



МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

---

Ка ф е д р а «Аналитическая и физическая химия»

# **ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

Методические указания  
к лабораторной работе № 9

Самара  
Самарский государственный технический университет  
2017

Печатается по решению методического совета ХТФ

УДК 543.18.076.5

**Оптические методы исследования дисперсных систем:** Метод. указ. к лаб. работам / Сост. *Л.В. Кольцов, М.А. Лосева*. Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2017.- 14 с.: Илл.

В работе дано описание исследования физико-химических свойств дисперсных систем различными оптическими методами.

Методические указания рассчитаны на студентов, изучающих курс в рамках бакалавриата по направлениям 04.03.01, 04.03.02, 18.03.01, 18.03.02, 19.03.01, 19.03.02 и специалитета по направлениям 04.05.01, 18.05.01.

УДК 543.18.076.5

Составители: канд. хим. наук М.А. Лосева, канд. хим. наук Л.В. Кольцов

Рецензент: канд. тех.наук А.Г. Назмутдинов

© Л.В. Кольцов, М.А.  
Лосева, составление 2017  
© Самарский государственный  
технический университет, 2017

Дисперсные системы обладают фазовой и соответственно оптической неоднородностью. Лучи, направленные на микрогетерогенные и грубодисперсные системы, падают на поверхность частиц, отражаются и преломляются под разными углами, что обуславливает выход лучей из системы в разных направлениях. Прямому прохождению лучей через дисперсную систему препятствует также их многократные отражения и преломления при переходах от частицы к частице.

Наиболее характерным оптическим свойством дисперсных систем в диапазоне видимой части электромагнитного излучения (световой диапазон) является рассеяние света на коллоидных частицах.

Теория светорассеяния (опалесценции) впервые была разработана Рэлеем. В её основе – уравнение для интенсивности света  $I_p$ , рассеянного единицей объема дисперсной фазы со сферическими диэлектрическими частицами, значительно меньшими длины волны падающего света:

$$I_p = I_0 \left[ F \frac{\nu V^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta) \right], \quad (1)$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего света;

$F$  – функция показателей преломления;

$\nu$  – концентрация частиц в единице объема системы;

$V$  – объем частицы;

$\lambda$  – длина волны падающего света;

$R$  – расстояние частицы от источника света;

$\theta$  – угол между направлениями распространения рассеянного света и падающего света.

Функция  $F$  определяется соотношением:

$$F = 24\pi^3 \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2, \quad (2)$$

$n_1$  и  $n_2$  – соответственно показатель преломления вещества дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Уравнение Рэля может быть использовано для определения размеров частиц сферической формы, если их радиус  $r$  не превышает  $1/20$  длины волны  $\lambda$  падающего света. При  $\theta = 90^\circ$ , согласно уравнению (1), радиус таких частиц равен

$$r = \left( \frac{3\tau\lambda^4}{4\pi c F} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Поэтому  $r = \sqrt[3]{\frac{3c \cdot V}{4\pi \cdot v \cdot \rho}}$  (для сферических частиц),

где  $V$  – объем частицы,

$c$  - концентрация,

$\rho$  – плотность вещества,

$v$  – частичная концентрация;

$$r = \sqrt[3]{\frac{c \cdot V}{v \cdot \rho}} \quad (\text{для кубических частиц})$$

*Необходимым условием* использования уравнений (1) и (3) является *отсутствие поглощения света, а также вторичного светорассеяния. Поэтому уравнение Рэлея применимо только для так называемых «белых золь», т.е. не поглощающих свет дисперсных систем, и при очень малых концентрациях дисперсной фазы.*

### Световая и электронная микроскопия

Наиболее информативными и поэтому широко используемыми методами определения дисперсности и формы частиц являются световая и электронная микроскопия. С их помощью можно непосредственно наблюдать частицы и устанавливать их размеры, т.е. исследовать наиболее широкий круг дисперсных систем как по дисперсности, так и по агрегатному состоянию фаз. Нижний предел световой микроскопии – до 100 нм, электронной микроскопии – до 2 - 5 нм.

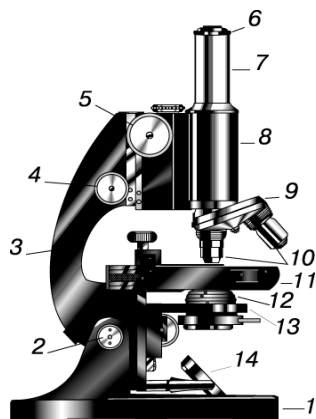
Образец обычно берется в виде очень тонкого прозрачного слоя или среза; его кладут на прямоугольную стеклянную пластинку, называемую предметным стеклом, и накрывают сверху более тонкой стеклянной пластинкой меньших размеров, называемой покровным стеклом.

Образец часто окрашивают химическими веществами, чтобы увеличить контраст. Предметное стекло кладут на предметный столик так, чтобы образец находился над центральным отверстием столика.

Методы световой микроскопии классифицируют по способам освещения объектов исследования. Освещение в проходящем свете применяют при рассмотрении деталей тонких объектов. Для многих объектов применяют микроскопию с использованием падающего света (в отраженном свете).

Электронная микроскопия имеет существенный недостаток: она применима только для исследования сухих образцов и не может быть использована для наблюдения их в жидких средах.

Этот недостаток отсутствует у оптических методов, основанных на рассеянии света (опалесценции). Они не уступают электронной микроскопии и по чувствительности.



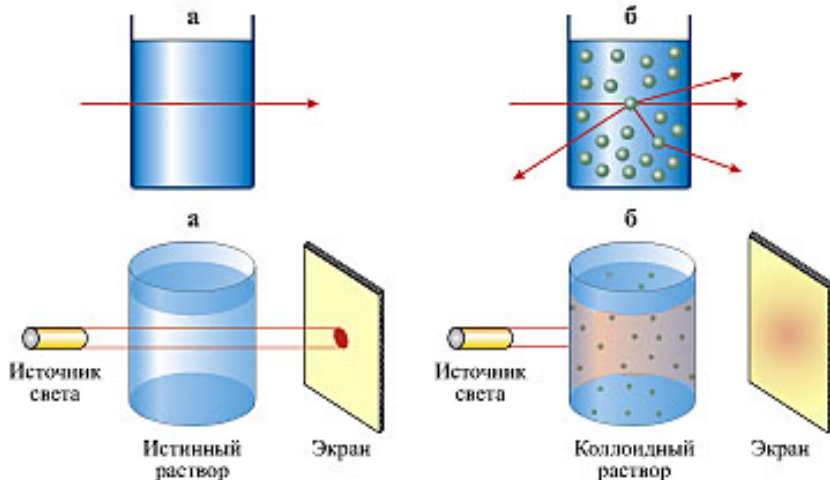
Р и с. 1. Типичный микроскоп: 1 – штатив; 2 – шарнир для наклона; 3 – тубусодержатель; 4 – ручка микрометрической регулировки; 5 – ручка грубой регулировки; 6 – окуляр; 7 – держатель окуляра; 8 – тубус; 9 – револьверная головка; 10 – объективы; 11 – предметный столик; 12 – конденсор; 13 – нижний держатель; 14 – зеркало

## Ультрамикроскопия

При прохождении узкого пучка света через кюветы с раствором в темном помещении рассеяние наблюдается в виде светящегося следа луча (конуса Тиндаля – рис.2). В разбавленном коллоидном растворе прозрачных веществ (стекла в воде и т. д.), освещенном белым светом, рассеяние проявляется как слабое голубоватое свечение раствора (опалесценция). Интенсивность рассеянного в данном направлении света (при постоянных параметрах падающего света) зависит от числа рассеивающих частиц и их размера. Коротковолновая составляющая белого (немонохроматического) света рассеивается коллоидными частицами сильнее длинноволновой, поэтому образованный им конус Тиндаля в непоглощающей золе имеет голубой оттенок.

Эффект Тиндаля, по существу, то же, что опалесценция. Но традиционно первый термин относят к интенсивному рассеянию света в

ограниченном пространстве по ходу луча, а второй - к слабому рассеянию света всем объемом наблюдаемого объекта.

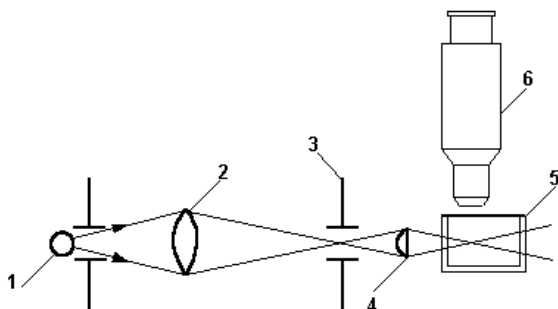


Р и с. 2. Схема светорассеяния в истинном и коллоидном растворах

В очень разбавленном растворе можно с помощью ультрамикроскопа сосчитать число светящихся частиц (точек) в слое известного объема и тем самым определить частичную концентрацию.

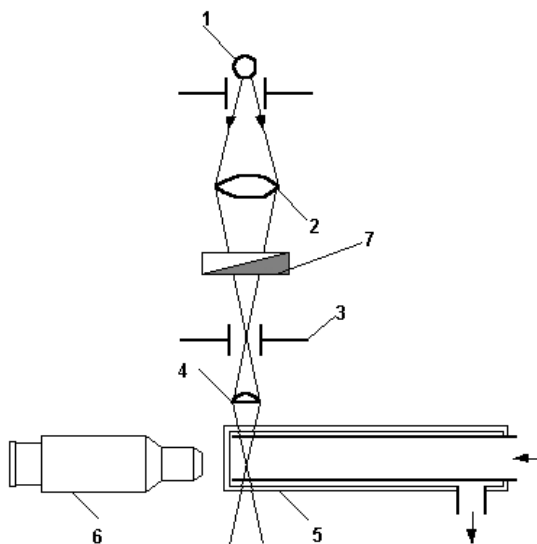
Ультрамикроскоп - оптический прибор для обнаружения мельчайших (коллоидных) частиц, размеры которых меньше предела разрешения обычных световых микроскопов. Возможность обнаружения таких частиц с помощью ультрамикроскопа обусловлена дифракцией света на них эффектом Тиндаля. При сильном боковом освещении каждая частица в ультрамикроскопе отмечается наблюдателем как яркая точка (светящееся дифракционное пятно) на темном фоне. Вследствие дифракции на мельчайших частицах очень мало света, поэтому в ультрамикроскопе применяют, как правило, сильные источники света. В зависимости от интенсивности освещения, длины световой волны, разности показателей преломления частицы и среды можно обнаружить частицы размерами от 20-50 нм и до 1-5 мкм. По дифракционным пятнам нельзя определить истинные размеры, форму и структуру частиц. Ультрамикроскоп не дает оптических изображений исследуемых объектов. Однако, используя ультрамикроскоп, можно установить наличие и численную концентрацию частиц, изучить их движение, а также рассчитать средний размер частиц, если известны их весовая концентрация и плотность.

В схеме щелевого ультрамикроскопа (рис. 3) исследуемая система неподвижна. Кювета 5 с исследуемым объектом освещается источником света 1 (2 – конденсатор, 4 – осветительный объектив) через узкую прямоугольную щель 3, изображение которой проецируется в зону наблюдения. В окуляр наблюдательного микроскопа 6 видны светящиеся точки частиц, находящихся в плоскости изображения щели. Выше и ниже освещенной зоны присутствие частиц не обнаруживается.



Р и с. 3. Принципиальная схема щелевого микроскопа

В поточном ультрамикроскопе (рис. 4) изучаемые частицы движутся по трубке навстречу глазу наблюдателя. Пересекая зону освещения, они регистрируются как яркие вспышки визуально или с помощью фотометрического устройства.



Р и с. 4. Принципиальная схема поточного микроскопа

Регулируя яркость освещения наблюдаемых частиц подвижным фотометрическим клином 7, можно выделять для регистрации частицы, размер которых превышает заданный предел. С помощью современного поточного ультрамикроскопа с лазерным источником света и оптико-электронной системой регистрации частиц определяют концентрацию частиц в аэрозолях в пределах от 1 до  $10^9$  частиц в  $1 \text{ см}^3$ , а также находят функции распределения частиц по размерам.

Ультрамикроскопы применяют при исследовании дисперсных систем, для контроля чистоты атмосферного воздуха, воды, степени загрязнения оптически прозрачных сред посторонними включениями.

## Нефелометрия

Нефелометрия – метод исследования, при котором измеряют **интенсивность рассеянного** света, падающего на кювету с дисперсной системой.

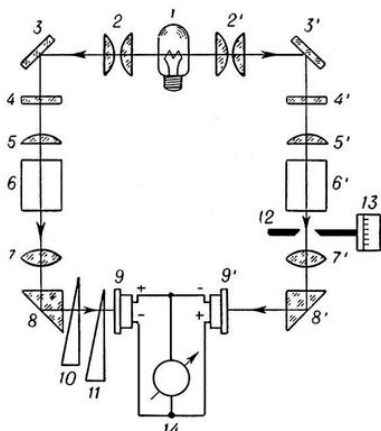


Рис. 5. Принципиальная схема фотоэлектрического компенсационного колориметра типа ФЭК-М

Интенсивность света, рассеянного некоторым объемом  $V$  коллоидного раствора, пропорциональна произведению объемной концентрации на объем дисперсной системы  $c \cdot V$ :

$$I_p = I_0 \nu V^2 = I_0 k c V \quad (4)$$

В приборе нефелометре имеются две кюветы переменного объема  $V_1$  и  $V_2$ . В одну из них помещают раствор с известной концентрацией  $c$ , в другую - с неизвестной концентрацией  $c_x$ . Путем изменения величин  $V_1$  и (или)  $V_2$  достигается выполнение равенства  $j r_1 = j r_2$ , т.е.:

$$c_x = \frac{c \cdot V_1}{V_2}$$

На рис. 5: свет от источника 1 проходит в левом плече прибора (цифры без штрихов) через измеряемый раствор, в правом плече (цифры со штрихами) — через стандартный. Разность сигналов селеновых фотоэлементов 9 и 9' регистрируется гальванометром 14. Неградуированные фотометрические клинья 10, 11 служат для установки гальванометра на нуль в отсутствие растворов.

Оптическая компенсация, т. е. сведение разности сигналов приёмников 9 и 9' к нулю после установки кювет с растворами 6 и 6', осуществляется щелевой диафрагмой 12 с отсчётным барабаном (шкалой) 13, 2, 2' — конденсоры; 3, 3' — зеркала; 4, 4' — светофильтры; 5, 5' и 7, 7' — линзы; 8, 8' — призмы.



## Определение молекулярной массы полимера нефелометрическим методом

*Цель работы:* определение молекулярной массы полимера и второго вириального коэффициента; определение мицеллярной массы ПАВ. О свойствах растворов полимеров часто судят по зависимости осмотического давления  $\Pi$  от концентрации  $c$ . Эту зависимость представляют в виде вириального ряда степеней концентраций:

$$\Pi/c = RT(A_1 + A_2c + A_3c^2 + \dots), \quad (5)$$

где  $A_1 = 1/M$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – соответственно первый, второй, третий вириальные коэффициенты;  $M$  – молекулярная масса полимера.

При небольших концентрациях соблюдается линейная зависимость  $\Pi/c$  от  $c$ , т.е. можно ограничиться вторым вириальным коэффициентом, который характеризует степень отклонения раствора от идеального, обусловленную взаимодействием макромолекул с растворителем.

Дебай, исходя из флуктуационной теории светорассеяния и используя уравнение (1) для осмотического давления, получил соотношение между мутностью  $\tau$  раствора полимера, его массовой концентрацией  $c$  и молекулярной массой полимера  $M$ :

$$\frac{Hc}{\tau} = \frac{1}{M} + 2A_2c \quad (6)$$

где  $A_2$  – второй вириальный коэффициент в уравнении состояния растворов полимеров(5);  $H$  – константа для данной системы полимер-растворитель.

Для неполяризованного (естественного) падающего света константа  $H$  равна

$$H = \frac{32\pi^3 n_0^2 \left( \frac{n - n_0}{c} \right)^2}{3\lambda_{\text{вак}}^4 N_A}, \quad (7)$$

где  $n$  и  $n_0$  – показатель преломления соответственно раствора и растворителя;  $\lambda_{\text{вак}}$  – длина волны света в вакууме.

Согласно уравнению (6) зависимость  $Hc/\tau$  от концентрации раствора в области малых значений  $c$  графически выражается прямой линией. Отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат соответствует величине, обратной молекулярной массе полимера  $M$ .

Тангенс угла наклона прямой определяет термодинамическое сродство между растворенным веществом и растворителем, которое в данном случае характеризуется вторым вириальным коэффициентом  $A_2$ .

Таким образом, для определения молекулярной массы полимеров методом Дебая достаточно получить концентрационную зависимость мутности  $\tau$  раствора ПАВ и найти значение константы  $H$ , для чего дополнительно требуется измерить инкремент показателя преломления  $(n - n_0)/c$ . Для определения этой величины лучше всего использовать интерферометр или дифференциальный рефрактометр. Значения показателя преломления  $n_0$  и инкремента показателя преломления для некоторых систем полимер - растворитель приведены в справочнике. Необходимо отметить, что уравнение Дебая применимо только для сильно разбавленных растворов полимеров, когда  $c < 0,1\%$ . При этом оно выполняется только в том случае, если размеры макромолекулярных клубков не превышают 40-50 нм, т.е. меньше  $1/10 \lambda$ . При больших размерах рассеивающих частиц в них возникает внутримолекулярная интерференция и суммарная интенсивность светорассеивания системой уменьшается. В результате при расчете по уравнению (2) получаются заниженные значения молекулярной массы. При определении молекулярных масс полимеров методом Дебая следует также учесть, что параметр  $\tau$  отражает светорассеяние, обусловленное только светорассеивающими частицами, и не связан с рассеянием света растворителем, т.е. является избыточной величиной:

$$\tau = \tau_{\text{общ}} - \tau_0, \quad (8)$$

где  $\tau_{\text{общ}}$  – суммарное значение мутности растворенного вещества и растворителя;  $\tau_0$  – мутность чистого растворителя.

Метод Дебая может быть применен также к растворам ПАВ, содержащим мицеллы, если они являются рэлеевскими частицами, и раствор достаточно разбавленный. В этом случае уравнение Дебая принимает следующий вид:

$$\frac{H(c - KKM)}{\tau - \tau_{KKM}} = \frac{1}{M_M} + 2A_2(c - KKM), \quad (9)$$

где  $\tau$  и  $\tau_{KKM}$  – мутность раствора и мутность его при КKM соответственно;  $M_M$  – мицеллярная масса ПАВ.

С помощью уравнения (5) можно найти такие важнейшие характеристики ПАВ, как мицеллярная масса и вириальный коэффициент  $A_2$ , позволяющий оценить взаимодействие мицелл с растворителем. Значение  $M_M$  согласно уравнению (5) определяется как величина,

обратная отрезку, отсекаемому на оси ординат на графике зависимости  $\frac{H(c - KKM)}{\tau - \tau_{KKM}} = f(c - KKM)$ . Зная молекулярную массу  $M$  ПАВ,

можно рассчитать число агрегации  $n = \frac{M_M}{M}$ .

### Порядок выполнения работы

#### Приборы и материалы

1. Пипетки емкостью 5 и 10 мл.
2. Кюветы шириной 10 мм – 2 шт.
3. Раствор полимера или поливинилового спирта в воде, 0,1%.
4. Растворитель (дистиллированная вода).

#### Ход работы

В кювету налить 20 мл растворителя, установить в камеру прибора ФЭК-М. Закрыть камеру. Ручками «грубо» и «точно» установить стрелку прибора на отметку 100 делений. Во вторую кювету налить пипеткой 20 мл раствора поливинилового спирта. Перевести кювету в рабочее положение и измерить мутность (% , верхняя шкала) по шкале прибора.

Отобрать пипеткой 5 мл раствора из кюветы и добавить в кювету 5 мл растворителя (для отбора раствора и внесения растворителя использовать отдельные пипетки!). Раствор перемешать путем осторожного покачивания кюветы. Снова проверить показания прибора по растворителю и произвести замер вновь полученного раствора. Таким образом произвести 7-8 операций по разбавлению раствора и измерению. Измерение для каждого раствора производить не менее трех раз. Для каждой концентрации раствора полимера рассчитать величину  $Hc/\tau$ . Экспериментальные и расчетные данные занести в таблицу 1. Построить график зависимости  $f(c) = \frac{Hc}{\tau}$ , по нему найти молекулярную массу полимера как величину, обратную отрезку, отсекаемому на оси ординат, и второй вириальный коэффициент по тангенсу угла наклона прямой.

Таблица 1

Концентрация раствора $c, \text{ г/100 см}^3$	Мутность раствора $\tau, \text{ см}^{-1}$	$Hc/\tau$

## Турбидиметрия

Турбидиметрия основана на измерении *интенсивности проходящего* через дисперсную систему света.

Рассеянный свет можно считать фиктивно поглощенным, и поэтому есть все основания принять, что закономерности рассеяния света подчиняются уравнению **Ламберта-Бугера-Бера**:

$$\ln \frac{I_0}{I_{\Pi}} = 2,3A = \tau \cdot l,$$
$$\tau = 2,3 \frac{A}{l}, \quad (10)$$

где  $I_0$  – интенсивность света, прошедшего через систему;

$A = \lg \frac{I_0}{I_{\Pi}}$  - оптическая плотность;

$\tau$  - мутность системы;

$l$  - толщина слоя системы.

С увеличением размеров частиц закон Рэля перестает соблюдаться, и интенсивность рассеянного света становится обратно пропорциональной длине волны в степени, меньшей, чем четвертая. Если размер (диаметр) частиц составляет  $\frac{1}{10}\lambda < d < \frac{1}{3}\lambda$  и показатели преломления частиц и среды не сильно различаются, то для рассеяния света в системе можно воспользоваться, в частности, эмпирическими уравнениями, предложенными Геллером:

$$A = k\lambda^{-n}; \quad \tau = k' \lambda^{-n}, \quad (11)$$

где  $k$  и  $k'$  – константы, не зависящие от длины волны.

Зависимости  $\lg A = f(\lg \lambda)$  и  $\lg \tau = f(\lg \lambda)$  в соответствии с уравнениями (11) представляют собой прямую линию:

$$\lg A = \lg k - n \lg \lambda \quad \lg \tau = \lg k' - n \lg \lambda,$$

где  $\operatorname{tg} \alpha = -n$  - тангенс угла наклона прямой.

Значение показателя степени  $n$  в этих уравнениях зависят от соотношения между размером частицы и длиной волны падающего света, характеризуемого параметром  $Z$ :

$$Z = \frac{8\pi \cdot r}{\lambda_{\text{cp}}}, \quad (12)$$

где

$$\lambda_{\text{cp}} = \frac{\lambda_{\text{макс}} + \lambda_{\text{мин}}}{2}.$$

*Цель работы:* экспериментальное определение размеров частиц дисперсных систем.

### Вариант 1

## Определение размера частиц, не подчиняющихся закону Рэлея

### *Приборы и реактивы:*

1. Фотоэлектроколориметр КФК-2;
2. Кюветы шириной 10 мм - 2 шт.;
3. Золь высокодисперсный (клей КМЦ, раствор ПАВ);
4. Раствор аммиака водный 1%-ный.

### *Ход работы*

Включить прибор КФК-2 в сеть (рис. 6), дать ему прогреться 5 – 7 минут.

1. В одну кювету с шириной 1 см (толщина светопоглощающего слоя  $l$ ) налить до **риски** исследуемый раствор ПАВ (по заданию преподавателя), в другую кювету той же ширины налить дистиллированную воду (раствор сравнения).

2. Установить в гнезда прибора кюветы с водой и ПАВ.

3. Измерять оптическую плотность  $A$  исследуемого раствора, используя все имеющиеся светофильтры.

Для этого:

- а) ручкой 2 установить под световой поток кювету с **водой**. Крышку 3 прибора закрыть.
- б) установить ручку 1 переключения светофильтров в начало шкалы, в положение «315».
- в) ручкой 4 («Чувствительность») установить стрелку прибора как можно ближе к положению «0» на нижней шкале. Ручками 5 и 6 («грубо» и «точно») доустановить до «0».



Р и с. 6. Фотоэлектроколориметр КФК-2

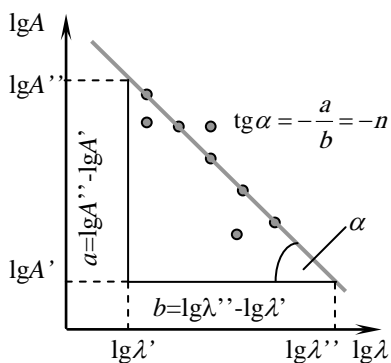
г) ручкой 2 установить под поток света кювету с исследуемым раствором. По нижней шкале 7 прибора определить значение оптической плотности  $A$ , записать в табл. 2.

Таблица 2

$\lambda$	$A$	$\lg \lambda$	$\lg A$
-----------	-----	---------------	---------

д) ручкой 1 установить следующее значение  $\lambda$  и произвести действия с пункта 4,б до пункта 4,г. Измерения вести до конца шкалы переключения светофильтров (пока по воде можно будет установить «0»).

е) закончив измерения, вернуть прибор к «нулевому циклу»: отключить от сети, ручку 1 поставить на начало шкалы. Кюветы сполоснуть дистиллированной водой. Жгутом, скрученным из фильтровальной бумаги, собрать капли воды изнутри кювет (не тереть внутреннюю поверхность кювет!).



Р и с. 7. График зависимости  $\lg A = f(\lg \lambda)$

5. Вычислить и записать в таблицу 2 значения  $\lg A$  и  $\lg \lambda$ . Построить график в координатах  $\lg A = f(\lg \lambda)$ . По большей части массива точек провести прямую (рис. 7)

6. Рассчитать тангенс угла наклона  $n$  прямой к оси абсцисс.

7. По диаграмме (рис. 8), зная  $n$ , найти  $Z$ .

8. По формуле (12) найти средний радиус частицы  $r$ .

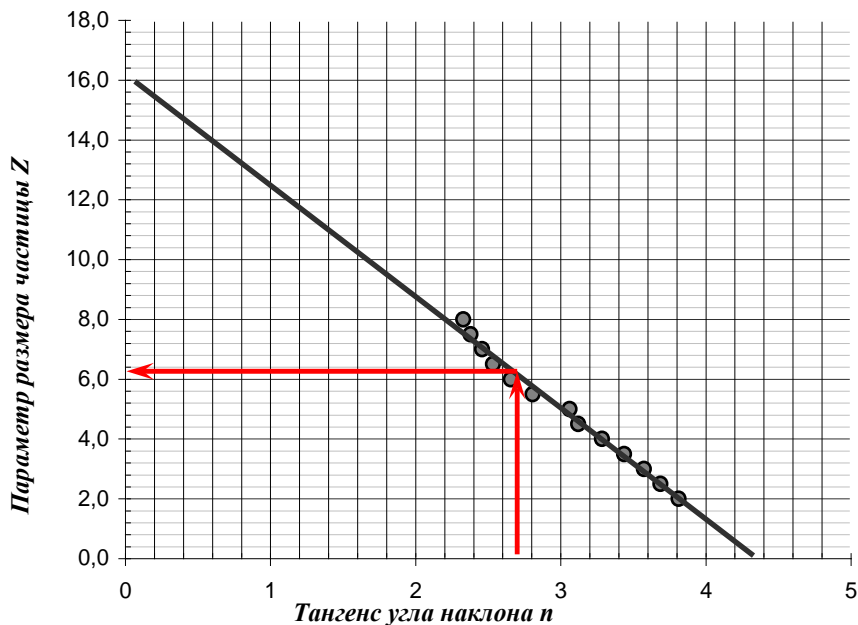
9. Сделать вывод по работе.

## Вариант 2

### Определение размера частиц, подчиняющихся закону Рэлея

#### Приборы и реактивы:

5. Фотоэлектроколориметр КФК-2;
6. Колбы мерные емкостью 100 мл – 4 шт.;
7. Пипетки аналитические емкостью 1 и 10 мл;
8. Золь высокодисперсный (полистирольный латекс);
9. Раствор аммиака водный 1%-ный.



Р и с. 8 . Зависимость параметра размера частицы  $Z$  от тангенса угла  $n$

$$Z = -3,7195n + 16,197$$

#### *Ход работы*

1. Из исследуемого золя (латекса) с известным содержанием дисперсной фазы приготовить четыре пробы с кратностью разбавления 1:2000, 1:3000, 1:5000, 1:10000.

2. Измерить оптическую плотность латексов с помощью прибора КФК-М (см. вариант 1), при этом использовать кюветы толщиной 5 см и светофильтр № 6 ( $\lambda_{\text{вак}} = 540 \text{ нм}$ ).

3. Для каждого образца латекса измерения провести три раза и определить среднее значение  $A$ .

4. По формуле (10) рассчитать мутность  $\tau$ .

5. Полученные значения записать в таблицу (см. табл. 3). В эту же таблицу записать значения объёмной концентрации латекса  $c$ , которую рассчитать на основе данных о плотности частиц полимера (плотность частиц полистирольного латекса составляет  $1,06 \text{ г/см}^3$ ).

*Таблица 3*

Объёмная концентрация латекса $c$ , $\text{см}^3/\text{см}^3$	Оптическая плотность $A$	$A_{\text{ср}}$	Мутность $\tau$ , $1/\text{см}$	$\tau/c$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зимон А.Д.* Коллоидная химия. – М.: Агар. 2001. 320 с.
2. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.
3. *Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А.* Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 1992. 414 с.
4. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 300 с.
5. Практикум по коллоидной химии /Под ред. И.С. Лаврова. – М.: Высш. шк., 1983. – 216 с.

### ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Составители: *КОЛЬЦОВ Леонид Валентинович*  
*ЛОСЕВА Марина Анатольевна*

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка: М.А. Лосева

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Формат 60x84 1/16. Бум. типогр.  
№2. Усл.п.л. 0,7. Уч.-изд.л. 0,5.

Тираж 50 экз.

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Самарский государственный технический университет»  
443100. г.Самара, ул.Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии Самарского  
Государственного технического университета  
443100. г.Самара, ул.Молодогвардейская, 244. Корпус №8