

## Лабораторная работа № 1

# ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПОДЛОЖЕК ПЛАНАРНЫХ ИОНООБМЕННЫХ ВОЛНОВОДОВ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.

### Цель работы:

1. Ознакомление с принципом действия рефрактометра;
2. Измерение показателя преломления подложек планарных ионообменных волноводов рефрактометрическим методом

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рефрактометр Аббе служит для быстрого измерения показателей преломления жидких и твёрдых тел. Устройство рефрактометра Аббе основано на явлении полного внутреннего отражения.

Пусть луч света падает на границу раздела двух сред со стороны оптически более плотной среды ( $n = n_2$ ). Для углов падения  $r$ , меньших предельного  $r_{\text{пр}}$ , свет частично проникает в оптически менее плотную среду ( $n = n_1$ ), а частично отражается. При  $r_{\text{пр}} < r < 90^\circ$  преломлённый луч отсутствует, и наступает полное отражение (рис. 1а). В результате этого в отражённых лучах образуется граница между светлой областью (полное отражение) и полутенью (частичное отражение).

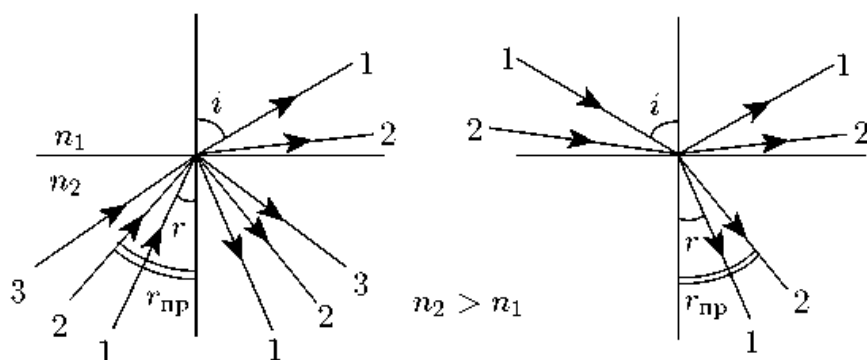


Рис. 1. Предельный угол полного внутреннего отражения (а) и предельный угол преломления (б)

Предельный угол  $r_{\text{пр}}$  соответствует углу преломления  $i = 90^\circ$ ; следовательно,

$$\sin r_{np} = n_1/n_2 \quad (1)$$

Зная показатель преломления одной из сред и определяя на опыте предельный угол, можно с помощью (1) определить показатель преломления второй среды.

Пусть свет падает на границу раздела со стороны оптически менее плотной среды (рис. 1б). В зависимости от угла падения луч во второй среде может составлять с нормалью углы, расположенные в интервале от нуля до  $r_{np}$ . Предельный угол преломления  $r_{np}$  соответствует углу падения  $i = 90^\circ$  (скользящий луч). В результате в преломлённых лучах образуется резкая граница между светлой и тёмной областями. Легко видеть, что величина предельного угла и в этом случае определяется формулой (1).

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 рис. 2.

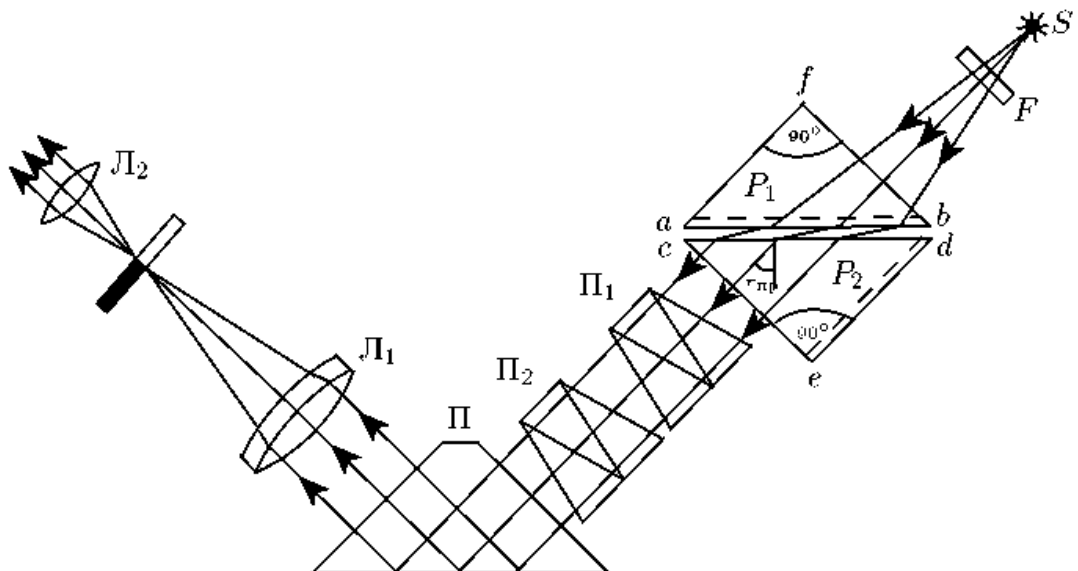


Рис. 2. Ход лучей в рефрактометре при измерении показателя преломления жидкости методом скользящего луча

Основной частью рефрактометра являются две стеклянные 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 составляет 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  $P_2$

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

Если свет, выходящий из грани  $ce$ , пропустить через собирающую линзу  $L_1$ , то в её 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). В поле зрения окуляра  $L_2$  трубы одновременно можно увидеть только часть изображения шкалы и часть поля сфокусированных лучей, выходящих из призмы  $P_2$ . 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 показателей преломления, установленная на пластине, жёстко связанной с системой призм  $P_1$  и  $P_2$  (на рис. 2 шкала не показана). 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  $\lambda$ ). 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** (рис. 3 и призмы  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  на рис. 2), каждая из которых состоит из трёх склеенных призм, обладающих различными показателями преломления и различной дисперсией. Призмы рассчитываются так, чтобы монохроматический луч с длиной волны  $\lambda_D = 589,3$  нм (среднее значение длины волны жёлтого дублета натрия) не испытывал отклонения. Лучи с другими длинами волн отклоняются в ту или иную сторону (рис. 3). Если положение призм соответствует рис. 2, то дисперсия двух призм равна удвоенной дисперсии каждой из них. При повороте одной из призм Амичи на  $180^\circ$  относительно другой (вокруг оптической оси) полная дисперсия компенсатора оказывается равной нулю, так как 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

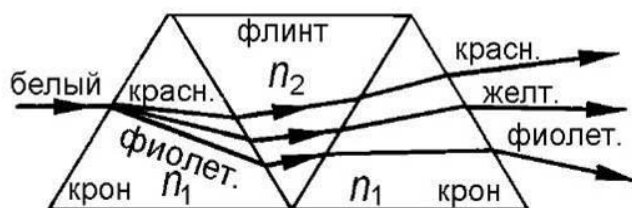


Рис. 3. Ход лучей в призме Амичи

Для поворота призм друг относительно друга служат 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 и не окрашенной. Положение границы при этом соответствует длине волны  $\lambda_D$ , для которой обычно и приводятся

значения показателя преломления.

В некоторых случаях, когда дисперсия исследуемого вещества особенно велика, диапазон компенсатора оказывается недостаточным и чёткой границы получить не удаётся. В этом случае рекомендуется устанавливать перед осветителем жёлтый светофильтр.

Применяемая в рефрактометре Аббе поворотная призма  $\Pi$  (призма Дове) позволяет сделать прибор более компактным.

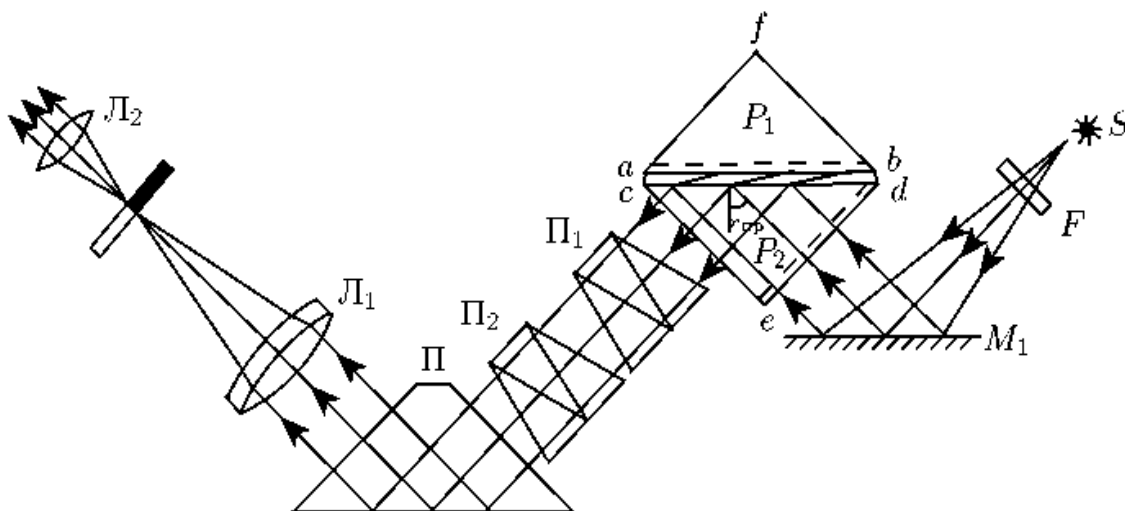


Рис. 4. Ход лучей в рефрактометре при измерении показателя преломления жидкости методом полного внутреннего отражения

На рис. 4 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). 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.

Рефрактометр Аббе можно использовать и для измерения показателей преломления твёрдых тел. И в этом случае применимы как метод полного внутреннего отражения, так и метод скользящего луча. Исследуемый образец должен иметь плоскую полированную поверхность; этой поверхностью он прижимается к гипотенузе  $cd$  призмы  $P_2$  (призма  $P_1$  при этом отклоняется в сторону). Для обеспечения оптического контакта в зазор между соприкасающимися поверхностями вводится тонкий слой жидкости, показатель преломления  $n$  которой удовлетворяет условию:  $n_1 < n < n_2$ , где  $n_1$  - показатель преломления исследуемого образца, а  $n_2$  - показатель преломления призмы  $P_2$ . При выполнении этого условия наличие слоя жидкости не искажает результатов измерения. (Студентам предлагается самостоятельно разобраться в этом вопросе.) Обычно для создания оптического контакта используют монобромнафталин, показатель преломления которого для жёлтых линий натрия около  $n_0 = 1,66$ .

При работе по методу скользящего луча образец должен иметь полированную боковую поверхность, сквозь которую в него проникает свет (рис. 5).

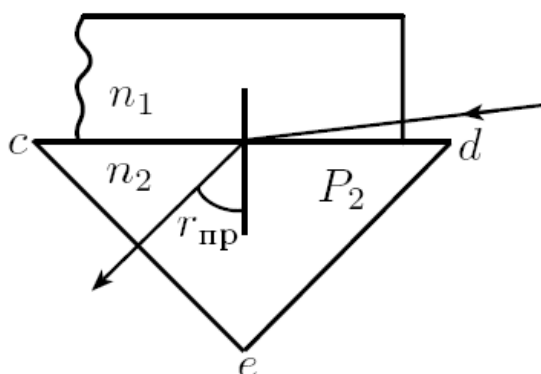


Рис. 5 Измерение показателя преломления твердых тел.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Прибор ИРФ-454 представляет собой современную модель

рефрактометра Аббе (рис.6). Он состоит из следующих основных частей: корпуса 1, измерительной головки 2 и зрительной трубы 3 с отсчетным устройством. В измерительной головке находится призменный блок Аббе, который жестко связан со шкалой отсчетного устройства, расположенной внутри корпуса. Шкала подсвечивается зеркалом 4 и проецируется специальной оптической системой в поле зрения трубы.

Таким образом, в поле зрения трубы одновременно видны граничная линия, крест нитей, деления шкалы и визирный штрих шкалы. Чтобы найти границу раздела и совместить ее с перекрестием, необходимо вращать маховичок 5. Окрашенность наблюдаемой границы устраняется поворотом компенсатора с помощью маховичка 6. Вместе с компенсатором одновременно вращается барабан 7 со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества. Подсветка исследуемого вещества осуществляется с помощью зеркала 8 дневным светом или от электрической лампы накаливания.

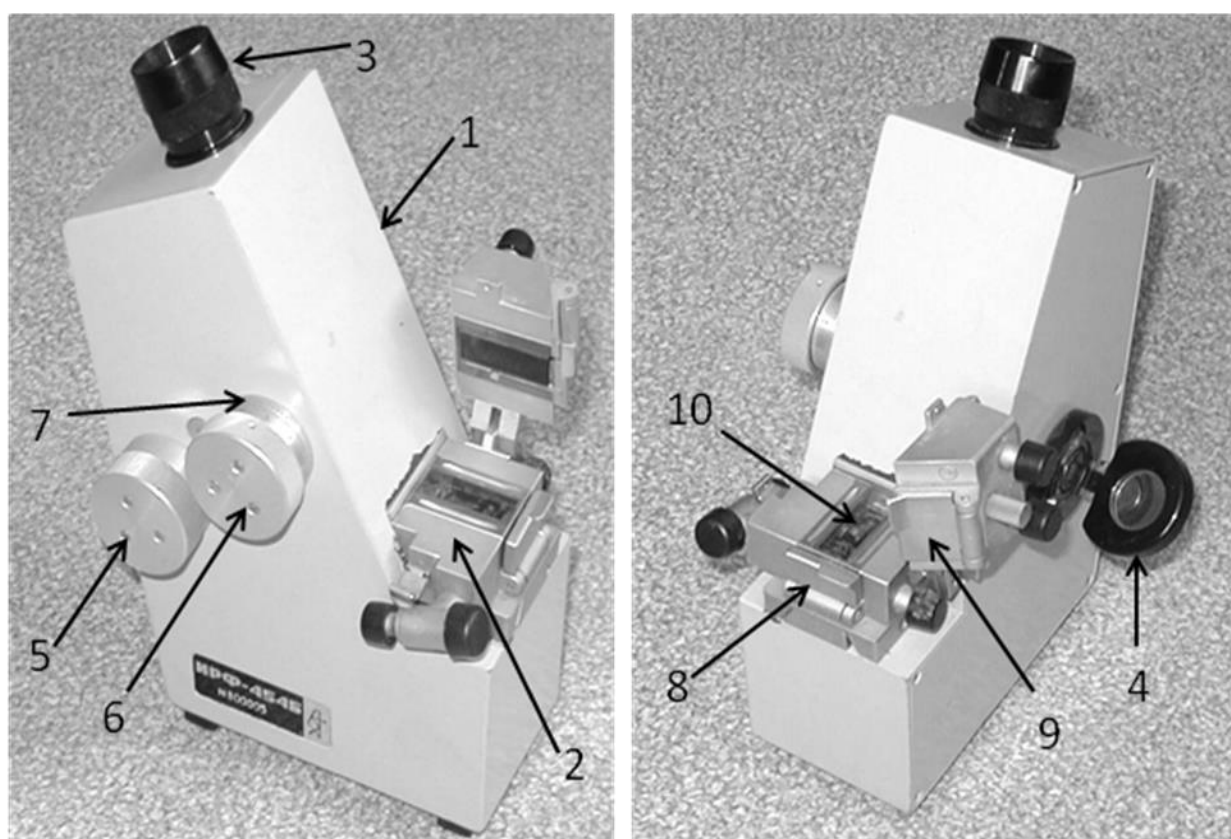


Рис. 6 Рефрактометр Аббе ИРФ-454.

## Методика работы

Перед работой верхнюю часть измерительной головки откидывают и при дальнейшей работе измерительную головку не закрывают. Соприкасающиеся поверхности образца и измерительной призмы протирают спиртом и чистой салфеткой. Для соблюдения оптического контакта между гранью измерительной призмы и исследуемым веществом помещают каплю жидкости, показатель преломления которой больше, чем показатель преломления измеряемого объекта. Введение между образцом и призмой параллельного слоя жидкости не оказывает влияния на ход лучей в системе. Обычно для этой цели служит монобромнафталин. Каплю жидкости помещают на полированную поверхность измерительной призмы 10 (рис. 6) при помощи стеклянной палочки с закругленным концом. Накладывают образец стекла, предназначенного для изготовления ионообменного волновода полированной гранью на измерительную призму. При установке образца плоскость его соприкосновения с измерительной призмой должна принимать равномерную окраску. Осветительное зеркало 4 устанавливают перед окном так, чтобы поле зрения трубы было равномерно освещено. Вращая маховичок 5, находят границу раздела света и тени, маховичком 6 устраняют ее окрашенность. Точно совмещая границу раздела с перекрестием сетки, снимают отсчет по шкале показателей преломления. Индексом для отсчета служит неподвижный визирный штрих сетки. Целые, десятые, сотые и тысячные доли значения показателя преломления отсчитываются по шкале, десятитысячные доли оцениваются на глаз. Шкала рефрактометра проградуирована для температуры 20<sup>0</sup>С. Так как показатель преломления в значительной мере зависит от температуры, в приборе предусмотрено термостатирование призмного блока с помощью камер, через которые пропускается вода, идущая от термостата. В учебных целях, если не требуется высокая точность при определении показателя, измерения могут проводиться без термостатирования.

По окончании измерений тщательно вытирают рабочие поверхности



блока Аббе мягкой тряпочкой или фильтровальной бумагой. **Полированную грань измерительной призмы надо вытирать очень осторожно, чтобы не повредить полировку.** Затем призмы промывают спиртом, протирают и оставляют блок на некоторое время открытым для просушки. После этого измерительную головку осторожно закрывают, и прибор накрывают футляром.

### **ВНИМАНИЕ!**

**Высокопреломляющие иммерсионные жидкости (монобромнафталин, нитротолуиден, нитроксилон) достаточно вредные для здоровья вещества.**

**ОБРАЩАТЬСЯ С ОСТОРОЖНОСТЬЮ!**

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что называется полным внутренним отражением?
2. Для чего грани  $ab$  и  $ed$  призм  $P_1$  и  $P_2$  делают матовыми?
3. При каких условиях слой жидкости между исследуемым твёрдым образцом и призмой  $P_2$  не влияет на измеренное значение показателя преломления?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Наука, 1976. Гл. XXIV, § 137; гл. XXVIII, § 156.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. - М.: Наука, 1980, § 84.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1970. Гл. II, §§ 2, 3, 4
4. Дитчберн Р. Физическая оптика. - М.: Наука, 1965. Гл. 14, 15.
5. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1974.