



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Аналитический исследовательский центр

**Определение показателя преломления жидкостей рефрактометром
Excellence RM40 METTLER TOLEDO**

Методические указания к лабораторным работам

Казань 2021

Составитель: Е.Н. Шунина

Определение показателя преломления жидкостей рефрактометром Excellence RM40 METTLER TOLEDO. Методические указания к лабораторной работе: Метод. указания /Казан. нац. иссл. технол. ун-т; Сост.: Е.Н. Шунина. Казань, 2021. 18с.

Цель настоящего методического указания дать более полное представление об одном из классических методов измерения показателя преломления – рефрактометрическом методе, на примере его определения на рефрактометре Excellence RM40 Mettler Toledo.

Методическое указание предназначено для студентов, магистров, аспирантов ФГБОУ ВО «КНИТУ».

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Теоретические основы.....	5
3. Рефрактометр Excellence RM40 Mettler Toledo. Общее описание	9
4. Лабораторная работа №1 «Определение показателя преломление растворов сахара».....	16
5. Контрольные вопросы.....	17
6. Список литературы.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Показатель преломления принадлежит к числу немногих физических констант, которые можно измерить с очень высокой точностью и малой затратой времени, располагая лишь небольшим количеством вещества. Для этого используются приборы - рефрактометры. Они позволяют определять показатель преломления с точностью до 0,01% и даже до 0,001% от измеряемой величины. Для этого требуется всего (0,05 - 0,5) г вещества, а вся процедура измерений сводится к отсчету по шкале прибора.

Один из первых рефрактометров был создан в середине 18 века. Ломоносов назвал его «квадрантом, придуманным для определения преломлений в химических телах». Термин «рефракция» был введен в науку в начале 18 века Ньютоном в его книге «Оптика».

В наше время рефрактометры являются обязательной принадлежностью многих исследовательских и производственных лабораторий. Рефрактометрические методы широко применяются в химической, нефтяной, фармацевтической, пищевой промышленности, в геологии, в сельском хозяйстве для контроля качества и зрелости плодов, овощей и семян. В биологических, химических и физических лабораториях рефрактометры применяются для исследования эфирных масел, жиров, крови, жидкого топлива, смазочных масел, стекол, различных растворов и т.д. Нет сомнения, что простота и доступность измерений в сочетании с высокой точностью позволят рефрактометрическим методам сохранить свое значение и в будущем.

Цель данной работы: измерить с помощью рефрактометра показатели преломления ряда жидкостей относительно воздуха, а также найти аналитическую зависимость показателя преломления раствора от концентрации растворенного в нем вещества.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕФРАКТОМЕТРИИ

Показатель преломления (n) — это отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде, из которой свет падает на границу раздела; выражается отношением синуса угла падения луча света (i) к синусу угла преломления (a) (рис. 1).

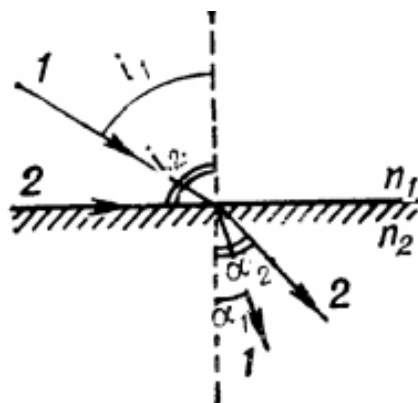


Рисунок 1 – Отношение синуса угла падения луча света к синусу угла преломления

Преломление световых лучей на границе двух прозрачных сред n_1 и n_2 : i_1 и i_2 — углы падения лучей 1 и 2, α_1 и α_2 — углы преломления, α_2 — предельный угол преломления ($\alpha_2 = 90^\circ$). При обратном направлении хода лучей (из среды n_2 в среду n_1) угол α_2 называется углом полного внутреннего отражения (при углах, больших α_2 , свет не будет проходить в среду n_1).

Для каждой среды n — величина постоянная, не зависящая от угла падения. На практике n обычно определяют при падении света на преломляющую среду из воздуха. Поскольку величина n зависит от длины волны света и температуры, то при n обычно указывают длину волны света или обозначение спектральной линии, при которой производилось измерение, напр., n_D^{20} означает, что n измерено при длине волны 589,3 нм (желтая линия натрия) и температуре, равной 20° . На практике часто используют величину, являющуюся функцией показателя преломления и называемую рефракцией. Рефракция, отнесенная к одному грамму вещества, называется удельной рефракцией (r):

$$r = [(n^2 - 1)/(n^2 + 2)] * (1/d) \quad (1)$$

Рефракция, отнесенная к одному молю вещества, называется молекулярной рефракцией (R):

$$R = [(n^2 - 1)/(n^2 + 2)] * (M/d) \quad (2)$$

где d — удельный вес вещества, M — молекулярный вес.

Молекулярная рефракция складывается из рефракций, входящих в молекулу атомов, характерна для каждого вещества и позволяет, в частности, идентифицировать состав жидкостей (с точностью до 0,01%), проводить количественный анализ (при расходе вещества 0,001 — 0,1 г), изучать строение молекул, определять градиенты концентраций вещества при седиментации, электрофорезе, диффузии.

По способу измерения n различают несколько методов Р., основными из которых являются: 1) методы прямого измерения углов при прохождении луча света через границу раздела двух сред; 2) интерференционные методы; 3) иммерсионные методы.

В одном из вариантов первого метода исследуемую жидкость наливают в полую призматическую кювету с преломляющим углом φ (рис. 2). Призму освещают параллельным пучком света со стороны одной грани и измеряют наименьший угол отклонения луча света δ , который соответствует симметричному ходу лучей через призму. Величина показателя преломления n_x вычисляется по формуле:

$$n_x = \sin([\varphi + \delta]/2) / \sin(\varphi/2). \quad (3)$$

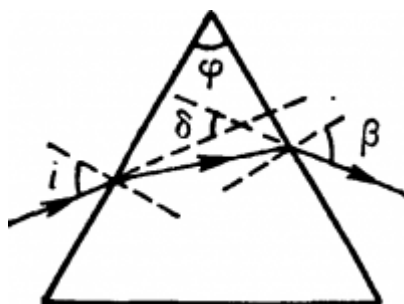


Рисунок 2 – Метод прямого измерения углов при прохождении луча света через границу раздела двух сред

Ход лучей через призму с преломляющим углом φ : угол отклонения δ имеет наименьшую величину при угле падения луча света i , равном углу преломления на выходе из призмы β .

Большее распространение получил метод определения показателя преломления (n_x) образца путем измерения предельного угла преломления или угла полного внутреннего отражения на границе образца и призмы с точно известным показателем преломления (n_0), большим, чем n_x (рис. 3). Исследуемую жидкость наливают в прозрачный сосуд, установленный на поверхности призмы (в случае твердого тела одна поверхность его полируется на плоскость, а между этой плоскостью и поверхностью призмы помещают каплю жидкости, которая растекается в тонкий плоскопараллельный слой).

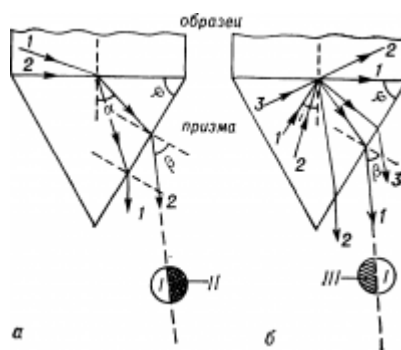


Рисунок 3 - Принципиальная схема измерения показателя преломления методом предельного угла преломления

Принципиальная схема измерения показателя преломления методом предельного угла преломления: а — лучи (1 и 2), падающие на призму через образец под разными углами, после преломления остаются внутри предельного угла преломления α , ограниченного лучом 2, для которого угол падения равен 90° ; на выходе из призмы образуется резкая граница между светлой областью (I) и тенью (II), наблюдаемая в зрительную трубу; б — лучи (1, 2 и 3), падающие на границу раздела со стороны одной из граней призмы, полностью отражаются при угле падения луча света больше предельного угла i (луч 3) и частично отражаются при угле падения меньше, чем i (луч 2); на выходе из призмы образуется граница между светлой областью (I) и полутенью (III), наблюдаемая в зрительную трубу; φ — преломляющий угол призмы; β — угол преломления на выходе из призмы.

В одном варианте метода (рис. 3, а) граница соприкосновения исследуемого образца освещается широким пучком света со стороны образца, а в другом — со стороны одной из граней призмы (рис. 3, б). Расчет производится по формуле

$$n_x = n_0 \sin(\alpha), \quad (4)$$

где α — предельный угол преломления, соответствующий углу падения луча света $i = 90^\circ$, n_0 — известное значение угла преломления призмы, n_x — искомое значение показателя преломления.

На практике обычно измеряют не предельный угол преломления, а угол выхода предельного луча из призмы в воздух β . В этом случае

$$n_x = \sin\varphi \sqrt{(n_0^2 - \sin^2\beta)} \pm \cos\varphi \sin\beta, \quad (5)$$

где φ — угол преломления призмы (остальные обозначения те же).

Наиболее чувствительным является интерференционный метод измерения показателей преломления. Если луч света определенной длины волны от одного источника света разделить на два параллельных луча и затем их свести вместе, то при наличии постоянной разности фаз между колебаниями электромагнитных волн в одном луче относительно другого в

плоскости пересечения лучей будет наблюдаться интерференция. Помещение на пути одного луча кюветы с исследуемым веществом, а на пути другого такой же кюветы с эталонным веществом (т. е. показатель преломления n_0 , которого точно известен) приводит к смещению интерференционной картины на m полос по сравнению со случаем, когда обе кюветы наполнены одним и тем же веществом. В этом случае значение n_x рассчитывают по формуле:

$$n_x = n_0 \pm m\lambda/l, \quad (6)$$

где λ — длина волны света, l — длина кюветы.

Наибольшее распространение этот метод получил при Р. Газообразных и жидких прозрачных веществ, определении количества примесей, концентраций разбавленных растворов и т. д.

При Р. Преломления твердых тел, не имеющих определенной формы (напр., порошков, кусков стекла и др.), используется иммерсионный метод, основанный на подборе эталонной иммерсионной жидкости с показателем преломления, равным показателю преломления исследуемого образца ($n_0 - n_x$). При помещении исследуемого образца в эту жидкость он становится «невидимым».

При иммерсионном методе заранее готовится набор эталонных жидкостей, в которые последовательно вводится исследуемый образец. При достижении оптической однородности среды измеряют показатель преломления жидкости с помощью одного из описанных выше методов. Как правило, наблюдение с помощью иммерсионного метода ведется под микроскопом.

Рефрактометр — прибор, измеряющий показатель преломления света в среде.

Рефрактометр — не универсальный прибор, он пригоден для измерения показателей преломления только в определённых пределах. Верхний предел определяется неравенством $n < N$, т.е. измеряемый показатель преломления n должен быть меньше показателя преломления N измерительной призмы. Нижний предел зависит от конструкции прибора.

Рефрактометры бывают промышленные, лабораторные, портативные.

Основные приложения рефрактометрии.

1. Анализ и контроль технологических процессов. Рефрактометрические константы могут служить критерием чистоты вещества и являются средством идентификации. Например, по показателю преломления можно непосредственно установить концентрацию двухкомпонентных растворов, анализировать тройные и более сложные смеси и определять, таким образом, состав многих важных промышленных продуктов и биологических объектов.

2. Изучение взаимодействия и превращения компонентов химических систем при физико-химическом анализе органических систем, комплексообразовании и реакций в растворах электролитов, фазовых превращениях, в химической кинетике и при оценке реакционной способности.

3. Установление строения химических соединений.

4. Использование соотношений между рефрактометрическими константами и другими физико-химическими свойствами дает возможность определить такие величины, как моменты электрических диполей; молекулярную массу полимеров, плотность вещества, изменение объема и коэффициентов расширения, а также оценить размеры молекул, ионов, атомов.

3.РЕФРАКТОМЕТР Excellence RM40 Mettler Toledo. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Принцип действия рефрактометра основан на явлении полного внутреннего отражения и измерения критического угла при попадании на границу света раздела двух сред с разными показателями преломления.

Главный элемент устройства - призма с высоким показателем преломления. Именно на нее наносят исследуемое вещество, концентрацию которого необходимо установить. При измерении образец исследуемой жидкости помещается на поверхность призмы. Световой поток от монохроматического источника излучения (лазерного светодиода), проходя через оптическую систему, отражается от границы раздела двух сред под разными углами. Отраженные лучи проецируются на фотоприемное устройство, где анализируются положение границы света и тени, и полученная информация преобразуется в электрический сигнал (рис. 4). Электрический сигнал поступает в электронный блок прибора, где в соответствии с записанным в памяти математическим алгоритмом происходит его преобразование.

■ Схема ячейки показателя преломления:

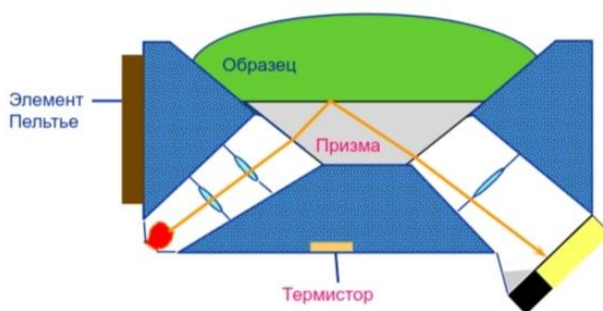


Рисунок 4 – Схема ячейки показателя преломления

Результаты измерений отображаются на сенсорном дисплее с подсветкой. Ввод параметров и управление процессом измерений осуществляется с помощью кнопочной панели, расположенной под жидкокристаллическим дисплеем.

Конструктивно рефрактометр выполнен в моноблочном настольном стационарном исполнении. Рефрактометр имеет встроенный модуль термостатирования измеряемой жидкости, основанный на элементах Пельтье.



Рисунок 4 – Рефрактометр Excellence RM40 Mettler Toledo.

Рефрактометр имеет диапазон измерения n_D 1,32-1,70, дискретность 0,0001.

Встроенное программное обеспечение на русском языке позволяет автоматически пересчитать результаты измерений по стандартным таблицам (например, сухие вещества (сахар) по шкале Brix, крепость алкогольных напитков) или по определяемым пользователем формулам.

Рефрактометр Excellence RM40 имеет:

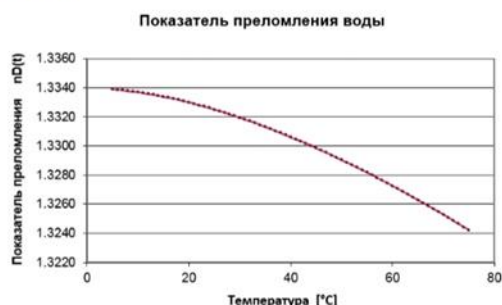
- Встроенный твердотельный термостат Пельтье.
- Высокая скорость нагрева и охлаждения.
- Патентованная технология ускоренных измерений.

- Алгоритм определения неоднородности заполнения ячейки.
- Настройки по воздуху, воде и жидким стандартам.
- Поправка на вязкость.
- Журнал проверок.

3.1. РЕГУЛИРОВКА ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТАМИ ПЕЛЬТЬЕ

Сильное влияние на показатель преломления оказывает температура.

Влияние температуры на показатель преломления



Пример. Влияние температуры на показатель преломления воды

Рисунок 5 – Влияние температуры на показатель преломления воды

Особенность такой конструкции:

- предназначена для обеспечения и поддержания абсолютно стабильной правильной температуры;
- не предназначена для быстрых измерений;

Для достижения первого относительно стабильного уровня требуется некоторое время (от 10 до 20 минут).

Лучше всего избегать температурных изменений (длительное время ожидания, изначально повышенная неопределённость).

3.2. Определение типа образца

Перед началом измерения важно принять некоторые меры предосторожности, зависящие от типа изучаемого образца.

Пастообразные образцы. В пастообразных образцах, например в томатном пюре, могут появиться воздушные карманы или подушки между призмой и образцом. Чтобы обеспечить полный контакт образца с призмой, нужно плотно прижать образец к призме и устранить такие воздушные подушки. К рефрактометрам МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Excellence можно подключить легко устанавливаемый пресс. Закрытая крышка прижимает образец к призме, что позволяет избавиться от воздушных подушек и обеспечить точность результата.

Клейкие или вязкие образцы. Такие образцы, как концентрированный глицерин, концентраты сиропа и т. д., не всегда быстро реагируют на изменения температуры среды. Даже если прибор правильно определяет температуру, контактирующий с призмой образец продолжает медленно адаптироваться к температуре, что приводит к медленному, но постоянному дрейфу измеряемого показателя преломления. Следовательно, для получения абсолютно правильных показаний для таких образцов рекомендуется выждать некоторое время (от 20 до 60 секунд) перед началом измерения. Необходимое время выдержки следует быстро подтвердить в серии измерений.

Агрессивные образцы. Следует убедиться, что все части прибора, контактирующие с образцом, устойчивы к его воздействию! Большинство рефрактометрических ячеек изготовлены из нержавеющей стали, которая подвергается воздействию сильно окисляющих образцов. Если необходимо определить концентрацию относительно сильных кислот (например, серной, азотной или соляной), следует использовать рефрактометр с ячейкой, устойчивой к таким образцам. Если его нет, то для работы с агрессивными образцами можно использовать плотномер. В плотномерах детали, находящиеся в контакте с образцом, обычно изготовлены из боросиликатного стекла, фторопласта и полипропилена.

Образцы летучих веществ. Измерение образцов летучих веществ обычно проводят при низких температурах, чтобы уменьшить испарение (необходимо помнить о возможной конденсации на ячейке). В некоторых случаях испарение может препятствовать стабилизации температуры, и получить достоверные результаты измерения будет невозможно. Для очень летучих (таких как гексан) или токсичных образцов рефрактометр МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Excellence может быть оснащен проточной ячейкой и использоваться вместе с модулями SC1 или SC30 для автоматического анализа. Такой вариант имеет следующие преимущества:

- Ускорение процесса измерений, поскольку образец во время измерения не испаряется и с ним можно работать при комнатной температуре

- Высокий уровень безопасности, так как вещества не испаряются из закрытых сосудов, и работа с ними сведена до минимума
- После измерений образцы можно поместить на хранение для дальнейшего анализа

Негомогенные образцы и суспензии. Некоторые негомогенные растворы или суспензии в отсутствие перемешивания со временем могут давать осадок: часть твердого вещества может осесть или образовать градиент концентрации. Прежде чем использовать такой образец, его необходимо перемешать. Следует соблюдать осторожность, чтобы в процессе перемешивания в образец не попали пузырьки воздуха. Автоподатчик МЕТТЛЕР ТОЛЕДО InMotion может перемешивать образцы в стаканах перед измерением; это гомогенизирует их и предотвращает выпадение осадка. Однако часто бывает невозможно полностью гомогенизировать образец (например, кетчуп) для анализа суспензий. В таких случаях измерения необходимо повторять несколько раз и рассчитывать среднее значение по нескольким результатам, чтобы получить достоверные данные.

3.3. Проверка рефрактометра

Перед измерением показателя преломления важно проверить точность измерения системы. Это можно сделать, измерив образец с известным показателем преломления (например, дистиллированную воду или другой эталон). Эту процедуру обычно называют тестом, калибровкой или проверкой. После завершения теста измеренный показатель преломления сравнивается с известным номинальным значением образца – так проверяется точность системы. Рекомендуется проводить такое тестирование регулярно.

Тестирование (калибровка). Проверку рефрактометра по воде ($n_D = 1.33299$ при $20\text{ }^\circ\text{C}$) рекомендуется проводить ежедневно. Это гарантирует длительное отсутствие дрейфа в показаниях прибора. С меньшей периодичностью (например, еженедельно, ежемесячно или даже ежегодно, в зависимости от требований к качеству) рекомендуется проводить тест с сертифицированным стандартом для нужного диапазона измерений. Такое тестирование проверяет точность измерений в диапазоне значений показателя преломления образцов, с которыми чаще всего приходится работать. В рефрактометрах МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Excellence можно определить периодичность выполнения для наборов тестов с автоматическим напоминанием для оператора. Методики измерений можно настроить таким образом, чтобы по истечении определенного срока тестирования оператору выдавалось дополнительное предупреждение или прибор блокировался.

Можно использовать доступные эталоны со стабильными свойствами, например деионизированную воду или толуол аналитической чистоты. Обычно в качестве тестового образца для ежедневных тестов используется деионизированная вода, поскольку она имеется практически в каждой лаборатории и обладает высокой и воспроизводимой степенью чистоты. Также широко используются стандарты градусов Брикса. Для тестов, выполняемых с большим интервалом времени (например, ежемесячно или ежегодно), можно применять другую процедуру с использованием сертифицированных и прослеживаемых стандартов, предназначенных для обеспечения качества и прослеживаемости.

Для деионизированной воды (неопределенность для воды обычно неизвестна) допуск должен определяться как удвоенная разрешающая способность прибора плюс воспроизводимость оператора (нелинейность ячейки установлена на "0" для деионизированной воды, так же, как для настройки). - Никогда не выходите за пределы этого диапазона, иначе высока вероятность частых ложных сообщений о нарушении пределов допуска, причиной которых является только внутреннее округление. Этот диапазон должен быть как можно более узким с учетом разрешения прибора и воспроизводимости оператора.

Для сертифицированных органических стандартов, которые обычно имеют довольно высокий температурный коэффициент (показатель преломления зависит от температуры), необходимо также учесть указанную температурную погрешность прибора. Чтобы избежать установления слишком строгих допусков, обычно необходимо суммировать четыре составляющие допуска: неопределенность стандарта, предельную погрешность прибора, температурную погрешность и воспроизводимость.

Что делать, если тест оказался неудачным.

Если полученное при проверке прибора на известных стандартах значение отклоняется от истинного значения больше, чем на определенный допуск, необходимо действовать следующим образом:

1. Проверьте, использовалось ли надлежащее вещество, например, свежеприготовленная деионизированная вода.
2. Тщательно очистите призму.
3. Повторите проверку.
4. Если тест продолжает давать неверные результаты, а разность изменяется от теста к тесту (т. е. нестабильна), то необходимо выполнить более тщательную очистку, возможно, с применением более сильных

растворителей (со временем на призме могли образоваться отложения) до тех пор, пока тест не будет давать воспроизводимые результаты.

Если воспроизводимость достигнута (разница между результатами обусловлена только округлением), но результат теста по-прежнему неудовлетворительный, то необходима настройка. Это может быть вызвано нормальным дрейфом прибора с течением времени (обычно по прошествии месяцев или лет). К настройке можно приступать, только когда отклонение результатов станет воспроизводимым.

3.4. Предотвращение ошибок при отборе проб

С использованием шприца. Следует использовать пластиковые шприцы с люэровским наконечником, предпочтительно трехкомпонентные (с резиновым кольцевым уплотнением), так как они позволяют намного точнее контролировать скорость подачи образца. Предотвращение образования воздушных подушек. Добавляйте образец непосредственно на призму и, что особенно важно для вязких образцов, перемешивайте образец наконечником шприца, чтобы удалить воздушные подушки между призмой и образцом. Это также гомогенизирует образец (растворяет содержащиеся в нем примеси).

Добавляйте достаточное количество образца. Правильное наполнение: часть света отражается на границе между призмой и образцом (полное отражение, необходимое для расчета показателя преломления), а часть – на границе между образцом и воздухом. Часть света, отраженная на границе между образцом и воздухом, не попадает на ПЗС-датчик, поэтому результат получается правильный (Рис. 5).

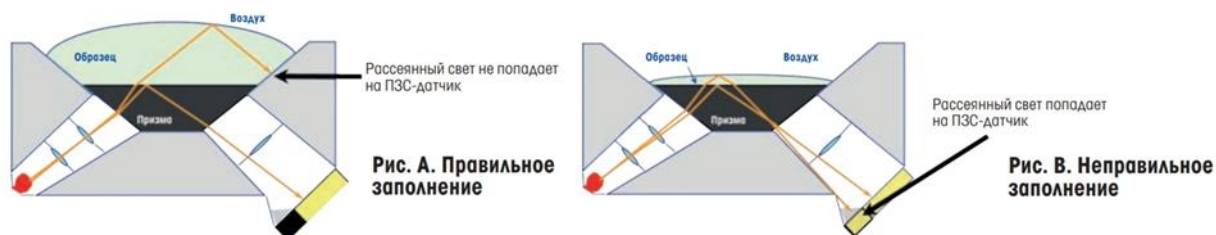


Рисунок 5 –Правильное (А) и неправильное (В) заполнение призмы

Неправильное заполнение: если на призму добавить всего лишь несколько капель, то рассеянный свет (отраженный на границе между образцом и воздухом) попадает на ПЗС-датчик и искажает результат (Рис.5)! Для большинства настольных рефрактометров минимальный объем образца составляет примерно 0.5 мл. Рефрактометры МЕТТЛЕР ТОЛЕДО Excellence имеют метку с указанием этого объема. Поверхностное натяжение органических растворителей (этанол, ацетон и др.) или образцов, их содержащих, невелико по сравнению с водой. Такие образцы действуют как

смачивающие агенты и образуют вогнутый мениск, что может привести к попаданию рассеянного света на ПЗС-датчик и исказить результат. Чтобы избежать этого, рекомендуется увеличить объем образца, чтобы получить достаточную высоту заполнения призмы – не менее ~1 мл

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«Определение показателя преломления растворов сахара»

Цель работы: измерить с помощью рефрактометра показатели преломления ряда жидкостей относительно воздуха, а также найти аналитическую зависимость показателя преломления раствора от концентрации растворенного в нем вещества.

4.1. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- цифровой рефрактометр RM40 ,
- набор жидкостей с различными показателями преломления и растворы сахара с разными концентрациями: 10%; 15%; 20%; Коэффициент преломления данных растворов должен быть определен при $(20 \pm 0,02) ^\circ\text{C}$.
- пластиковые шприцы с люэровским наконечником,
- безворсовые салфетки для протирки призм рефрактометра,
- деионизированная вода,
- ацетон.

4.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерение показателей преломления жидкостей:

- 1) Включить прибор и прогреть не менее 30 минут.
- 2) Провести калибровку воздух – вода. Следовать указаниям прибора.
- 3) Открыть крышку прибора, нанести шприцом на измерительную призму примерно 0,5 мл исследуемой жидкости и закрыть блок.
- 4) Записать показания прибора. Следовать указаниям прибора по очистке. Опыт повторить три раза.
- 5) Открыть крышку, удалить шприцом исследуемую жидкость, капнуть пипеткой несколько капель деионизированной воды на измерительную призму, протереть салфеткой.

б) Аналогично измерить показатель преломления другой жидкости и т.д.

4.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1) Построение градуировочного графика

Таблица 1.

Концентрация раствора	n1	n2	n3	n _{ср}
10%				
15%				
20%				

2) Занести значения измеренных показателей преломления жидкостей в таблицу 2.

Таблица 2.

Исследуемая жидкость	n1	n2	n3	n _{ср}

- 3) Построить график зависимости показателя преломления n от концентрации раствора x . График лучше строить на миллиметровой бумаге. По оси абсцисс отложить значения x , а по оси ординат значения n . На ось ординат надо также нанести значение показателя преломления n_0 , дистиллированной воды. Через полученные точки провести прямую.
- 4) Найти из графика значение инкремента показателя преломления раствора сахара k , равное тангенсу угла наклона, полученной линейной зависимости
- $$k = \operatorname{tg} \gamma = BC/AC .$$
- 5) Записать аналитическую зависимость n от x , используя формулу
- $$n = n_0 + kx$$
- и подставив вместо k и n_0 найденные значения.
- 6) Отчет по работе составить в следующей последовательности: цель работы, краткая теория, принцип действия рефрактометра, приборы и принадлежности, порядок выполнения эксперимента, таблицы, расчет измерений.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Кто ввёл в науку термин «рефракция».
- 2) Когда был создан первый рефрактометр.

- 3) В каких отраслях промышленности используются рефрактометрические методы.
- 4) Что показывает показатель преломления.
- 5) Основные методы рефракции.
- 6) Какой диапазон измерения показателя преломления рефрактометра RM40
- 7) В чём удобство цифровых рефрактометров.
- 8) Как влияет температура на показатель преломления.
- 9) Для чего в рефрактометре нужен элемент Пельтье.

6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И.В. Курс Общей физики. Том 4. – М.: Наука, 1998.- 256 с.
2. Гольдин Л.Л. и др. Лабораторные занятия по физике. – М.: Наука, 1983. – 704 с.
3. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы химии, Л., 1974
4. Инструкция к рефрактометру RM40.