

второй призмы (угол γ'), будет соответствовать углу падения в исследуемой жидкости на грань AB равном 90° .

Рассмотрим луч MO , падающий из исследуемой жидкости под углом α к нормали, проведённой к поверхности AB призмы 1. Преломление этого луча в точке O подчиняется закону Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.1.1)$$

где n_1 – показатель преломления исследуемой жидкости, n_2 – показатель преломления призмы 1, α – угол падения луча в жидкости, γ – угол преломления луча в призме 1. Из уравнения (2.1.1) следует

$$\sin \gamma = \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha. \quad (2.1.2)$$

С увеличением угла падения угол преломления также увеличивается и достигает максимально возможного значения при $\alpha = 90^\circ$, когда падающий луч скользит вдоль границы раздела сред. Угол преломления луча в этом случае называется предельным углом преломления.

Тогда из (2.1.2) следует

$$\sin \gamma_{\text{пред}} = \frac{n_1}{n_2}, \text{ или } n_1 = n_2 \sin \gamma_{\text{пред}}. \quad (2.1.3)$$

В действительности же формула (2.1.3) должна учитывать, что выходящие из призмы 1 лучи преломляются на границе AC под углом γ' . Но угол γ' будет минимально возможным, соответствующим углу падения $\alpha = 90^\circ$ в исследуемой жидкости.

Измеряя угол, и зная величину показателя преломления призмы, можно получить величину показателя преломления исследуемого вещества. При любых других углах падения $\alpha < 90^\circ$ лучи будут выходить из призмы под углами, большими чем γ' . Таким образом, угол γ' является минимальным, и его называют предельным углом выхода (угол выхода лучей γ' будет иметь наименьшее значение для скользящих лучей в исследуемой жидкости).

Лучи, проходящие через грань AC призмы 1, будут выходить под углами от 90° до γ' . Если на пути этих лучей поставить зрительную трубу так, чтобы её оптическая ось совпала с направлением предельного луча, то все лучи, параллельные предельному и идущие под углами больше предельного, дадут изображение светлого поля в фокальной плоскости трубы. Параллельные лучи, идущие под углами меньше предельного, отсутствуют, и соответствующая половина поля зрения трубы будет тёмной. Граница раздела светлого и тёмного поля, наблюдаемая в зрительной трубе, однозначно связана со шкалой показателей преломления рефрактометра, которая градуируется в значениях для величины показателя преломления исследуемой жидкости.

- 1 - осветительное зеркало;
- 2 - вспомогательная откидная призма;
- 3 - основная измерительная призма;
- 4 - матированная грань откидной призмы;
- 5 - исследуемая жидкость;
- 6 - призмы Амичи компенсатора;
- 7 - объектив зрительной трубы;
- 8 - поворотная призма;
- 9 - окуляр зрительной трубы.

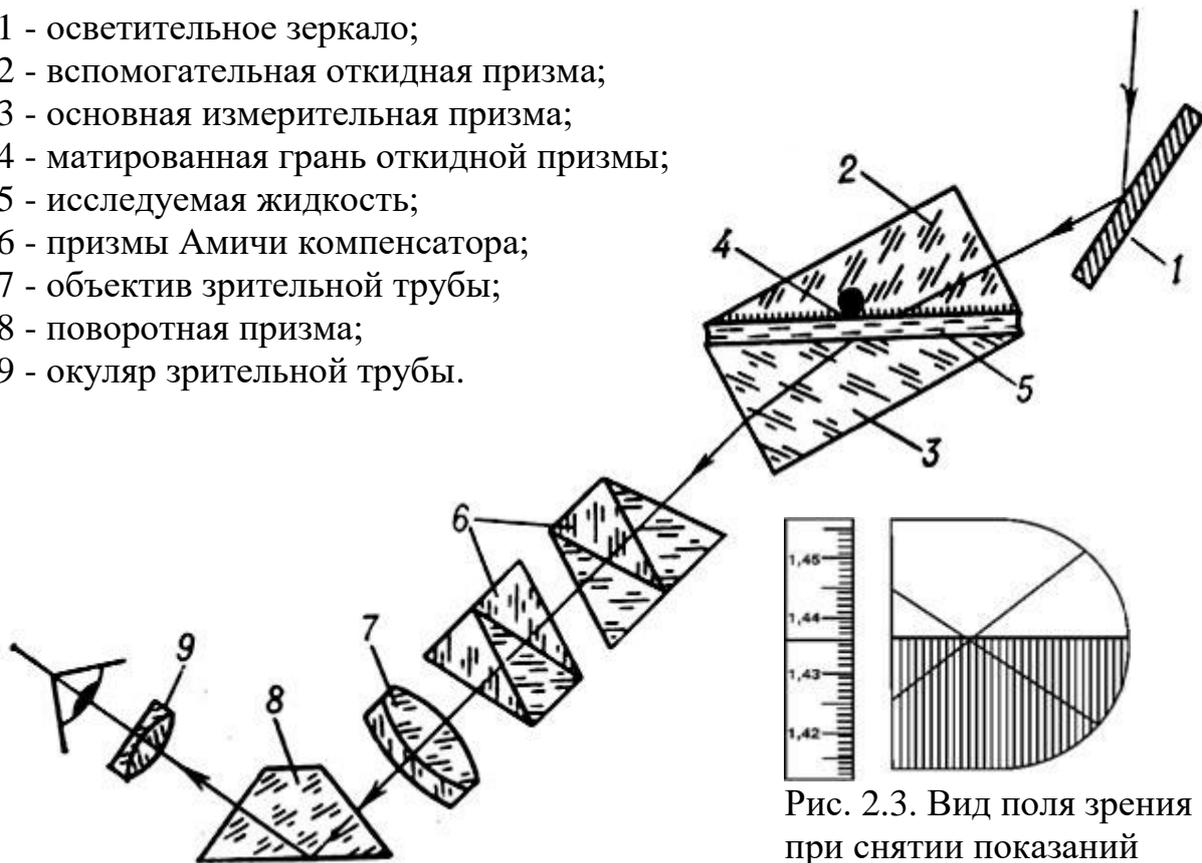


Рис. 2.3. Вид поля зрения при снятии показаний

Рис. 2.2.

Полная оптическая схема рефрактометра ИРФ-22

ИРФ-22 представляет собой современную модель рефрактометра Аббе (Рис. 2.4, 2.5).

Он состоит из следующих основных частей: корпуса 1, измерительной головки 2, зрительной трубы 3 с отсчётным устройством.

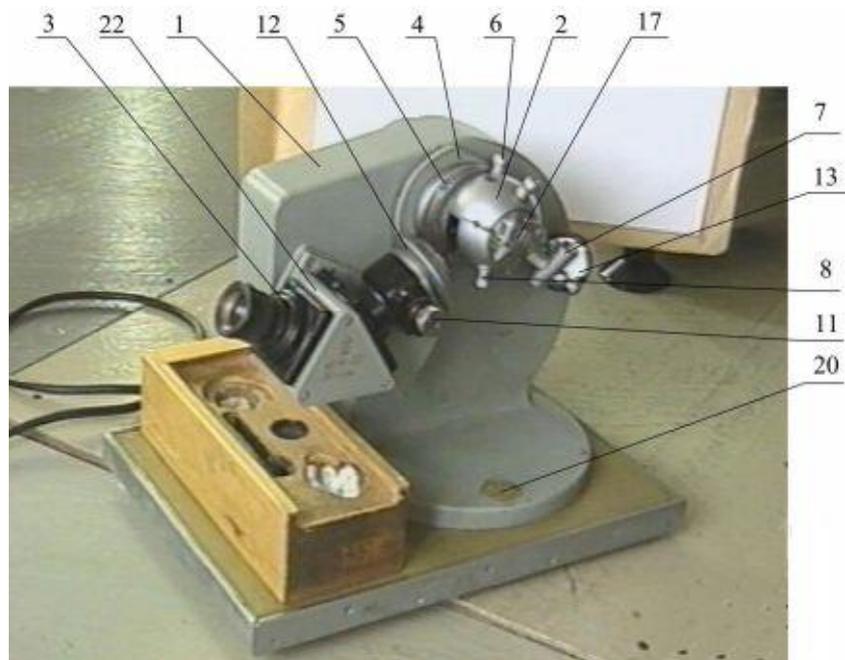


Рис. 2.4. Рефрактометр ИРФ-22

В измерительной головке находится призмный блок Аббе, который жёстко связан со шкалой отсчётного устройства, расположенной

внутри корпуса. Шкала подсвечивается зеркалом 14 и проектируется специальной оптической системой в поле зрения трубы.

Таким образом, в поле зрения трубы одновременно видны границная линия, крест нитей, деления шкалы и визирный штрих шкалы (рис. 2.3).

Чтобы найти границу раздела и совместить её с перекрестием, необходимо вращая маховичок 10, наклонить измерительную головку.

Так как показатель преломления стекла призмы зависит от длины волны падающего света, то при наблюдении, в поле зрения зрительной трубы вместо резкой границы света-тени получается радужная полоса. Чтобы получить резкое изображение границы раздела, поворотом призмы компенсатора с помощью специального маховичка 11 добиваются резкого изображения в поле зрения зрительной трубы границы света и тени. Вместе с компенсатором одновременно вращается барабан 12 со шкалой, по которой в случае необходимости можно измерить дисперсию вещества.

Подсветка исследуемого вещества осуществляется с помощью зеркала 13 дневным светом или от электрической лампы накаливания.

Так как показатель преломления в значительной мере зависит от температуры, то в приборе предусмотрено термостатирование призмного блока с помощью камер, через которые пропускается вода, идущая от термостата. Подача воды предусмотрена с помощью резиновых шлангов, которые надеваются на штуцеры 5,6,7,8. Для контроля температуры в оправу призм может быть ввинчен термометр.

В учебных целях, когда не требуется высокая точность при определении показателя, измерения могут проводиться без термостатирования.

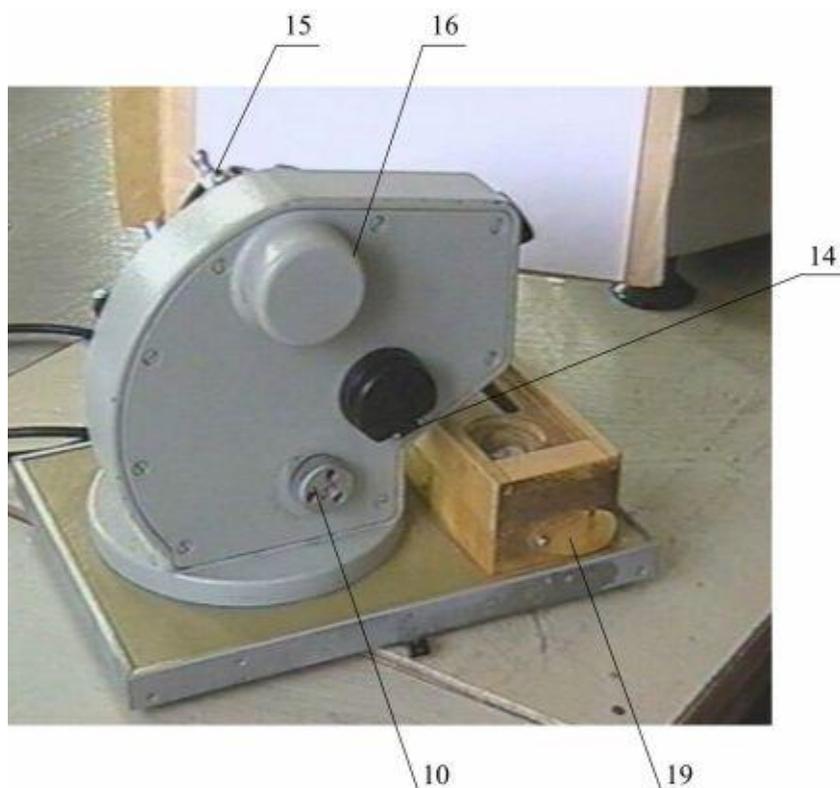


Рис. 2.5. Рефрактометр ИРФ-22

Измерение показателя преломления прозрачных жидкостей на ИРФ-22

На поверхность измерительной призмы наносят несколько капель исследуемой жидкости и осторожно закрывают головку. Наблюдают в окно 15, чтобы жидкость полностью заполнила зазор между измерительной и осветительной призмами. Осветительное зеркало 13 устанавливают перед окном 15 так, чтобы поле зрения трубы было равномерно освещено, затем зеркало закрепляют винтом 16. Вращая маховичок 10, находят границу раздела света и тени, маховичком 11 устраняют её окрашенность.

Точно совмещая границу раздела с перекрестием сетки, снимают отсчёт по шкале показателей преломления. Индексом для отсчёта 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 $+20^\circ$.

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 или эфиром, протирают и оставляют блок на некоторое время открытым для просушки. После этого измерительную головку осторожно закрывают, и прибор накрывают футляром.

Примечание: если измерения проводятся при температуре, отличной от $+20^\circ\text{C}$, то к отсчёту по шкале прибора необходимо ввести поправку на температуру по формуле

$$\delta n = \frac{\Delta n_{2D}}{\Delta t} (t - 20^\circ) \sin \alpha,$$

где $\frac{\Delta n_{2D}}{\Delta t}$ – температурный коэффициент показателя преломления стекла измерительной призмы.

Приняв для призмы ИРФ-22 среднее значение

$$\frac{\Delta n_{2D}}{\Delta t} = 0,084 \cdot 10^{-4}; \quad \sin \alpha = 0,87,$$

получим

$$\delta n = 0,073(t - 20^\circ) \cdot 10^{-4}.$$

По данному соотношению вычисляют поправки к показателю преломления в пределах температур от $+5^\circ\text{C}$ до $+35^\circ\text{C}$. При других температурах, отличных от указанных, учёт поправок сильно осложняется.

При температуре $+20^\circ\text{C}$ для дистиллированной воды должно получиться значение показателя преломления, равное 1,3330.

II. Определение показателя преломления твёрдых прозрачных тел

Существуют различные способы определения показателя преломления прозрачных твёрдых тел. Рассмотрим метод определения показателя преломления стекла при помощи микроскопа.

При наблюдении предмета сквозь слой воды или стеклянную пластинку предмет всегда кажется расположенным ближе к наблюдателю, чем в действительности. Это кажущееся приближение связано с преломлением света на границе раздела двух сред и зависит как от толщины пластинки, так и от показателя преломления стекла. С помощью микрометра можно определить толщину пластинки, а кажущееся смещение предмета при наблюдении сквозь пластинку можно определить с помощью микроскопа и по этим данным вычислить показатель преломления стекла.

Установим зависимость между показателем преломления стекла n , толщиной пластинки d и величиной кажущегося приближения предмета a , находящегося в соприкосновении с нижней поверхностью пластинки. Рассмотрим два луча, идущих в объектив микроскопа от чернильной метки S , нанесённой на нижнюю плоскость пластинки. Луч SA идёт по нормали к поверхности пластинки и, не преломляясь на верхней границе, попадает в объектив микроскопа (рис. 2.6). Луч SB , направленный под малым углом α к нормали, преломляется в точке B и, выходя в воздух под углом γ , также попадает в объектив микроскопа. Эти лучи и создают в поле зрения микроскопа изображение метки S , находящееся в точке S' .

По закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_B}{n}, \quad (2.2.1)$$

где $n_B \approx 1$ – показатель преломления воздуха, n – показатель преломления стекла.

Метка S кажется приподнятой в точку S' . Величина кажущегося поднятия равна $a = AS - AS'$.

Из прямоугольных треугольников ABS и ABS' следует

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{AS} = \frac{AB}{d}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{AB}{AS'} = \frac{AB}{d - a}. \quad (2.2.2)$$

Разделив почленно, получим

$$\frac{d - a}{d} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \quad (2.2.3)$$

так как при наблюдении в микроскоп ограничиваются малыми углами.

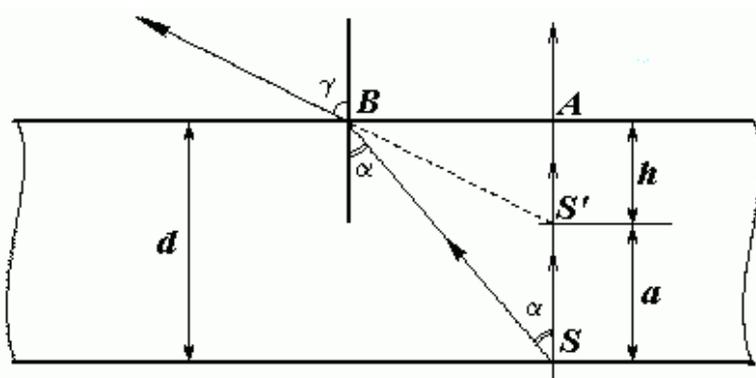


Рис. 2.6. Ход лучей в пластинке

Используя закон преломления (2.2.1) и уравнение (2.2.3), получим

$$\frac{d - a}{d} = \frac{1}{n}, \quad (2.2.4)$$

или окончательно

$$n = \frac{d}{d - a}. \quad (2.2.5)$$

Для определения показателя преломления стекла есть два способа.

Способ 1. Найти кажущееся поднятие метки в стекле, и по формуле (2.2.5) вычислить показатель преломления. Это осуществимо, так как микроскоп имеет микрометрический винт, позволяющий точно определять величину перемещения тубуса микроскопа.

Способ 2. Определить кажущуюся толщину исследуемого стекла $h = AS' = d - a$ (рис. 2.6). Из (2.2.5) получим

$$n = \frac{d}{h}. \quad (2.2.6)$$

В этом случае используется одна пластинка с двумя метками. На предметный столик микроскопа кладётся пластинка из исследуемого стекла, на поверхностях которой одна над другой нанесены чернильные метки разного цвета S и A .

Если переходить от наблюдения нижней метки в точке S к наблюдению верхней метки в точке A , то кажется, что тубус микроскопа нужно переместить на толщину стекла d . В действительности тубус микроскопа переместится только на величину h ,

По паспорту и описанию ознакомиться с устройством микроскопа.



Рис. 2.7. Микроскоп

1 – винт грубой наводки;

2 – микрометрический винт;

3 – зеркало;

4 – предметный столик;

5 – окуляр;

6 – юстировочный винт.

Внимание! При работе с микроскопом и особенно с микрометрическим винтом не прилагать усилий!

Методика выполнения работы

I. Определение концентрации водного раствора поваренной соли

Убедиться в правильной работе прибора. Для этого необходимо измерить показатель преломления дистиллированной воды.

1. Откинуть вправо верхнюю часть измерительной головки 2 (рис. 2.4) и на поверхность измерительной призмы нанести пипеткой или стеклянной палочкой 2-3 капли дистиллированной воды. Закрывать измерительную головку.

2. Осветительное зеркало 13 установить так, чтобы световой пучок через окно измерительной головки попадал на измерительную призму и равномерно освещал поле зрения измерительной трубы.

3. При наблюдении поля зрения в окуляр зрительной трубы 3 поворотом маховичка 10 найти границу света и тени.

4. Поворотом окуляра зрительной трубы добиться максимальной резкости границы света и тени.

5. Устранить радужную окраску граничной линии в поле зрения зрительной трубы поворотом маховичка компенсатора 11. Регулировкой зеркала 14 добиться хорошего освещения шкалы показателей преломления.

6. Поворотом маховичка 10, совместить граничную линию с перекрестием сетки и снять отсчёт по шкале показателей преломления, видимой в левой части поля зрения зрительной трубы. Индексом для отсчёта служит неподвижный горизонтальный штрих, видимый в поле зрения трубы.

7. Измерения повторить не менее 3-х раз. Результаты внести в таблицу 1.

8. Важно! Откинуть вправо верхнюю часть измерительной головки и чистым бинтом или ватным тампоном удалить с поверхности измерительной призмы исследуемую жидкость.

9. Измерить показатель преломления водного раствора поваренной соли заданных и неизвестной концентраций, начиная с наименьшей. Для этого повторить пункты 1–8.

10. Рассчитать среднее значение показателя преломления для каждой концентрации и построить график зависимости $n=n(C)$ по известным концентрациям.

11. По графику, используя значение показателя преломления раствора неизвестной концентрации, определить процентное содержание поваренной соли в растворе.

II. Определение показателя преломления стекла

В работе используются две пластинки: из исследуемого стекла (ИП) с двумя скрещенными разноцветными метками и опорная пластинка (ОП) с одной меткой (чернильным пятном).

Измерение толщины стеклянной пластинки

1. При помощи микрометра измерить толщину пластинки (ИП) в середине и по краям не менее 5 раз и записать результаты в таблицу 1.
2. Вычислить среднее значение толщины и её погрешности.

Первый способ

1. Положить опорную пластинку (ОП) меткой вверх на предметный столик микроскопа. При помощи юстировочных винтов предметного столика микроскопа или аккуратно перемещая стекло с меткой по предметному столику добиться того, чтобы изображение пятна находилось в середине поля зрения микроскопа.
2. Повернуть аккуратно микрометрический винт микроскопа с делениями от себя до упора. Затем возвратить его до ближайшего нулевого деления.
3. При помощи барабана грубой наводки добиться резкого изображения мелких деталей метки в поле зрения микроскопа.
4. Осторожно положить пластинку из исследуемого стекла на пластинку с меткой. Резкость изображения метки нарушится. Перемещать тубус вверх, вращая микрометрический винт на себя, пока резкость изображения не восстановится, считая при этом, на сколько полных оборотов N и делений k повернётся барабан микрометрического винта.

Поворот микрометрического винта на одно деление перемещает тубус на $c = 0,002$ мм – цена деления. Один полный оборот микрометрического винта содержит 50 делений (по 5 между соседними цифрами на барабане). Следовательно, величина подъёма тубуса будет равна

$$a = (50N + k)c. \quad (2.2.7)$$

5. Повторить пункты 2-4 не менее 5 раз, внося результаты измерений в таблицу 2.
6. Вычислить среднее значение величины a и её погрешности.
7. Рассчитать показатель преломления стекла по формуле (2.2.5).
8. Рассчитать погрешности как при косвенных измерениях.

Второй способ

1. Убрать с предметного столика микроскопа опорную пластинку (ОП), а пластинку из исследуемого стекла (ИП) разместить так, чтобы перекрестие меток находилось в центре поля зрения микроскопа.
2. Повернуть аккуратно микрометрический винт микроскопа с делениями от себя до упора. Затем возвратить его до ближайшего нулевого деления.
3. При помощи барабана грубой наводки добиться резкого изображения метки на нижней поверхности пластинки.
4. Перемещать тубус вверх, вращая микрометрический винт на себя, до получения чёткого изображения метки на верхней поверхности пластинки,

считая при этом, на сколько полных оборотов N и делений k повернётся барабан микрометрического винта.

5. Повторить пункты 2-4 не менее 5 раз, внося результаты измерений в таблицу 3.

6. Вычислить среднее значение h и её погрешности.

7. Рассчитать показатель преломления стекла по формуле (2.2.6).

8. Рассчитать погрешности как при косвенных измерениях.

Сравнить результаты, полученные двумя способами.

Примечание: Если измерения выполняет один студент, то отсчитать число полных оборотов можно, вращая винт от верхней точки от себя до упора (до нулевого деления).

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
2. Объясните принцип работы рефрактометра ИРФ-22.
3. Изложите сущность явления полного внутреннего отражения.
4. Как связан показатель преломления среды со скоростью распространения света в ней?
5. Объясните сущность двух способов измерения показателя преломления стекла при помощи микроскопа.
6. Начертите ход лучей в микроскопе.

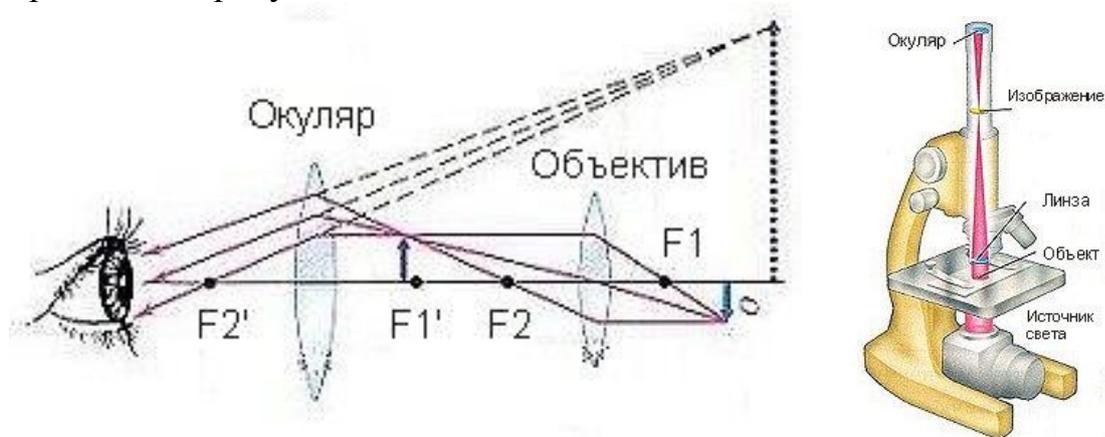
Литература

(см список литературы)

Приложение: Очень кратко о микроскопе

Микроскопом называют оптический прибор, служащий для рассматривания мелких предметов, невидимых невооруженным глазом.

Микроскоп состоит из двух собирающих линз - короткофокусного объектива и длиннофокусного окуляра, расстояние между которыми можно изменять при настройке на резкость. Ход лучей в микроскопе приведён на рисунке.



Объектив создаёт действительное, перевёрнутое, увеличенное промежуточное изображение. Окуляр действует как лупа, создавая мнимое увеличенное изображение.

Лабораторная работа № 2. Лист отчёта
Определение показателя преломления жидкости и стекла

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

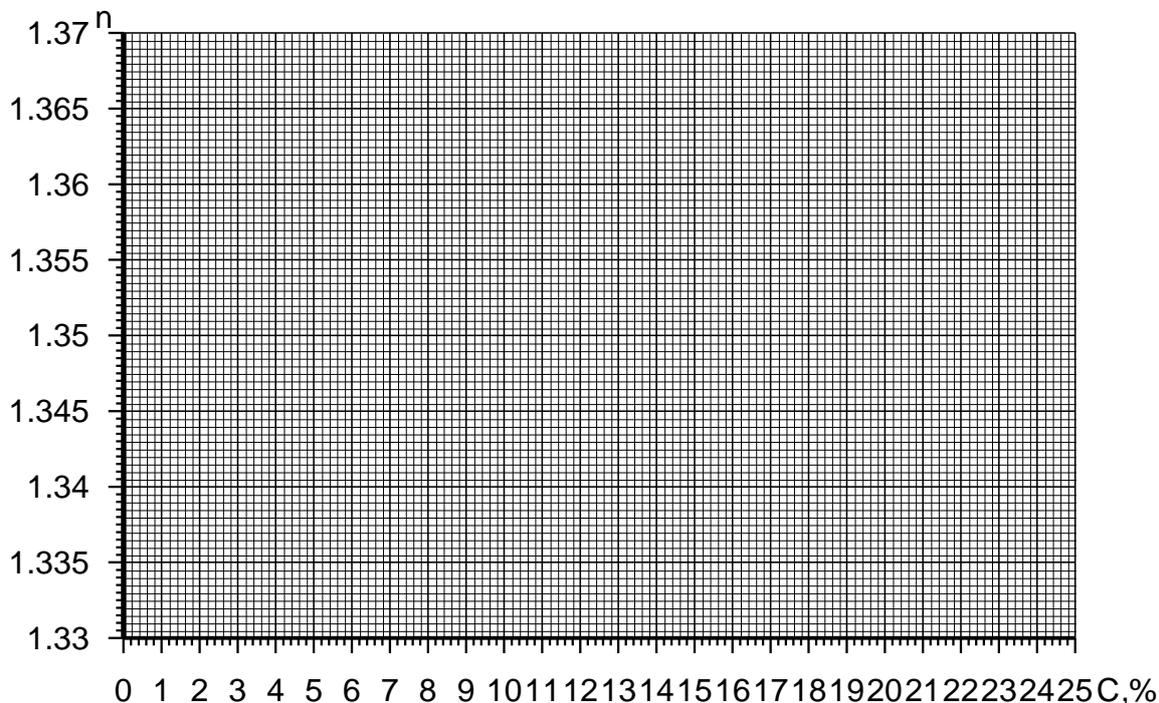
I. Определение концентрации водного раствора поваренной соли

Погрешности измерительных приборов. α _____ %

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
рефрактометр	0.001				

Таблица 1

концентрация раствора, C , % показатель преломления	0	5	10	15	20	X	$(n_{xi} - \bar{n}_x)^2$
n_1							
n_2							
n_3							
\bar{n}							



$C_x = (\text{_____} \pm \text{_____}) \%$, $\varepsilon_x = \text{_____} \%$.

II. Определение показателя преломления стекла

Погрешности измерительных приборов. $\alpha = \underline{\hspace{2cm}}\%$

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
Микрометр	0,01				мм
Микрометр. винт	0,002				мм

Таблица 1. Толщина пластины

№ п/п	d, мм	Δd , мм
1		
2		
3		
4		
5		
среднее		
$\varepsilon_d =$		

$d = (\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}) \text{ мм}, \quad \varepsilon_d = \underline{\hspace{1cm}}\%.$

Таблица 2. Первый способ

№ п/п	N	k	a, мм	Δa , мм
1				
2				
3				
4				
5				
среднее значение				
$\varepsilon_a =$				

$a = (\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}) \text{ мм}, \quad \varepsilon_a = \underline{\hspace{1cm}}\%.$
 $n_1 = (\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}), \quad \varepsilon_{n_1} = \underline{\hspace{1cm}}\%.$

Таблица 3. Второй способ

№ п/п	N	k	h, мм	Δh , мм
1				
2				
3				
4				
5				
среднее значение				
$\varepsilon_h =$				

$h = (\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}) \text{ мм}, \quad \varepsilon_h = \underline{\hspace{1cm}}\%.$
 $n_2 = (\underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}), \quad \varepsilon_{n_2} = \underline{\hspace{1cm}}\%.$



Рис. 2.9. Микрометр