

### Лабораторная работа № 3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕФРАКТОМЕТРА УРЛ-1 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТЕЙ

*Цель работы* - ознакомление с устройством и принципом работы рефрактометра УРЛ-1 и определение с его помощью показателей преломления и дисперсии прозрачных жидкостей.

Показатель преломления – важнейшая оптическая характеристика вещества [8]. Абсолютный показатель преломления  $n$  зависит от длины световых волн  $\lambda$ , распространяющихся в веществе. Для того чтобы охарактеризовать эту зависимость, вводится понятие дисперсии вещества

$$d = dn / d\lambda_o,$$

где  $\lambda_o$  – длина световой волны в вакууме. Дисперсия называется нормальной, если с увеличением длины волны показатель преломления уменьшается, и аномальной, если увеличивается. Мерой дисперсии вещества служит величина, называемая средней дисперсией

$$\langle d \rangle = n_F - n_C,$$

где  $n_F$  – показатель преломления вещества для голубой линии в спектре водорода ( $\lambda_F = 486,1$  нм), а  $n_C$  – для красной линии ( $\lambda_C = 656,3$  нм).

Контроль показателей преломления твердых, жидких и газообразных сред осуществляется методами *рефрактометрии*. К их числу относятся интерференционные методы и методы, основанные на непосредственном измерении углов преломления света при прохождении границы раздела двух сред (угловые методы).

Интерференционные методы используются главным образом для контроля очень малых изменений  $n$ , что имеет место, например, в газах, жидкостях и растворах при изменении температуры, давления и других параметров состояния. Абсолютная погрешность измерения показателя преломления этими методами составляет  $10^{-6}$ .

Угловые методы дают точность на два порядка меньше (около  $10^{-4}$ ), однако они проще и быстрее в работе. Приборы, предна-

значенные для контроля показателей преломления, называются рефрактометрами. Наиболее широко распространены рефрактометры, работающие по схемам Аббе и Пульфриха, рефрактометры погружения, непрерывных процессов и др. [9].

В производственных и лабораторных системах контроля чаще применяют рефрактометрические методы, основанные на измерении угла полного внутреннего отражения. С их помощью можно идентифицировать исследуемые вещества, определять степень их чистоты, контролировать структуры химических соединений и изучать природу межатомных связей в молекулах, анализировать сложные системы жидких и газообразных веществ.

### ***Методика выполнения работы***

Лабораторный рефрактометр УРЛ-1 предназначен для непосредственного измерения показателей преломления жидких и твердых веществ методом полного отражения [10].

Ход лучей в рефрактометре УРЛ-1 (схема Аббе) показан на рис. 3.1.

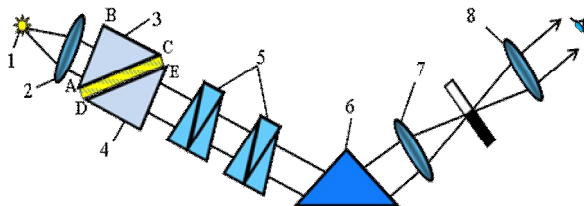


Рис. 3.1 Ход лучей в рефрактометре УРЛ-1.

Световой пучок от источника света 1 с помощью конденсорных линз 2 направляется на входную грань АВ осветительной призмы 3, проходит через матовую грань АС призмы в тонкий (толщиной не более 0,1 мм) слой исследуемой жидкости и падает под всевозможными углами на границу жидкость – грань ДЕ измерительной призмы 4, на которой преломляется.

В измерительной призме 4 преломленные лучи могут составлять с

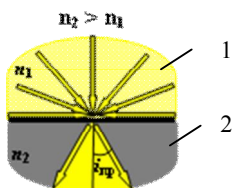


Рис. 3.2. Ход лучей в осветительной (1) и измерительной (2) призмах

нормально к грани DE углы, расположенные в интервале от 0 до  $\pm i_{гр}$  (предельного угла полного внутреннего отражения) (рис. 3.2). Далее эти лучи проходят через призмы прямого зрения 5, отражательную призму 6 и в фокальной плоскости собирающей линзы 7 (объектива зрительной трубы) образуют светлую и темную части поля, разделенные прямой границей.

Граница светотени рассматривается в окуляр 8 зрительной трубы. В фокальной плоскости объектива и окуляра зрительной трубы наблюдается граница светотени, перекрестие сетки и шкала, проградуированная в значениях показателей преломления  $n_d$ , определенных для среднего значения длин волн ( $\lambda = 589,3$  нм) двух близких желтых линий в спектре паров натрия. Положение границы светотени зависит от показателя преломления исследуемой жидкости.

Вследствие явления дисперсии при наблюдении в белом свете граница светотени имеет радужную окраску. Для устранения окрашенности служит конденсор, состоящий из двух призм прямого зрения 5. Путем вращения относительно оси зрительной трубы призмы устанавливаются в такое положение, при котором граница светотени не имеет радужной окраски.

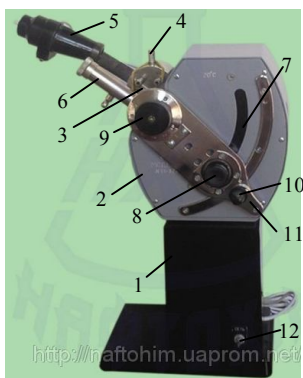


Рис.3.3. Общий вид рефрактометра УРЛ-1.

Общий вид рефрактометра УРЛ-1 представлен на рис. 3.3. На основании 1 расположен корпус 2 прибора. Измерительная призма находится внутри нижней камеры 3, которая жестко закреплена на корпусе. Осветительная призма находится внутри верхней камеры 4, соединенной с нижней камерой и поворачивающейся относительно нее. Осветитель 5 подвижно

укреплен на штуцере нижней камеры. Камеры оборудованы приспособлениями для термостатирования (термометр 6, штуцеры, соединительные каналы внутри камер и др.), которые используются при точных измерениях.

Со стороны передней крышки корпуса видна шкала 7 рефрактометра. Для устранения окрашенности границ светотени, наблюдаемой в окуляр 8, служит лимб 9 дисперсионного компенсатора. На оси прибора укреплена рукоятка 10 с окуляром 8 и настроечным механизмом 11, позволяющим совмещать границу светотени с перекрестием сетки.

Внутри основания прибора расположен понижающий трансформатор. Переключатель 12, находящийся на передней стенке основания, предназначен для включения осветителя.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Измерение показателя преломления.
  - 1.1. Ознакомиться с устройством рефрактометра. Включить его в сеть. Снять пробку с окна верхней камеры, окно нижней камеры должно быть закрыто. Открыть верхнюю камеру, промыть несколькими каплями дистиллированной воды поверхности измерительной и осветительной призм и насухо вытереть их мягкой тканью.
  - 1.2. Нанести одну-две капли исследуемой жидкости на поверхность измерительной призмы и закрыть верхнюю камеру 4 (см. рис. 3.3). Смещая осветитель 5, направить луч света в окно верхней камеры. Перемещением рукоятки 10 с окуляром зрительной трубы вверх или вниз ввести в поле зрения границу светотени. Поворотом рычага осветителя вокруг оси добиться максимальной контрастности границы светотени.
  - 1.3. Установить вращением оправы окуляра 8 резкость границы светотени, штрихов шкалы и перекрестия сетки по глазу наблюдателя. Устранить окрашенность границы светотени вращением лимба 9 дисперсионного компенсатора.
  - 1.4. Перемещая рукоятку с окуляром, подвести границу светотени к центру перекрестия сетки и записать отсчет  $n_d$  по шкале показате-

лей преломления. Измерения произвести несколько раз, найти среднее значение  $n_d$  и оценить погрешность измерений.

- 1.5. Провести измерения показателя преломления (п.п.1.1–1.4) для воды (измерение № 1) и нескольких растворов сахара (не меньше четырех), определяя одновременно и его концентрацию  $C$ . Шкала для определения концентрации находится справа от шкалы показателей преломления (см. п.1.4). Результаты занести в таблицу 3.1, которую нужно создать в табличном процессоре MS Excel.

Таблица 3.1

№	C, %	$n_i$	$\Delta n_i$	Z	A	B	$\sigma$	$\langle d \rangle$
1	0							
2								
3								
4								
5								

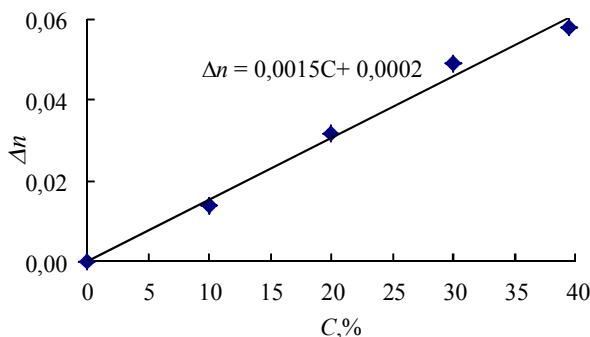


Рис. 3.4. Экспериментальная зависимость изменения показателя преломления сахарных растворов от концентрации.

- 1.6. Рассчитать  $\Delta n_i = n_i - n_1$ , где  $n_1$  – показатель преломления чистой воды, а  $n_i$  – показатели преломления сахарных растворов.
- 1.7. Построить график зависимости  $\Delta n = f(C)$ . Пример подобной зависимости приведен на рис. 3.4.

- 1.8. Экспериментальные точки предлагается аппроксимировать линейной зависимостью по методу наименьших квадратов (линия тренда в табличном процессоре MS Excel), уравнения прямой привести на графике.
- 1.9. Провести измерения показателя преломления (п.п.1.1–1.4) для чистого авиационного масла (измерение № 1) и масла, которое было в работе 100–500 часов. Обработку результатов произвести в соответствии с п.п. 1.6–1.9.

2. Определение средней дисперсии жидкости  $\langle d \rangle = n_F - n_C$ .

- 2.1. Совместить границы светотени с перекрестием сетки окуляра зрительной трубы и произвести отсчет количества делений  $Z$  по лимбу дисперсионного компенсатора.
- 2.2. Процесс совмещения границы светотени с перекрестием сетки повторить несколько раз, найти среднее значение  $Z$ .
- 2.3. После окончания измерений промыть несколькими каплями дистиллированной воды поверхности призм и протереть их мягкой тканью.
- 2.4. Вычислить среднюю дисперсию исследуемой жидкости по соотношению:

$$\langle d \rangle = n_F - n_C = A + B\sigma. \quad (3.1)$$

Результаты занести в таблицу 3.1. Коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $\sigma$  определить по измеренным значениям  $n_d$  и  $Z$ , пользуясь таблицами 3.А.1 и 3.А.2 (Приложение 3.А). Так как в таблицах значения дисперсионных коэффициентов  $A$  и  $B$  даны для показателей преломления с интервалом  $1 \cdot 10^{-3}$ , а с помощью рефрактометра показатели преломления измеряются с точностью  $1 \cdot 10^{-4}$ , соответствующие измеренным значениям  $n_d$  коэффициенты  $A$  и  $B$  необходимо получить интерполированием. Аналогично интерполированием следует определять значения  $\sigma$  для подобных  $Z$ .

- 2.5. Оценить погрешность измерений.

Приложение 3.А

Таблица 3.А.1 - Коэффициенты для определения средней дисперсии  $\langle d \rangle$

$n_d$	$A$	$B$	$n_d$	$A$	$B$	$n_d$	$A$	$B$
1,3200	0,02225	0,04263	1,3770	0,02201	0,04079	1,4350	0,02183	0,03816
1,3210	0,22225	0,04261	1,3780	0,02201	0,04075	1,4360	0,02183	0,03811
1,3220	0,02224	0,04258	1,3790	0,02201	0,04071	1,4370	0,02182	0,03806
1,3230	0,02224	0,04255	1,3800	0,02200	0,04067	1,4380	0,02182	0,03801
1,3240	0,02223	0,04253	1,3810	0,02200	0,04063	1,4390	0,02182	0,03795
1,3250	0,02223	0,04250	1,3820	0,02199	0,04059	1,4400	0,02182	0,03790
1,3260	0,02222	0,04247	1,3830	0,02199	0,04055	1,4410	0,02181	0,03785
1,3270	0,02222	0,04244	1,3840	0,02199	0,04051	1,4420	0,02181	0,03779
1,3280	0,02221	0,04242	1,3860	0,02198	0,04047	1,4430	0,02181	0,03774
1,3290	0,02221	0,04239	1,3870	0,02198	0,04039	1,4440	0,02181	0,03768
1,3300	0,02221	0,04236	1,3880	0,02197	0,04035	1,4450	0,02180	0,03763
1,3310	0,02220	0,04233	1,3890	0,02197	0,04031	1,4460	0,02180	0,03757
1,3320	0,02220	0,04230	1,3900	0,02197	0,04027	1,4470	0,02180	0,03752
1,3330	0,02219	0,04227	1,3910	0,02196	0,04023	1,4480	0,02180	0,03746
1,3340	0,02219	0,04224	1,3920	0,02196	0,04018	1,4490	0,02179	0,03741
1,3350	0,02218	0,04222	1,3930	0,02196	0,04014	1,4500	0,02179	0,03735
1,3360	0,02218	0,04219	1,3940	0,02195	0,04010	1,4510	0,02179	0,03735
1,3370	0,02217	0,04216	1,3950	0,02195	0,04006	1,4520	0,02178	0,03724
1,3380	0,02217	0,04213	1,3960	0,02195	0,04001	1,4530	0,02178	0,03718
1,3390	0,02217	0,04210	1,3970	0,02194	0,03997	1,4540	0,02178	0,03713
1,3400	0,02216	0,04207	1,3980	0,02194	0,03993	1,4550	0,02178	0,03707
1,3410	0,02216	0,04203	1,3990	0,02194	0,03978	1,4560	0,02178	0,03701
1,3420	0,02215	0,04200	1,4000	0,02193	0,03984	1,4570	0,02178	0,03695
1,3430	0,02215	0,04197	1,4010	0,02193	0,03980	1,4580	0,02177	0,03690
1,3440	0,02214	0,04194	1,4020	0,02193	0,03975	1,4590	0,02177	0,03684

$n_D$	$A$	$B$	$n_D$	$A$	$B$	$n_D$	$A$	$B$
1,3450	0,02214	0,04191	1,4030	0,02192	0,03971	1,4600	0,02177	0,03678
1,3460	0,02214	0,04188	1,4040	0,02192	0,03966	1,4610	0,02177	0,03672
1,3470	0,02213	0,04185	1,4050	0,02192	0,03962	1,4620	0,02177	0,03666
1,3480	0,02213	0,04181	1,4060	0,02191	0,03957	1,4630	0,02176	0,03660
1,3490	0,02212	0,04178	1,4070	0,02191	0,03953	1,4640	0,02176	0,03554
1,3500	0,02212	0,04175	1,4080	0,02191	0,03948	1,4650	0,02176	0,03648
1,3510	0,02211	0,04172	1,4090	0,02190	0,03944	1,4660	0,02176	0,03642
1,3520	0,02211	0,04168	1,4100	0,02190	0,03939	1,4670	0,02176	0,03636
1,3530	0,02211	0,04165	1,4110	0,02190	0,03935	1,4680	0,02175	0,03630
1,3540	0,02210	0,04162	1,4120	0,02189	0,03930	1,4690	0,02175	0,03620
1,3550	0,02210	0,04158	1,4130	0,02189	0,03925	1,4700	0,02175	0,03618
1,3560	0,02209	0,04155	1,4140	0,02189	0,03920	1,4710	0,02176	0,03612
1,3570	0,02209	0,04152	1,4150	0,02188	0,03916	1,4720	0,02175	0,03606
1,3580	0,02209	0,04148	1,4160	0,02188	0,03911	1,4730	0,02174	0,03599
1,3590	0,02208	0,04145	1,4170	0,02188	0,03906	1,4740	0,02174	0,03593
1,3600	0,02208	0,04141	1,4180	0,02188	0,03901	1,4750	0,02174	0,03587
1,3610	0,02207	0,04138	1,4190	0,02187	0,03897	1,4760	0,02174	0,03681
1,3620	0,02207	0,04134	1,4200	0,02187	0,03892	1,4770	0,02174	0,03574
1,3630	0,02207	0,04131	1,4210	0,02187	0,03887	1,4780	0,02174	0,03568
1,3640	0,02206	0,04127	1,4220	0,02186	0,03882	1,4790	0,02173	0,03562
1,3650	0,02206	0,04123	1,4230	0,02186	0,03877	1,4800	0,02173	0,03555
1,3660	0,02205	0,04120	1,4240	0,02186	0,03872	1,4810	0,02173	0,03549
1,3670	0,02205	0,04116	1,4250	0,02186	0,03867	1,4820	0,02173	0,03543
1,3680	0,02205	0,04113	1,4260	0,02185	0,03862	1,4830	0,02173	0,03536
1,3690	0,02204	0,04109	1,4270	0,02185	0,03857	1,4840	0,02173	0,03530
1,3700	0,02204	0,04105	1,4280	0,02185	0,03852	1,4850	0,02173	0,03524
1,3710	0,02204	0,04102	1,4290	0,02184	0,03847	1,4860	0,02172	0,03517



$n_d$	$A$	$B$	$n_d$	$A$	$B$	$n_d$	$A$	$B$
1,3720	0,02203	0,04098	1,4300	0,02184	0,03842	1,4870	0,02172	0,03511
1,3730	0,02203	0,04094	1,4310	0,02184	0,03837	1,4880	0,02172	0,03505
1,3740	0,02202	0,04090	1,4320	0,02184	0,03832	1,4890	0,02172	0,03499
1,3750	0,02202	0,04086	1,4330	0,02183	0,03827	1,4900	0,02172	0,03493
1,3760	0,02202	0,04083	1,4340	0,02183	0,03822			

Таблица 3.А.2 - Значения  $\sigma$  для определения средней дисперсии.

$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$
0	1,000	16	0,669	32	-0,104	48	-0,809
1	0,999	17	0,629	33	-0,156	49	-0,839
2	0,995	18	0,588	34	-0,208	50	-0,866
3	0,988	19	0,545	35	-0,259	51	-0,891
4	0,978	20	0,500	36	-0,309	52	-0,914
5	0,966	21	0,454	37	-0,358	53	-0,934
6	0,951	22	0,407	38	-0,407	54	-0,951
7	0,934	23	0,358	39	-0,454	55	-0,966
8	0,914	24	0,309	40	-0,500	56	-0,978
$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$	$Z$	$\sigma$
9	0,891	25	0,259	41	-0,545	57	-0,988
10	0,866	26	0,208	42	-0,588	58	-0,995
11	0,839	27	0,156	43	-0,629	59	-0,999
12	0,809	28	0,104	44	-0,669	60	-1,000
13	0,777	29	0,052	45	-0,707		
14	0,743	30	0,000	46	-0,743		
15	0,707	31	-0,052	47	-0,777		

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначен рефрактометр УРЛ-1?
2. От какого параметра зависит абсолютный показатель преломления?
3. Какое явление называется дисперсией?
4. Какое явление лежит в основе работы рефрактометра?
5. Для чего предназначены осветительная и измерительная призмы?
6. От чего зависит положение границы светотени?

7. Вследствие какого физического явления при наблюдении в белом свете граница светотени имеет радужную окраску?
8. Как можно устранить окрашенность границы светотени?
9. Что наблюдается в фокальной плоскости объектива и окуляра зрительной трубы?
10. Как определяется средняя дисперсия жидкости в данной работе?