 280.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики // М.: Физматлит, Издательство МФТИ, 2002, т.4, §§ 2, 64, 84.