

Лабораторная работа №4, Евгений Павлов, группа РЭ-22

Цель работы: Определение показателя преломления и средней дисперсии жидкости и помощью рефрактометра типа Аббе (ИРФ-22).

Принадлежности: рефрактометр ИРФ-22, набор исследуемых жидкостей, описание рефрактометра.

Краткая теория:

Рефрактометр – это прибор для измерения показателя преломления n (коэффициент рефракции) веществ в различных агрегатных состояниях. Основными методами рефрактометрии являются: 1) методы простого измерения углов преломления свет (электромагнитного излучения в оптическом диапазоне) при прохождении им границы раздел двух сред; 2) метод, основанный на использовании явления полного внутреннего отражения (ПВО) свет; 3) интерференционные методы.

Для измерения n первым методом из исследуемого материала, находящегося в твердом состоянии, изготавливают призму с преломляющим углом α . Поворотом призмы (подбором угла падения луча на призму) добиваются минимального отклонения этого луча (угла δ) от его первоначального направления. Для определения коэффициент преломления n из геометрических построений и законов преломления можно записать следующее соотношение:

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (4.1)$$

При использовании явления ПВО для измерения n исследуемого веществ (2-й метод) образец приводится в оптический контакт с эталонной призмой, обладающей высоким и точно известным, коэффициентом преломления N (см. рис. 4.1). Освещая рассеянным светом границу раздела исследуемого вещества с измерительной призмой, мы наблюдаем границу света и тени под некоторым углом к грани ВС измерительной призмы. Используя закон преломления и геометрию (рис. 4.1), можно записать следующие соотношения:

$$\begin{cases} \sin \phi = n/N \\ \sin \beta = N \sin \beta' \sin \phi = n/N \\ \beta' = \pm(\phi - \alpha) \end{cases} \quad (4.2)$$

$$n = \sin \alpha \sqrt{N^2 - \sin^2 \beta} \pm \cos \alpha \sin \beta, \quad (4.3)$$

– определяет связь коэффициента преломления n с углами α , β и коэффициентом преломления измерительной призмы N .

Существуют два типа рефрактометров, которые используют метод предельного угла: это рефрактометры Пульфриха и Аббе.

Рефрактометр Аббе состоит из трех основных элементов: призмного блока Аббе; компенсатора дисперсии на основе двух призм Амичи; зрительной трубы. Рефрактометры этого типа имеют свои особенности: устройство измерительной ячейки; использование (белого) (дневного или искусственного) света; конструкция отсчетной шкалы, с устройством которой можно ознакомиться в описании прибора.

Призмный блок Аббе состоит из двух призм: 1-я призма - измерительная, изготовленная из тяже-

лого флинта с преломляющим углом $\alpha \approx 60^\circ$; 2-я - осветительная призма, изготовленная из любого стекла, имеет матовую поверхность $A'B'$ (см. рис. 4.2). Пространство между этими поверхностями (AB и $A'B'$) заполнено тонким слоем (0.1- 0.2 мм.) исследуемой жидкости. Поверхность $A'B'$ обеспечивает рассеянный свет, который через исследуемую жидкость падает на границу AB измерительной призмы. Можно считать, что на границу AB лучи свет падают под всеми углами, вплоть до максимального - 90° . Строго говоря, из-за конечной толщины жидкости между призмами, максимальный угол падения на призму не будет равен 90° , что приводит к определенной систематической погрешности определения n по формуле (4.3).

Использование призмного блока Аббе в рефрактометре позволяет производить измерения n в проходящем и в отраженном свете. Это обстоятельство обуславливает возможность использования рефрактометра Аббе для исследования жидких и твердых веществ.

В рефрактометре Аббе в качестве источника освещения используют «белый» свет, что определяет появление радужных полос на границе света в тени (в области определенного угла). Это явление связано с наличием дисперсии измерительной призмы и нашего вещества, которая приводит к зависимости предельного угла от длины волны падающего света. Следовательно, угловая дисперсия $\Delta\beta$ исходящих из призмного блока Аббе граничных лучей F (голубой) и C (красный) связан с дисперсией вещества Δn и призмы ΔN . Эта связь получается путем дифференцирования и комбинацией соотношений (4.2) и определяется следующим выражением:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta n \cos \beta^2 - \Delta N \sin \alpha}{\cos \beta \cos \varphi}. \quad (4.4)$$

Для устранения этого явления и фактического определения дисперсии исследуемого веществ служит компенсатор дисперсии, состоящий из двух призм прямого видения - призм Амичи (рис. 4.3). Эта призма склеена из трех: двух крайних из крона и средней из флинта. Углы и показатели преломления этих трех призм подобраны так, что лучи свет определенной длины волны (обычно желтой линии D) проходили через систему без отклонения, в то время как лучи красной и фиолетовой части спектра отклоняются в противоположные стороны на различные углы в зависимости от длины волны. Если угловая дисперсия призмы Амичи k подобрана такой величины, что она равна по значению и противоположна по знаку угловой дисперсии призмного блока Аббе с веществом, то суммарная дисперсия будет равна нулю и размытие границы света и тени исчезает, причем положение четкой границы свет и тени в этом случае совпадает с положением предельного угла для спектральной линии D , несмотря на то, что измерения производились в «белом» свете. Для расширения диапазона компенсации дисперсии используют блок из двух призм Амичи. Конструкция такого блока позволяет при повороте этих призм вокруг оптической оси на угол ϕ изменять его дисперсию от 0 до $2k$ в соответствии с выражением:

$$\Delta\beta = 2k \cos \phi \quad (4.5)$$

Найдем связь дисперсии вещества Δn с угловой дисперсией $\Delta\beta$ и некоторыми параметрами рефрактометра. В соответствии с (4.4) мы запишем соотношение:

$$\Delta n = \frac{\cos \beta \cos \varphi}{\cos \beta'} \Delta\beta + \frac{\sin \alpha}{\cos \beta'} \Delta N \quad (4.6)$$

Выражая $\cos \varphi$ и $\cos \beta'$ через N и n с учетом (4.5), соотношение (4.6) переписывается в следующем виде:

$$\Delta n = n_F - n_C = A + B\sigma,$$

где введены обозначения

$$\sigma = \cos \phi,$$

$$A = \frac{N \cdot \Delta N \sin \alpha}{G},$$

$$B = \frac{2k\sqrt{(N^2 - n^2)(1 - N^2 - n^2)}}{G},$$

$$G = n \sin \alpha + \sqrt{N^2 - n^2} \cos \alpha.$$

Выполнение работы:

Вначале измерили показатели преломления эталонных растворов глицерина в воде, чистой воды, чистого глицерина. При измерении n_D (коэффициент преломления вещества для желтой D линии) устраняли окрашенность границы света и тени вращением компенсатора дисперсии, снимая показания компенсатора Z. Необходимо отметить, что у каждого экспериментатора цветоощущение различно, поэтому возникает систематическая погрешность в определении n_D и Z. Для уменьшения этой погрешности, проводили измерения n_D и Z десять раз (при одной заправке исследуемой жидкости). Затем измерили показатель преломления контрольного (с неизвестным содержанием глицерина в воде) раствора.

Для определения средней дисперсии жидких или твердых тел исследуемый образец или пробу устанавливали так же, как при измерении показателя преломления.

Мерой дисперсии служит поворот одной призмы компенсатора относительно другой до полного устранения окрашенности границы раздела. Отсчет производят по барабану, разделенному на 120 частей. При повороте барабана на 180 (60 делений) дисперсия компенсатора пройдет все значения от нуля до двойного значения дисперсии одной призмы. Следовательно, если устранить окрашенность границы раздела и вращать компенсатор в ту же сторону до противоположного, но равного значения отсчета, то граница раздела вторично получится бесцветной.

Сводная таблица измерений

вода		глицерин 30%		глицерин 60%		глицерин 75%		глицерин 95%		глицерин X%	
n=1.328		n=1.377		n=1.401		n=1.419		n=1.448		n=1.390	
Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
41.5	43	43	41.5	43	42	42.5	41.0	38.5	42.0	41.0	42.0
40.5	42.0	42.5	41.0	41.0	42.5	40.0	39.0	42.0	43.0	42.0	43.0
42.0	41.0	42.0	41.0	41.0	42.0	42.0	40.0	41.5	42.5	42.0	41.5
41.0	43.0	42.0	42.0	40.0	43.0	41.0	39.0	42.0	43.0	40.0	42.0
41.0	42.0	42.0	41.0	42.0	42.0	44.0	39.0	41.0	42.0	41.0	41.0
n=1.333		n=1.378		n=1.402		n=1.420		n=1.448		n=1.390	
Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
41.0	41.5	43.0	42.0	41.5	41.5	43.0	41.5	42.0	43.0	42.0	42.0
40.5	42.5	43.0	42.0	43.0	42.5	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
41.5	41.5	42.5	42.0	42.0	43.0	43.0	41.0	41.5	43.0	43.0	41.0
40.0	41.5	42.0	42.0	41.0	43.0	43.0	41.0	41.5	41.0	43.0	41.0
41.5	43.5	41.5	41.5	41.5	41.5	43.0	40.0	41.5	41.0	42.0	41.0

n=1.333		n=1.378		n=1.401		n=1.419		n=1.447		n=1.390	
Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂	Z ₁	Z ₂
41.5	41.0	39.0	42.0	42.5	42.0	42.0	41.0	43.0	40.0	42.0	42.0
40.0	42.0	40.0	41.0	42.0	42.0	41.0	42.0	43.0	41.0	43.0	41.5
42.0	42.0	38.0	42.5	41.0	42.0	41.0	42.0	43.0	42.0	40.0	42.0
42.0	42.0	40.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	40.5	40.5	41.0	40.0
43.0	41.0	35.0	41.5	41.5	42.0	42.0	41.0	41.0	42.0	41.5	42.0

При измерении проводили пять отсчетов с двух сторон барабана и нашли среднее арифметическое Z . Величину средней дисперсии ($n_D - n_C$) определили по приведенной таблице в зависимости от Z и показателя преломления n_C исследуемого вещества.

Для измеренного значения показателя преломления нашли по таблице величины A и B . Для полученного значения Z нашли величину σ .

Определение средней дисперсии

вода	глицерин 30%	глицерин 60%
n=1.328 z _{cp} =41.7 A=0.02425 B=0.03141 σ=-0.545 Δn=0.00714	n=1.377 z _{cp} =41.6 A=0.02405 B=0.03069 σ=-0.545 Δn=0.00683	n=1.419 z _{cp} =41.75 A=0.02388 B=0.02971 σ=-0.545 Δn=0.00769
n=1.3329 z _{cp} =41.52 A=0.0242 B=0.031 σ=-0.545 Δn=0.00731	n=1.3786 z _{cp} =42.2 A=0.02405 B=0.03069 σ=-0.588 Δn=0.00601	n=1.4022 z _{cp} =42.2 A=0.02388 B=0.02971 σ=-0.588 Δn=0.00642
n=1.3332 z _{cp} =41.69 A=0.0242 B=0.031 σ=-0.588 Δn=0.00598	n=1.378 z _{cp} =40.4 A=0.02369 B=0.03023 σ=-0.5 Δn=0.0088	n=1.4015 z _{cp} =42.75 A=0.02388 B=0.02971 σ=-0.545 Δn=0.00769
глицерин 60%	глицерин 75%	глицерин X%
n=1.4194 z _{cp} =41.6 A=0.02985 B=0.03992 σ=-0.545 Δn=0.0075	n=1.4480 z _{cp} =41.75 A=0.02373 B=0.02846 σ=-0.588 Δn=0.0070	n=1.39 z _{cp} =41.55 A=0.02392 B=0.02998 σ=-0.545 Δn=0.0076
n=1.4195 z _{cp} =41.8 A=0.0238	n=1.448 z _{cp} =41.9 A=0.0237	n=1.39 z _{cp} =41.6 A=0.02388

B=0.02912 $\sigma=-0.588$ $\Delta n=0.0079$ n=1.4194 $z_{cp}=41.5$ A=0.02384 B=0.02942 $\sigma=-0.545$ $\Delta n=0.0078$	B=0.0281 $\sigma=-0.588$ $\Delta n=0.0072$ n=1.4474 $z_{cp}=41.7$ A=0.0237 B=0.0281 $\sigma=-0.588$ $\Delta n=0.0071$	B=0.02971 $\sigma=-0.545$ $\Delta n=0.0071$ n=1.39 $z_{cp}=41.5$ A=0.02392 B=0.02998 $\sigma=-0.545$ $\Delta n=0.0076$
--	---	--

$$\Delta n = A + B \sigma \quad (4')$$

Определение коэффициента Аббе (γ)

вода	глицерин 30%	глицерин 60%
n=1.328 $\Delta n=0.00714$ $\gamma=46$	n=1.377 $\Delta n=0.0068$ $\gamma=54$	n=1.401 $\Delta n=0.0076$ $\gamma=53$
n=1.3329 $\Delta n=0.00731$ $\gamma=45.5$	n=1.3786 $\Delta n=0.00681$ $\gamma=55.6$	n=1.4022 $\Delta n=0.00642$ $\gamma=60$
n=1.3332 $\Delta n=0.006$ $\gamma=50$	n=1.378 $\Delta n=0.0088$ $\gamma=49$	n=1.4015 $\Delta n=0.0076$ $\gamma=52$
глицерин 60%	глицерин 75%	глицерин X%
n=1.4192 $\Delta n=0.0075$ $\gamma=55.9$	n=1.448 $\Delta n=0.007$ $\gamma=64$	n=1.39 $\Delta n=0.0076$ $\gamma=51$
n=1.4195 $\Delta n=0.0079$ $\gamma=53.1$	n=1.448 $\Delta n=0.0072$ $\gamma=62$	n=1.39 $\Delta n=0.0077$ $\gamma=50$
n=1.4194 $\Delta n=0.0078$ $\gamma=54$	n=1.4474 $\Delta n=0.0071$ $\gamma=63$	n=1.39 $\Delta n=0.0076$ $\gamma=51$

$$\gamma = \frac{n_D - 1}{\Delta n} \quad (4'')$$

Погрешности измерений

Показатель преломления:

вода	глицерин 30%	глицерин 60%	глицерин 75%	глицерин 95%	глицерин X%
1.328	1.377	1.4028	1.4191	1.448	1.39
1.3329	1.3786	1.4022	1.4195	1.448	1.39
1.3332	1.378	1.4015	1.4191	1.4473	1.39

n_{cp}

1.3314	1.3779	1.4022	1.4192	1.4478	1.39
--------	--------	--------	--------	--------	------

Δ

0.007248	0.002007	0.001615	0.005733	0.001003	0
----------	----------	----------	----------	----------	---

γ :

вода	глицерин 30%	глицерин 60%	глицерин 75%	глицерин 95%	глицерин X%
46	54	53	55.9	64	51
45.5	55.6	60	53.1	62	50
50	49	52	54	63	51

γ_{cp}

47.167	52.867	55	54.333	63
--------	--------	----	--------	----

Δ

0.257	0.077	0.063	0.022	0.044	0
-------	-------	-------	-------	-------	---

Результаты

$n_{\text{вода}} = 1.331 \pm 0.007$

$n_{30\%} = 1.378 \pm 0.002$

$n_{60\%} = 1.402 \pm 0.001$

$n_{75\%} = 1.419 \pm 0.006$

$n_{95\%} = 1.448 \pm 0.001$

$n_{x\%} = 1.390 \pm 0.001$

$\gamma_{\text{вода}} = 47.16 \pm 0.26$

$\gamma_{30\%} = 52.86 \pm 0.07$

$\gamma_{60\%} = 55.00 \pm 0.06$

$\gamma_{75\%} = 54.33 \pm 0.02$

$\gamma_{95\%} = 63.00 \pm 0.04$

$\gamma_{x\%} = 51.00 \pm 0.01$

Графики

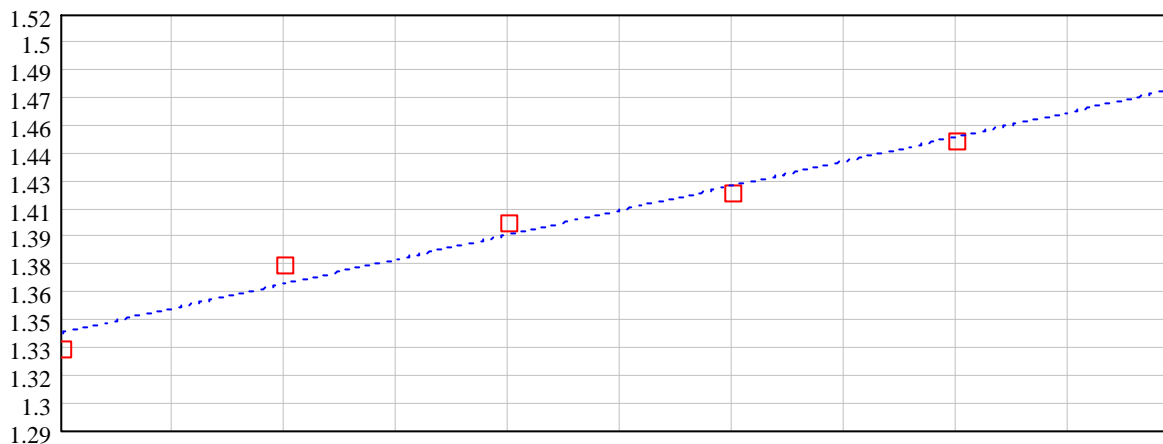


График 1. Зависимость коэффициента преломления от концентрации

$$\gamma(x) = 1.313 + 0.027x$$

Концентрация неизвестного раствора (по графику):

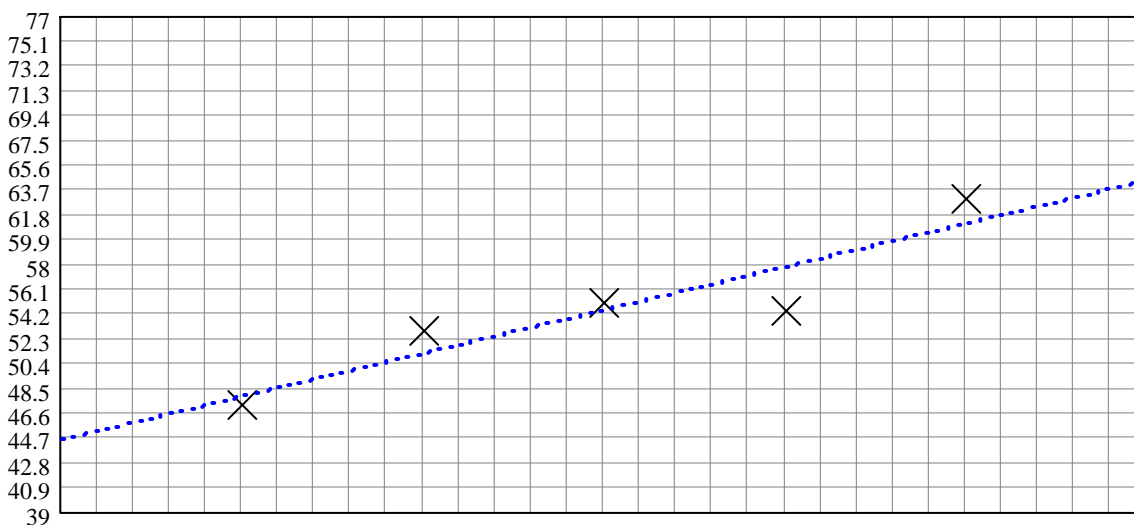


График 2. Зависимость γ от концентрации
 $\gamma(x) = 44.533 + 3.313x$

Вывод:

В данной работе изучили работу рефрактометра типа Аббе и определили показатели преломления и средней дисперсии жидкости. Причём точность определения показателя преломления достаточно высока (четыре значащих цифры), в отличие от определения дисперсии, что связано с неточностью при снятии значений Z . Результаты $n_{\text{вода}} = 1.331 \pm 0.007$, $n_{30\%} = 1.378 \pm 0.002$, $n_{60\%} = 1.402 \pm 0.001$, $n_{75\%} = 1.419 \pm 0.006$, $n_{95\%} = 1.448 \pm 0.001$, $n_{x\%} = 1.390 \pm 0.001$ и $\gamma_{\text{вода}} = 47.16 \pm 0.26$, $\gamma_{30\%} = 52.86 \pm 0.07$, $\gamma_{60\%} = 55.00 \pm 0.06$, $\gamma_{75\%} = 54.33 \pm 0.02$, $\gamma_{95\%} = 63.00 \pm 0.04$, $\gamma_{x\%} = 51.00 \pm 0.01$

Получены результаты для неизвестного раствора, с помощью которых была определена его концентрация:

Рисунки к работе:

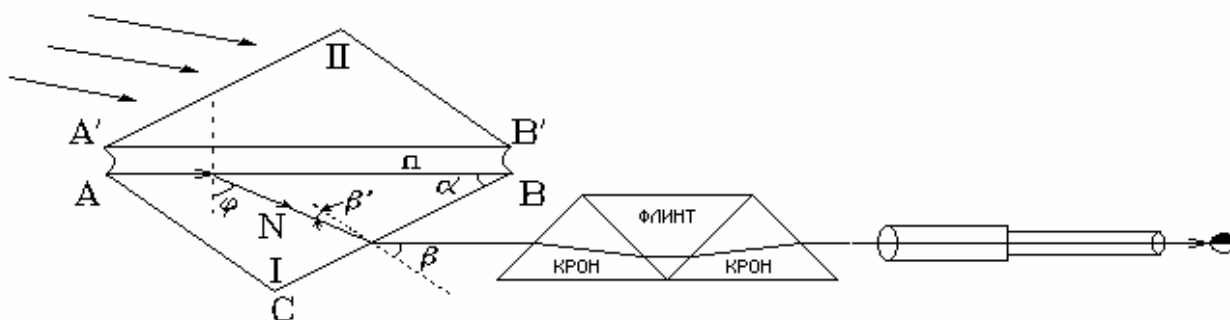


Рис.4.2. Принципиальная схема рефрактометра Аббе.



Рис.4.3. Призма Амичи.

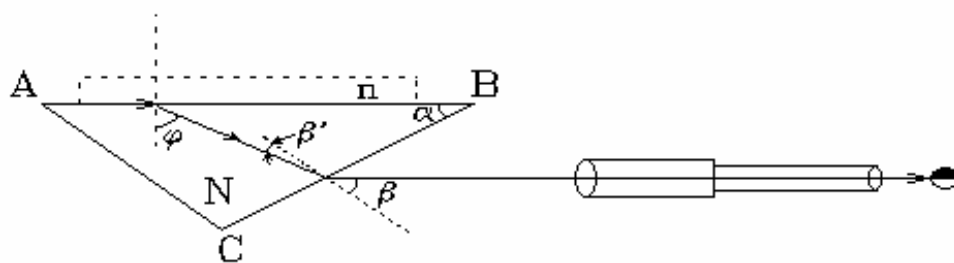


Рис.4.1. Измерение n с использованием ПВО.